



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Relatório Final da Atividade de Prospecção Tecnológica em Recursos Hídricos

SUMÁRIO

COORDENAÇÃO GERAL	4
COORDENAÇÃO CIENTÍFICA	4
MEMBROS DO GRUPO CONSULTIVO	4
ASSESSORIA TÉCNICA CGEE	4
ESPECIALISTAS CONSULTADOS	5
INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES	7
1. RESUMO EXECUTIVO	9
2. APRESENTAÇÃO	13
3. INTRODUÇÃO	14
4. PANORAMA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	15
4.1 USO DOS RECURSOS HÍDRICOS E CONSERVAÇÃO	15
4.2 GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS	16
5. RECURSOS HÍDRICOS, CIÊNCIA E TECNOLOGIA	18
6. ASPECTOS METODOLÓGICOS	23
7. RESULTADOS ALCANÇADOS	30
7.1 TÓPICOS TECNOLÓGICOS	31
7.2 INTEGRAÇÃO DOS TÓPICOS E GRUPOS TEMÁTICOS	31
7.3 LISTA DE TÓPICOS TECNOLÓGICOS POR GRUPO	32
7.4 RESULTADOS DO ORDENAMENTO DOS TÓPICOS	38
8. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	44
8.1 RECOMENDAÇÕES	44
8.2 SUGESTÕES	45
9. RECOMENDAÇÕES FINAIS	54
ANEXO A – TÓPICOS TECNOLÓGICOS X CRITÉRIOS	56
ANEXO B – TABELAS DE CLASSES	72

COORDENAÇÃO GERAL

Marcio de Miranda Santos (Diretor Executivo - CGEE)

COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

Carlos Eduardo Morelli Tucci - IPH-UFRGS (Coordenador)

Oscar de Moraes Cordeiro Netto - UNB

MEMBROS DO GRUPO CONSULTIVO

Marcio de Miranda Santos (CGEE)

Dalci Maria dos Santos (CGEE)

José Galizia Tundisi (IIE)

Oscar de Moraes Cordeiro Netto (UNB)

Carlos Eduardo Morelli Tucci (IPH-UFRGS)

Benedito Braga (ANA)

Maria Manuela Martins Alves Moreira (SRH-MMA)

Paulo Canedo de Magalhães (UFRJ-FINEP)

Mauro Zackiewicz (UNICAMP)

Gilberto De Martino Jannuzzi (UNICAMP)

ASSESSORIA TÉCNICA CGEE

Lélio Fellows Filho (Chefe)

Anderson Lopes de Moraes

José Deocleciano de Siqueira Silva Junior

Nathalia Kneipp Sena

Tatiana de Carvalho Pires

ESPECIALISTAS CONSULTADOS

Participantes dos Painéis de Especialistas

Racionalização do Uso da Água no Meio Rural - realizado nos dias 15 e 16 de outubro de 2003

Antonio Felix Domingues (ANA)

Demetrios Christofidis (MIN)

Helvécio Mattana Saturnino (APDC)

Washington Luiz de Carvalho e Silva (CNPQ-Embrapa)

Andrés Troncoso Vilas (CGEE)

Clima e Recursos Hídricos - realizado nos dias 16 e 17 de outubro de 2003

Francisco de Assis de Souza Filho (FUNCEME)

Javier Tomasella (CPTEC-INPE)

Pedro Leite da Silva Dias (USP)

Robin Thomas Clarke (UFRGS)

Waldemar Santos Guimarães (ANA)

Francisco de Assis Diniz (INMET-MAPA)

Exedito Rebello (INMET-MAPA)

Produtos e Equipamentos - realizado no dia 5 de novembro de 2003.

Gre de Araújo Lobo (DAEE-SP)

Marcos Dias da Silva (INPE)

Paulo Garcia (ANA)

Paulo Kroeff Souza (UFRGS)

Saneamento - realizado no dia 6 de novembro de 2003.

Leo Heller (UFMG)

Mario Takayuki Kato (UFPE)

Mauricio Ludovice (CAESB-DF)

Nilo de Oliveira Nascimento (UFMG)

Sérgio Koide (UnB)

Qualidade da Água, realizado no dia 18 de novembro de 2003.

Luis Fernando Alves (INPA)

Luizalice Labarrere (IBAMA-MMA)

Mauro César Lambert de Brito Ribeiro (IBGE-DF)

Monica Ferreira do Amaral Porto (USP)

Regilene Coutinho de Souza (CPRM-MME)

Qualidade da Água Subterrânea - realizado no dia 26 de novembro de 2003.

Eduardo Mediondo (USP)

Marco Antonio Ferreira Gomes (CNPMA-EMBRAPA)

Ricardo Aoki Hirata (USP)

Aldo Rebouças (USP)

Carlos Eduardo Morelli Tucci (UFRGS)

José Cláudio Viegas (CPRM-MME)

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (UFPE)

Participantes do Workshop realizado em 17 de dezembro de 2003

Alexandre C. Dias (SQUITTER do Brasil)

Andres Troncoso Vilas (CGEE)

Arléa Oliveira (HOBECO Ltda)

Carlos Eduardo Morelli Tucci (UFRGS)

Claverson Vitorio Andreoli (SANEPAR)

Francisco de Assis de Souza Filho (FUNCEME)

Gre de Araújo Lobo (DAEE-SP)

Helvécio Mattana Saturnino (APDC)

Henrique Leite Chaves (ANA)

Jaílido Pereira (SRH-MMA)

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (UFPE)

Javier Tomasella (CPTEC-INPE)

José Galizia Tundisi (IIE)

Juscelino Antonio de Azevedo (CPAC-EMBRAPA)

Lawson Francisco Souza Beltrame (UFRGS)

Leo Heller (UFMG)

Luis Fernando Alves (INPA)

Maria Manuela Martins Alves Moreira (SRH-MMA)
Mônica Ferreira do Amaral Porto (USP)
Ney Albert Murtha (SRH-MMA)
Nilo de Oliveira Nascimento (UFMG)
Oscar de Moraes Cordeiro Neto (UNB)
Paulo Canedo de Magalhães (FINEP)
Paulo Kroeff Souza (UFRGS)
Pedro Leite da Silva Dias (USP)
Ricardo Aoki Hirata (USP)
Robin Thomas Clarke (UFRGS)
Sandra Maria Fleciano de Oliveira e Azevedo (UFRJ)
Silvio Crestana (CNPDIA-EMBRAPA)
Valdemar Santos Guimarães (ANA)
Vicente de Paulo Pereira Barbosa Vieira (UFC)

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

Agência Nacional de Águas
Associação do Plantio Direto no Cerrado
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Companhia de Saneamento do Paraná
Companhia de Saneamento do Distrito Federal
Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Instrumentação Agropecuária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Cerrados
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Hortaliças
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Instrumentação Agropecuária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Meio Ambiente
Financiadora de Estudos e Projetos
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE - DF
Instituto Internacional de Ecologia

Instituto Nacional de Meteorologia - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Ministério da Integração Nacional

Secretaria de Recursos Hídricos - Ministério do Meio Ambiente

Serviço Geológico do Brasil

Sociedade Consignatária HOBECO Ltda

SQUITTER do Brasil

Universidade de Brasília

Universidade de São Paulo

Universidade Federal de Minas Gerais

Universidade Federal de Pernambuco

Universidade Federal do Ceará

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1. RESUMO EXECUTIVO

Panorama dos recursos hídricos

No Brasil, o uso dos recursos hídricos está voltado, principalmente, para:

- produção de energia hidrelétrica (79% do total da energia produzida),
- irrigação (mais de 60% do volume de água retirado de mananciais);
- saneamento básico (20% do consumo de água).

Por outro lado, os ambientes aquáticos continentais abrigam um grande e variado número de espécies animais e vegetais que deve ser preservado. O país se ressent, ainda, de uma indústria apta a produzir os produtos e equipamentos capazes de atender as demandas do setor. Só a partir da última década, foram criadas entidades supra-setoriais para promover o ordenamento e a integração no uso dos recursos hídricos no país que se encontra em fase de implementação dos elementos previstos na legislação das águas.

Trabalhar a interface entre os setores de meio ambiente, saneamento, agricultura, energia, mineração, transporte e saúde constitui o maior desafio a ser enfrentado para a concreta implementação da gestão integrada dos recursos hídricos.

Problemas identificados

- deterioração da água no meio urbano e necessidade de desenvolvimento do conhecimento integrado voltado para a busca da sustentabilidade hídrica nesse meio;
- necessidade de embasamento técnico para a gestão integrada dos recursos hídricos;
- risco climático de curto, médio e longo prazos associado à sustentabilidade do fornecimento de água para as populações;
- necessidade de melhoria da capacitação técnica e científica no país;
- necessidade de desenvolvimento de empresas de produtos e serviços para dar suporte ao desenvolvimento tecnológico.

Objetivo do estudo

Elaboração de uma agenda em ciência, tecnologia e inovação, consubstanciada em um conjunto de tópicos tecnológicos abrangendo seis temas selecionados pelo Comitê Gestor do CT-Hidro para investimentos futuros e que foram aprofundados por meio de estudos prospectivos: Qualidade da água superficial; Racionalização do uso da água no meio rural; Qualidade da água subterrânea; Produtos e equipamentos; Clima e recursos hídricos; Saneamento.

Metodologia

A metodologia foi pautada nas características do setor e nas necessidades levantadas pelo Comitê Gestor do Ct-Hidro. A abordagem desenhada foi orientada a encontrar tópicos tecnológicos mais relevantes para solucionar ou mitigar problemas relacionados aos recursos hídricos no país em um horizonte de 10 anos.

A abordagem utilizada teve forte identificação com os princípios do *foresight* e envolveu uma combinação dos seguintes componentes: (a) realização de painéis de especialistas para discussão e validação de textos de

referência encomendados, por tema; (b) cruzamento das recomendações advindas de cada painel com os resultados do Delphi Prospectar/Recursos Hídricos e outras informações de âmbito nacional e internacional; (c) Workshop para apresentação, discussão e priorização, de forma integrada, dos resultados obtidos.

Resultados

Destacam-se como resultados finais:

- a construção de uma agenda em CT&I, pela identificação de 69 tópicos tecnológicos;
- um conjunto de recomendações, indicando propostas de ação, necessidades de desdobramentos e aprofundamentos futuros em temas e questões concernentes à área de recursos hídricos;
- consensos e comprometerimentos em torno de tópicos e estratégias para o fortalecimento da área de recursos hídricos no país.

Os tópicos tecnológicos identificados e recomendações resultantes constituem subsídios técnicos para uma tomada de decisão no âmbito do CT-Hidro e agências de fomento do sistema de

CT&I, que possuam interface com a área de recursos hídricos.

Recomendações

Considerando que o país encontra-se em um processo de intensa evolução institucional, na busca da gestão integrada dos recursos hídricos, com ênfase para a implementação de um novo marco legal, ressaltam-se como principais questões:

- a racionalização do uso da água para o aumento da disponibilidade hídrica em áreas urbanas e rurais sujeitas a condicionamentos críticos. Esta racionalização envolve o desenvolvimento tecnológico que apóie a concretização de metas associadas aos objetivos do Projeto *Millenium* das Nações Unidas sobre a água, que são relacionadas principalmente com o saneamento ambiental;
- a redução da vulnerabilidade do país ao efeito da pressão pelo uso do solo agrícola em diferentes biomas nacionais e da variabilidade climática em setores estratégicos como o de energia e agricultura que dependem fortemente do clima;

- a melhoria das informações hidrológicas voltadas para o desenvolvimento, criando empresas de serviços e tecnologia neste setor;
- o desenvolvimento da gestão institucional voltada para o controle e mitigação da cadeia de impactos urbanos e rurais, essenciais para atingir o desenvolvimento sustentável.

Apesar de estes resultados formarem um consenso dentro de um grupo altamente qualificado, recomenda-se que o processo tenha continuidade de modo a:

- divulgar e difundir estes resultados de forma a se obter uma avaliação mais ampla desta exercício prospectivo junto à comunidade científica;
- elaborar e contratar nova proposta de exercício prospectivo na área de recursos hídricos, com vistas ao aprofundamento de questões levantadas e discutidas neste relatório bem como permitir a incorporação de novos temas de interesse para o sistema de fomento em CT&I;
- identificar a capacidade instalada no país e as deficiências de capacitação, em processos prospectivos de mapeamento de competências, que

não foram realizadas neste exercício prospectivo;

- aprofundar a discussão e estudo dos tópicos selecionados de modo a promover a discussão quanto a mecanismos de investimentos, metas,

procedimentos de transferência de tecnologia e/ ou formação de incubação tecnológica.

2. APRESENTAÇÃO

O presente relatório apresenta o esforço despendido pelo CGEE, ao longo do segundo semestre de 2003, na mobilização de competências na área de Recursos Hídricos, com vistas à elaboração de uma agenda em ciência, tecnologia e inovação, consubstanciada em um conjunto de tópicos tecnológicos abrangendo seis temas selecionados, reunidos em três grupos afins.

Este processo, financiado com recursos do FNDCT, por encomenda do Comitê Gestor do Fundo Setorial de Recursos Hídricos, foi estruturado de forma a facilitar a construção de consensos e promover a interação de um elenco selecionado de especialistas. Sua condução envolveu a participação de cerca de 53 especialistas na área de recursos hídricos, oriundos de 29 instituições de pesquisa e empresas do setor.

Estudos sobre os temas racionalização da água no meio rural, qualidade da água subterrânea e superficial, produtos e equipamentos, clima e recursos hídricos, e saneamento foram produzidos e debatidos por especialistas em painéis, desenhados especificamente para este fim. As questões mais relevantes foram organizadas em tópicos tecnológicos e, finalmente, transformadas em uma agenda em CT&I, que foi discutida e priorizada em oficina de trabalho que contou com a participação das mais representativas competências nacionais nestes temas.

O CGEE agradece ao grupo de instituições e especialistas envolvidos neste trabalho de prospecção tecnológica, caracterizado por um clima de grande entusiasmo, de compartilhamento de idéias, informação e conhecimento e, principalmente, pela expectativa de implementação de uma agenda que conduza à inserção estratégica da área de recursos hídricos na agenda do desenvolvimento sustentável do Brasil. Em particular, a equipe CGEE agradece a imensa colaboração e firme orientação científica recebidas dos Drs Carlos Eduardo Morelli Tucci e Oscar de Moraes Cordeiro Netto.

3. INTRODUÇÃO

Os Fundos Setoriais constituem uma proposta recente de investimentos em Ciência, Tecnologia e Inovação. Diferenciam-se em relação ao cenário pré-existente de investimentos e baseiam-se principalmente nos aspectos seguintes:

A *permanência* do investimento em Ciência, Tecnologia e Inovação, garantindo aos projetos investimentos contínuos, com vistas ao atendimento de seus objetivos acadêmicos e, principalmente, de desenvolvimento de tecnologias que possam ser apropriadas pelo mercado na forma de produtos e processos inovadores;

A *indução* da pesquisa orientada para a solução de problemas relevantes, em resposta às necessidades da sociedade. Diferentemente de outras estratégias de fomento, os fundos setoriais foram concebidos para a promoção da inovação tecnológica, o que implica, necessariamente, na discussão integrada de prioridades com os setores acadêmico, empresarial e governamental.

As diretrizes estratégicas do CT-Hidro apontam para *programas e projetos* nos quais ficam claramente identificados os objetivos, necessidades e desafios das áreas prioritárias para investimento. Por outro lado, foram nomeados temas que, apesar da sua importância, necessitavam de maior aprofundamento na identificação de oportunidades e gargalos tecnológicos, para o estabelecimento de uma agenda de prioridades em CT&I. Um estudo de prospecção tecnológica foi encomendado para o atendimento destes objetivos, envolvendo os temas listados a seguir: qualidade da água superficial; racionalização do uso da água no meio rural; produtos e equipamentos; saneamento; qualidade da água subterrânea; e clima e recursos hídricos.

Este exercício de prospecção tecnológica visou, portanto, identificar e priorizar um conjunto de tópicos tecnológicos na área de recursos hídricos, especialmente no tocante aos seis temas selecionados, assim como fornecer recomendações sobre ações estratégicas, como forma de alertar os diferentes atores interessados sobre questões consideradas importantes.

4. PANORAMA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

4.1 USO DOS RECURSOS HÍDRICOS E CONSERVAÇÃO

A água é base para vida na Terra. É elemento vital para saúde e bem-estar dos homens e para equilíbrio dos ecossistemas, além de se constituir em fator de produção para várias atividades humanas.

O Brasil conta com um dos maiores parques hidrelétricos do mundo. Cerca de 79% de toda energia elétrica produzida no país é de origem hidrelétrica, com uma potência instalada de cerca de 65 mil MW.

A agricultura irrigada é uma atividade econômica expressiva no país, tendo em vista sua importância como insumo para a produção de bens exportáveis e na geração de cerca de 4.8 milhões de empregos diretos e indiretos gerados pelo setor¹. Por outro lado, trata-se do setor que mais consome água no país - mais de 60% do volume de água retirado de nossos mananciais superficiais e subterrâneos são usados na agricultura irrigada.

Estima-se que o setor de saneamento básico seja responsável por cerca de 20% do consumo de água no Brasil. Essa utilização reveste-se de particular importância, na medida em que provoca uma mudança substancial nas condições de qualidade da água dos mananciais superficiais e subterrâneos, uma vez que o setor capta água bruta, mas devolve águas servidas. O setor de saneamento básico é hoje o maior responsável pela poluição generalizada de rios, lagos, represas, estuários, praias e lençóis subterrâneos no país dado que, na grande maioria dos casos, ou não existe tratamento de esgotos ou ele é feito de forma muito ineficiente.

Os ambientes aquáticos continentais abrigam, por outro lado, um grande e variado número de espécies animais e vegetais. Dada a extensão territorial do país, as bacias

¹ Conforme Plano Nacional de Recursos Hídricos, 2002. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/srh/index.cfm>. Acesso em 08/02/2004.

hidrográficas brasileiras apresentam uma grande diversidade de espécies da fauna e da flora aquática. Preservar a qualidade da água, superficial e subterrânea representa, também, preservar essa rica biodiversidade, um dos maiores objetivos das políticas de gestão do meio ambiente.

O país se ressent, também, de uma indústria apta a produzir os produtos e equipamentos capazes de atender as demandas das instituições de pesquisa e de gestão integrada de recursos hídricos. Trata-se de um setor usuário de equipamentos e produtos em grande medida importados, especificados para ambientes e condições diferentes daquelas em que serão utilizados. Eliminar esta dependência, por meio de processos e produtos inovadores, constitui-se em objetivo estratégico para a gestão dos recursos hídricos nacionais.

Portanto, buscar conciliar as diferentes funções e demandas exercidas sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos é um crescente desafio para a sociedade, que deve se apoiar em ações de CT&I.

4.2 GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Na maior parte dos países ocidentais, o período do pós-guerra até 1970 caracterizou-se por um grande crescimento industrial e econômico que se processou sem levar em consideração a conservação do meio ambiente e de seus recursos naturais, em particular, os recursos hídricos. A partir dos anos 70, intensificaram-se os movimentos ambientalistas, que lograram consolidar a conservação ambiental como um objetivo de sociedade, contrapondo-se ao princípio de desenvolvimento econômico-industrial a qualquer custo. Nesse período, foi elaborada a maior parte da legislação ambiental nos países industrializados, processo que veio a se refletir no Brasil apenas nos anos 80.

Sob o ponto de vista ambiental, os anos 80 foram marcados pela preocupação com os efeitos globais sobre o meio ambiente, tais como o desmatamento, as mudanças climáticas, entre outros. O acidente de Chernobyl é um exemplo marcante de como um acidente local transformou-se em um problema de escala mundial, o que veio a reforçar a necessidade de se estabelecerem mecanismos globais de proteção ambiental. No

Brasil, a reversão dos investimentos internacionais para construção de hidrelétricas, por pressão de Organizações Não-Governamentais - ONGs sediadas em países industrializados, refletia a preocupação da sociedade mundial com os impactos sobre o meio ambiente causados por lagos de grande porte formados para geração de energia, em detrimento dos benefícios potenciais da energia hidráulica na sustentação do desenvolvimento sócio-econômico.

Os anos 90 presenciaram a formulação do princípio do desenvolvimento sustentável, consolidado por ocasião da Conferência Rio-92. Esse princípio reconhece a necessidade de harmonização entre desenvolvimento econômico-social e conservação ambiental. No mundo todo, as sociedades passaram a rever suas políticas de desenvolvimento, de conservação ambiental e de ocupação do território. Novas tecnologias foram desenvolvidas, voltadas, por um lado, para reduzir os passivos ambientais e, por outro, para implantar projetos de menor consumo de recursos naturais e com menor geração de impactos ambientais. No Brasil, na área de recursos hídricos, a década ficou marcada pela aprovação, em 1997, da lei das águas². Foi criada, assim, a Secretaria de Recursos Hídricos³, no âmbito do Ministério de Meio Ambiente e, três anos depois, a Agência Nacional das Águas⁴. Do mesmo modo, a maior parte dos estados brasileiros logrou aprovar uma legislação específica sobre água.

O novo milênio se inicia orientado pelos objetivos identificados pelas Nações Unidas, relacionados com a redução da pobreza e a melhoria de qualidade de vida. Nesse sentido, foram estabelecidas metas visando ao aumento dos índices de cobertura dos serviços de água potável e de tratamento de efluentes domésticos. Iniciativas internacionais, como *Global Water Partnership*, *World Water Council*, *Internacional Water Resource Association*, entre outras, têm como meta a real implementação do princípio de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (*IWRM - Integrated Water Resource Management*), que envolve o melhor aproveitamento destes recursos no

² Lei no. 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências.

³ Lei no. 9.433.

⁴ Lei no. 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas.

espaço integrado das bacias hidrográficas, aliado a mecanismos sustentáveis de conservação do meio ambiente.

No Brasil, até os anos 90, a questão da água era tratada sob o ponto de vista setorial. O aproveitamento dos grandes rios era ditado pelo setor energético, enquanto o aproveitamento dos rios de menor porte e das águas subterrâneas se dava a partir de demandas urbanas e da irrigação. Só a partir da última década, foram criadas entidades supra-setoriais para promover o ordenamento e a integração no uso dos recursos hídricos no país. O cenário atual encontra o país em uma fase de implementação dos elementos previstos na legislação das águas, como os comitês e as agências de bacia, a cobrança pelo uso da água ou sistemas de outorga.

Trabalhar a interface entre os setores de meio ambiente, saneamento, agricultura, energia, mineração, transporte e saúde constitui-se no maior desafio a ser enfrentado para a concreta implementação da gestão integrada dos recursos hídricos. A Secretaria de Recursos Hídricos (SRH-MMA), a Agência Nacional de Águas (ANA) e entidades estaduais têm buscado modificar o perfil de tratamento 'setorial' dado à questão da água no país, mas as decisões quanto aos investimentos ainda são realizadas sob esse enfoque.

5. RECURSOS HÍDRICOS, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Até o início desta década, o investimento em pesquisa e desenvolvimento na área de recursos hídricos vinha sendo realizado de forma pulverizada e com grupos disciplinares fortemente concentrados na engenharia civil. Uma mudança nesse processo ocorreu no final dos anos 90, a partir do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PADCT, por meio do Subprograma de Ciências Ambientais – CIAMB, no qual os investimentos eram, obrigatoriamente, realizados em projetos interdisciplinares. No entanto, tais projetos eram ainda selecionados enfatizando a capacidade de pesquisa das instituições, em detrimento a

um processo seletivo orientado pela demanda, baseado no suporte à implementação de políticas públicas ou problemas mais urgentes da sociedade.

Esse panorama começa a ser modificado a partir da criação do Fundo Setorial de Recursos Hídricos⁵. Com base nos trabalhos desenvolvidos desde então, puderam ser definidas bases de investimentos em CT&I orientadas por demandas estratégicas definidas pelo governo, em estreita interação com os setores acadêmico e empresarial. As demandas identificadas levaram em consideração as seguintes preocupações:

- a deterioração da água no meio urbano e a necessidade de desenvolvimento do conhecimento integrado voltado para a busca da sustentabilidade hídrica nesse meio, considerando que mais de 80% da população brasileira já se concentram nos centros urbanos;
- a necessidade de embasamento técnico para a gestão integrada dos recursos hídricos, em suporte às entidades estaduais e federais responsáveis pela regulação do uso da água no país;
- o risco climático de curto, médio e longo prazos associado à sustentabilidade do fornecimento de água para as populações, com a qualidade e na quantidade requeridas;
- a melhoria da capacitação técnica e científica no país, com ênfase na redução da desigualdades regionais;
- o desenvolvimento de empresas de produtos e serviços para dar suporte ao desenvolvimento tecnológico do país nessa área.

Adicionalmente, o Comitê Gestor do CT-Hidro identificou seis temas para investimentos futuros e que deveriam ser aprofundados por meio de estudos prospectivos, conforme termos de referência resumidos apresentados a seguir:

⁵ Lei no. 8.001, de 13 de março de 1990, que define percentuais da distribuição da compensação financeira; Lei no. 9.993, de 24/07/2000, que destina recursos da compensação financeira pela utilização dos recursos hídricos; Decreto no. 3.874, de 19/07/2001, que regulamenta a Lei no. 8.001 e Lei no. 9.993, e trata do Comitê Gestor do CT-Hidro.

Qualidade da Água Superficial

Um dos grandes problemas da sociedade brasileira é decorrente das diferentes fontes de poluição que atuam sobre a qualidade da água utilizada pela população, bem como sobre a qualidade das águas necessárias à conservação ambiental dos sistemas hídricos brasileiros. Existe a necessidade, em primeiro lugar, de conhecer a real qualidade da água dos sistemas hídricos, as fontes de impactos e, quando houver políticas de controle de poluição, os resultados dessas medidas. Os principais aspectos desse tema envolvem: (a) monitoramento da qualidade da água de sistemas hídricos; (b) definições de indicadores; (c) qualidade da água para a saúde humana; e (d) infraestrutura de apoio.

Os objetivos dessa ação visam identificar áreas prioritárias de desenvolvimento tecnológico para que as decisões a serem tomadas pelo sistema de gerenciamento de recursos hídricos sejam melhores e mais eficientes quanto à qualidade da água dos sistemas hídricos, como também, mais especificamente, adquirir conhecimentos para o monitoramento adequado dos sistemas hídricos brasileiros, associados às fontes de contaminação, como base para a tomada de decisão.

Qualidade da Água Subterrânea

O desenvolvimento urbano e industrial brasileiro tem produzido grandes impactos sobre os mananciais superficiais e subterrâneos. Com a pressão sobre o controle dos mananciais superficiais, muitos efluentes urbanos e industriais têm sido despejados diretamente nas águas subterrâneas, tais como: efluentes industriais dos pólos petroquímicos, efluentes dos postos de gasolina, efluentes urbanos industriais genéricos e o próprio despejo de efluentes da população urbana, entre outros. Geralmente, esses impactos ocorrem em áreas onde parte da população retira água desses mananciais subterrâneos poluídos para uso humano, gerando riscos e impactos na saúde da população. A capacidade de avaliação desses processos e o seu próprio entendimento exigem uma combinação de conhecimentos sobre geohidrologia, características de fluidos oleosos, composição química e suas reações no sistema físico e biológico, entre outros. Essa ação propõe identificar as necessidades de

desenvolvimento de conhecimento científico para uma abordagem integrada dos principais tipos de contaminação nas águas subterrâneas encontradas na realidade brasileira.

Saneamento

O investimento em CT&I desenvolvido por meio de vários programas em diferentes entidades do país, nos últimos anos, tem mobilizado uma grande produção de conhecimento voltada para a realidade brasileira nas áreas de recursos hídricos e saneamento ambiental, mas a assimilação desses conhecimentos no cotidiano das empresas, projetistas e entidades municipais e estaduais é ainda um grande desafio. Os investimentos atualmente realizados necessitam de mecanismos eficientes de transferência para a sociedade dos resultados obtidos tanto em projetos apoiados pelos Fundos Setoriais, quanto àqueles projetos financiados por outras instituições.

De outro lado, o desenvolvimento de CT&I na área de saneamento dentro do CT-Hidro necessita de desafios voltados à moderna gestão integrada dos recursos hídricos, tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras.

Produtos e Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o monitoramento de recursos hídricos são praticamente todos importados. Em outras atividades da área, observa-se, também, grande quantidade de equipamentos importados que não atendem, necessariamente, à realidade brasileira. De outro lado, produtos relacionados com um melhor desempenho em estudos e projetos em recursos hídricos, como sistemas de suporte à decisão e modelos de simulação/ otimização não apresentam componentes de transferência adequados para os profissionais de recursos hídricos. A demanda por esse conjunto de produtos no gerenciamento dos recursos hídricos tende a se incrementar com o desenvolvimento institucional no Brasil. Essa ação propõe identificar produtos e equipamentos necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos, com definição de

investimentos necessários para aumentar o desempenho, o grau de nacionalização e o conteúdo tecnológico desses produtos e equipamentos.

Clima e Recursos Hídricos

Os sistemas hidro-ambientais brasileiros são pouco conhecidos quanto às interações dos seus diferentes conhecimentos. A disponibilidade de dados é limitada, considerando os desafios de desenvolvimento do espaço e dos recursos hídricos. Existem várias ações estaduais e federais que atuam na observação de variáveis hidrológicas e ambientais nos diferentes biomas brasileiros dentro de uma visão setorial de seus interesses. Assim, os fundos de investimentos em pesquisa têm sido solicitados para financiar várias ações, que de alguma forma não constituem função de um fundo de pesquisa, como a implementação de rede e compra de equipamentos para monitoramento. Além disso, observa-se a necessidade de melhor conhecimento das necessidades setoriais dentro de uma visão mais completa e integrada do monitoramento e observação dos ambientes brasileiros visando obter informações que subsidiem o desenvolvimento do espaço e dos recursos hídricos e a conservação ambiental.

Racionalização do Uso da Água no Meio Rural

A irrigação é o maior usuário de água tanto em nível mundial como no Brasil. As práticas de utilização da água na irrigação têm mostrado, nos últimos anos, que o desperdício é muito alto na distribuição e na drenagem dos sistemas, com grande aumento da evapotranspiração. Dessa forma, uma parcela importante de terras produtivas não pode ser utilizada por falta de água. Torna-se, assim, muito importante para a definição de novos projetos do CT-Hidro, a identificação de pesquisas voltadas para o aumento da disponibilidade hídrica e para o uso racional da água em perímetros de irrigação, por meio do desenvolvimento e do aprimoramento de equipamentos, da adoção de práticas agrícolas sustentáveis e do uso da previsão da disponibilidade de água.

6. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A execução do exercício de prospecção tecnológica em Recursos Hídricos foi pautada nas características do setor e nas necessidades levantadas pelo Comitê Gestor do Fundo Setorial de Recursos Hídricos. A abordagem desenhada foi do tipo "orientada a problemas", aproximando-a dos chamados *roadmaps*⁶ tecnológicos, ou seja, a metodologia empregada foi orientada a encontrar tópicos tecnológicos mais relevantes para solucionar ou mitigar problemas relacionados aos recursos hídricos no país em um horizonte de 10 anos.

Além de orientada a problemas, a abordagem utilizada teve forte identificação com os princípios do *foresight*⁷, valorizando intensamente a participação e a convergência de diferentes atores e pontos de vista em torno da problemática levantada. O caráter intrinsecamente multidisciplinar e multi-setorial dos problemas e das tecnologias relacionadas a recursos hídricos tornam indispensável explorar as mais diferentes facetas envolvidas e investir grande esforço para convergir em prioridades e consenso.

Ressalta-se que os exercícios de prospecção tecnológica não visam substituir o planejamento, nem a definição de políticas ou, ainda, a tomada de decisão. A força destes exercícios está em articular as sobreposições existentes entre essas funções e dar sentido coletivo à construção do futuro, sendo conduzidos em torno de uma base comum que consiste em: (a) esforço de aquisição, tratamento e gestão da informação; (b) promoção e difusão da capacidade analítica e reflexiva; e (c) negociação de múltiplas interpretações.

⁶ *Roadmaps* constituem uma ferramenta de planejamento tecnológico cooperativo, orientada a problemas, que inclui a identificação do *produto* que será objeto do estudo, os requisitos críticos do sistema e suas metas, a especificação das áreas tecnológicas, seus condicionantes e seus objetivos e as tecnologias alternativas. (Garcia, M.L.; Bray, O.H., 2004. Disponível em <http://www.sandia.gov/roadmap/home.htm>. Acesso em: 28/01/2004.)

⁷ Processo de desenvolvimento de visões de possíveis caminhos através dos quais o futuro pode ser construído, entendendo que as ações do presente contribuirão com a construção da melhor possibilidade do amanhã. (Coates, 1995; Horton, 1999; Martin, 1999; Barré, 2002).

Metodologia utilizada

O modelo teórico organizado para nortear este processo no âmbito do CGEE, a partir da criação de ambientes de prospecção, é apresentado na figura 1. De conformidade com este modelo, o CGEE buscou implementar um ambiente de prospecção em recursos hídricos organizado em torno da articulação entre o conjunto de temas selecionados e sua posterior integração.

A metodologia proposta para este exercício envolveu uma combinação dos seguintes componentes: (a) realização de painéis de especialistas para discussão e validação de textos de referência encomendados, por tema; (b) cruzamento das recomendações advindas de cada painel com os resultados do Delphi Prospectar/Recursos Hídricos e outras informações relevantes de âmbito nacional e internacional; (c) Workshop para apresentação, discussão e priorização, de forma integrada, dos resultados obtidos.

Para orientar este exercício foram contratados dois especialistas de notório saber na área de recursos hídricos e, em seguida, constituído um Grupo Consultivo formado por especialistas na área de recursos hídricos e representantes das agências diretamente relacionadas ao fomento e à formulação e implementação de políticas para a área, com ampla visão da problemática e do desenvolvimento científico e tecnológico que a área enfrenta na atualidade. A coordenação geral do exercício ficou a cargo da Diretoria Executiva do CGEE.

Cada um dos seis temas selecionados foi objeto de um documento de referência elaborado por um ou mais consultores conforme apresentado na tabela 1. Tais documentos foram discutidos em painéis de especialistas por tema e, posteriormente, em conjunto, em um workshop onde participaram 29 especialistas de diferentes áreas. As versões finais dos documentos de referência são apresentadas no anexo II.

Tabela 1 – Temas e especialistas responsáveis pela elaboração dos documentos de referência

Tema	Especialista
Qualidade da água superficial	Mônica Ferreira do Amaral Porto - Universidade de São Paulo – USP
Racionalização do uso da água no meio rural	Andrés Troncoso Vilas – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE
Qualidade da água subterrânea	Carlos Eduardo Morelli Tucci - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral - Universidade Federal do Pernambuco - UFPE Aldo Rebouças – Universidade de São Paulo - USP
Produtos e equipamentos	Paulo Kroeff Souza – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Saneamento	Leo Heller – Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG Nilo de Oliveira Nascimento – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Clima e Recursos Hídricos	Pedro Leite da Silva Dias - Universidade de São Paulo - USP Robin Thomas Clarke - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

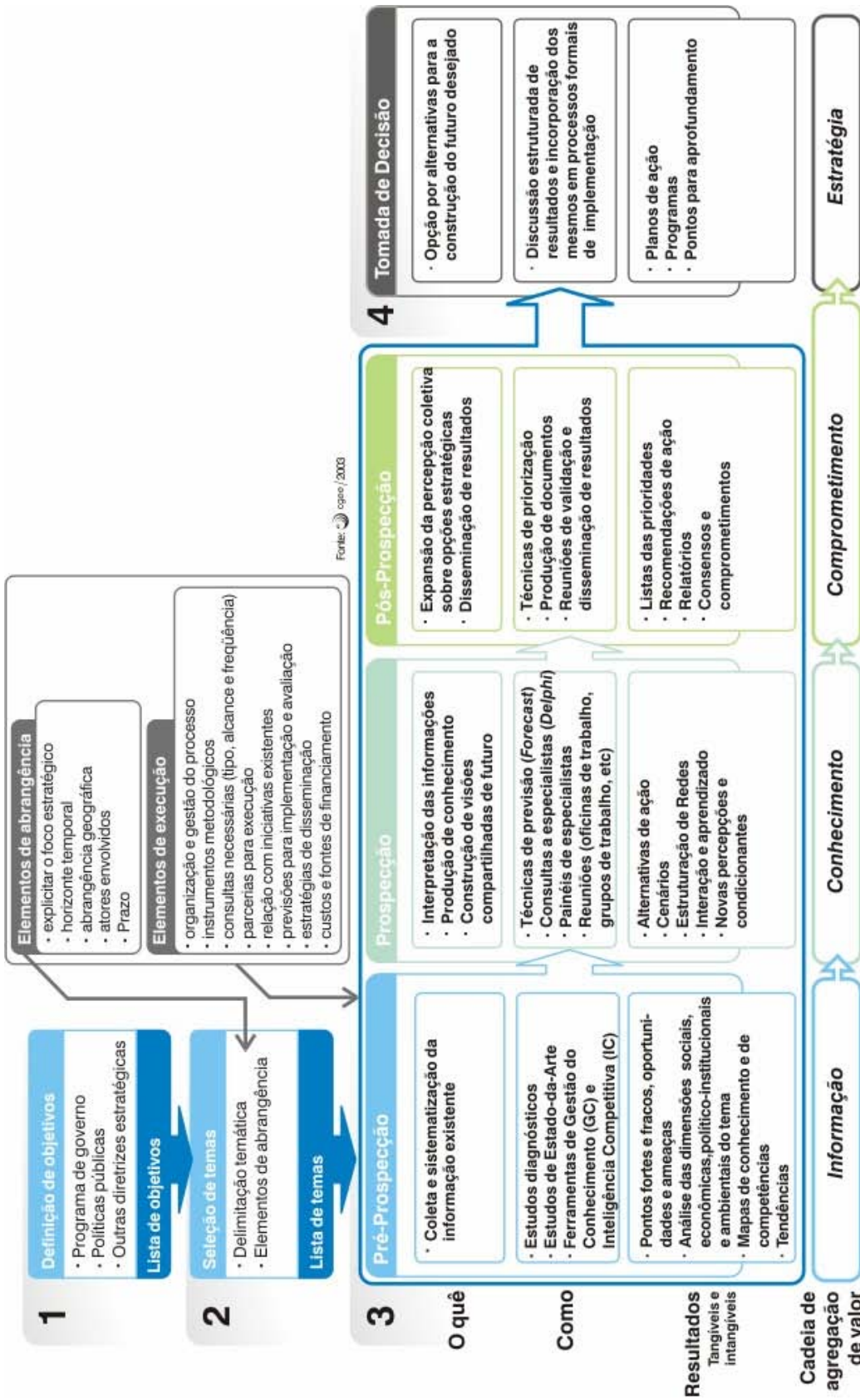
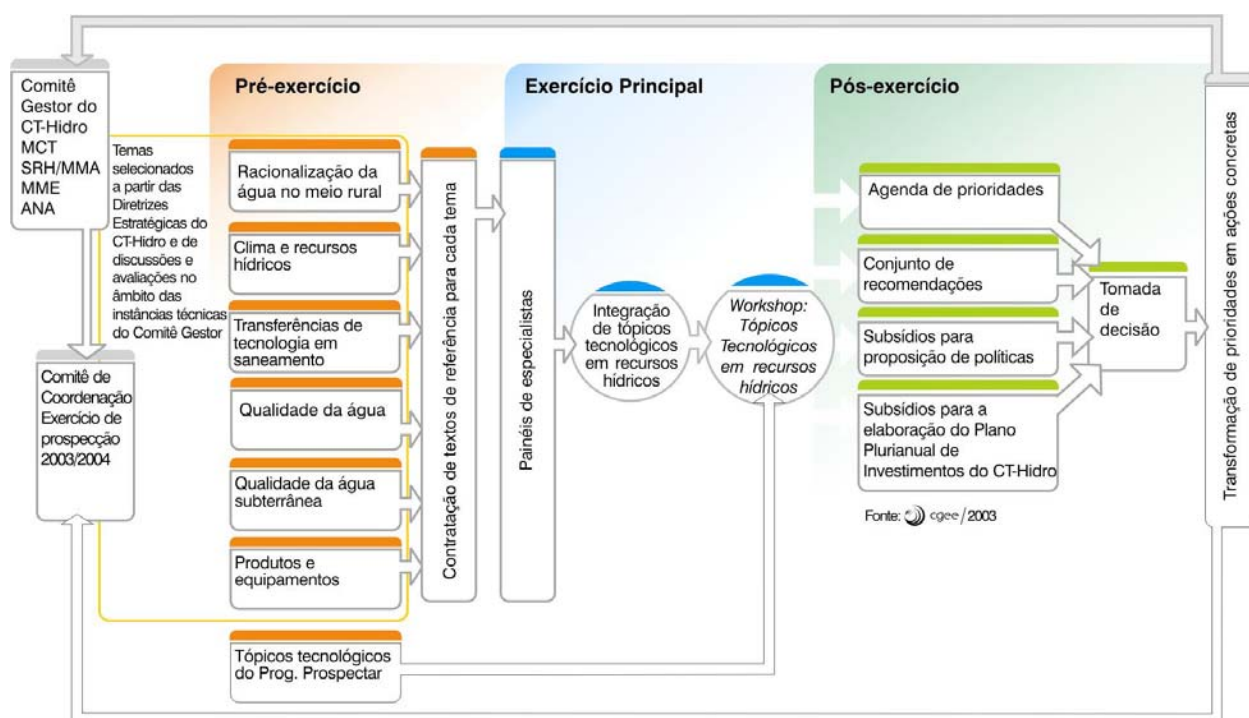


Figura 1 – Modelo teórico organizado para nortear o processo prospectivo no âmbito do CGEE

Para o desenvolvimento do workshop foram preparados documentos síntese acerca de cada tema, bem como foi apresentada uma lista de tópicos tecnológicos, compilada e organizada a partir das informações contidas em cada documento-síntese como referência inicial para discussão em grupos de trabalho. Tais sínteses são apresentadas no anexo III.

A figura 2 apresenta a estrutura metodológica deste exercício de prospecção, de acordo com as premissas consideradas pelo modelo de prospecção adotado pelo CGEE em conformidade com as especificidades do(s) tema(s) e peculiaridades do setor.

Figura 2 – Estrutura metodológica utilizada para o exercício prospectivo em recursos hídricos



Crêterios e Prioriza o dos Tópicos Tecnológicos

A partir da lista preliminar de tópicos tecnológicos identificados após a realiza o dos seis painéis de especialistas, foi realizado exercício para a prioriza o dos mesmos, por meio de duas avalia es feitas pelos participantes do workshop, a saber:

- a. avalia o individual - realizada com base a lista preliminar de tópicos, por grupo, com vistas a avaliar a relevância de cada t pico mediante os critérios abaixo descritos por meio de uma escala qualitativa, em três níveis (baixa - média - alta).
- b. avalia o em grupo - realizada tomando-se por base a lista de tópicos por grupo, no sentido de identificar os 05 tópicos mais importantes dentre os temas tratados em um horizonte de 10 anos. Refere-se, portanto,   importância futura do t pico, na percep o do grupo de especialistas consultados.

Avalia o individual - Prioriza o dos tópicos

Para a avalia o individual, cada especialista participante do workshop levou em considera o um conjunto de três critérios pré-definidos, na avalia o de cada t pico tecnológico identificado. Estes três critérios são apresentados abaixo:

Adequa o sócio-ambiental - medida dos impactos esperados a partir do desenvolvimento do t pico para a melhoria da qualidade de vida da popula o e das variáveis ambientais;

Factibilidade técnico-científica - medida da possibilidade de realizar rapidamente o desenvolvimento previsto dadas as competências nacionais e as dificuldades técnicas envolvidas;

Atratividade de mercado - medida do interesse que o mercado teria no t pico, considerando a viabilidade econômica das solu es depois de desenvolvidas.

Os resultados dessa avalia o foram analisados estatisticamente considerando a escala qualitativa (alto=3, m dio=2, e baixo=1) de modo a garantir um ordenamento de tais tópicos conforme sua pontua o (maiores esclarecimentos poderão ser encontrados no anexo A, ao final do presente relatório). Este ordenamento foi

realizado levando-se em consideração a média aritmética dos valores médios obtidos pela pontuação individual dos três critérios avaliados pelos especialistas presentes no workshop, neste relatório, referenciada como “pontuação no agregado”.

Optou-se por utilizar a pontuação 2,40 como faixa de corte para a montagem das tabelas de tópicos prioritários que serão apresentadas neste relatório.

Avaliação em grupo – Visão de futuro

Para esta avaliação, realizada em conjunto por três grupos de trabalho envolvendo os especialistas participantes do workshop realizado no dia 17 de dezembro de 2003, os 69 tópicos tecnológicos identificados foram reunidos em três grupos afins (Grupo I – qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento; Grupo II – produtos e equipamentos e clima e recursos hídricos; e Grupo III – racionalização da água no meio rural). Deste modo, solicitou-se que cada grupo ordenasse a lista de tópicos apresentada de acordo com a importância futura dos mesmos em um horizonte de 10 anos.

Ordenamento por Classes de tópicos

Adicionalmente, foi realizado um ordenamento dos tópicos em classes de forma a permitir o agrupamento dos mesmos em três grupos afins, de acordo com: Classe A - tópicos que ainda requerem investigação científica básica; Classe B - tópicos que indicam necessidade de desenvolvimento tecnológico; e Classe C - tópicos que se referem a aspectos de gestão.

Esta classificação permite diferenciar tópicos que irão requerer maior esforço e, eventualmente, maior tempo para se realizarem no país, de outros cuja natureza tecnológica aponta para uma realização em um horizonte mais curto de tempo. Além disso, julgou-se necessário diferenciar os tópicos de natureza científica e tecnológica (Classes A e B) de outros igualmente importantes, mas que se referem a ações de gestão (Classe C). A relação dos tópicos de acordo com sua classificação está apresentada no anexo B, ao final do presente documento.

7. RESULTADOS ALCANÇADOS

Destacam-se como resultados finais deste exercício de prospecção em recursos hídricos:

- a construção de uma agenda em CT&I, pela identificação de 69 tópicos tecnológicos;
- conjunto de recomendações, indicando propostas de ação, necessidades de desdobramentos e aprofundamentos futuros em temas e questões concernentes à área de recursos hídricos;
- consensos e comprometimentos em torno de tópicos e estratégias para o fortalecimento da área de recursos hídricos no país.

Os tópicos tecnológicos identificados e recomendações resultantes desta atividade constituem subsídios técnicos para uma tomada de decisão no âmbito do CT-Hidro e agências de fomento do sistema de CT&I, que possuam interface com a área de recursos hídricos.

Estes resultados são apresentados em um conjunto de documentos, conforme lista abaixo:

- i. guia de referência metodológica para condução do exercício prospectivo (anexo I);
- ii. documentos de referência para os seis temas selecionados: qualidade da água superficial; racionalização do uso da água no meio rural; qualidade da água subterrânea; produtos e equipamentos; clima e recursos hídricos; saneamento; (Anexos II-a a II-f);
- iii. documentos-síntese resultantes dos seis painéis de especialistas realizados para cada tema (Anexos III-a a III-f);
- iv. análise dos tópicos tecnológicos do Programa Prospectar frente aos seis temas selecionados (Anexo IV);

7.1 TÓPICOS TECNOLÓGICOS

Em atenção à encomenda feita pelo Comitê Gestor do CT-Hidro, este exercício prospectivo foi planejado para oferecer à tomada de decisão um conjunto de tópicos tecnológicos, obtidos por meio de ampla consulta a especialistas da área de recursos hídricos, conduzida de forma inclusiva e participativa.

O processo de identificação dos 69 tópicos tecnológicos identificados nesta atividade iniciou-se a partir da elaboração de seis documentos de referência para cada um dos temas selecionados, da produção de documentos-síntese a partir dos seis painéis de especialistas e da realização de um workshop para discussão e consolidação dos tópicos preliminarmente identificados, conforme processo descrito anteriormente. A identificação dos tópicos levou em consideração, também, os elementos obtidos a partir da análise dos resultados do Programa Prospector nas áreas de Recursos Hídricos, Energia, Agropecuária e Saúde.

7.2 INTEGRAÇÃO DOS TÓPICOS E GRUPOS TEMÁTICOS

Dadas as expressivas interfaces existentes entre os seis temas selecionados optou-se pela integração dos tópicos identificados em três grupos afins, conforme descrito abaixo:

Grupo I: Tópicos de *Qualidade da Água Superficial, Qualidade da Água Subterrânea e Saneamento* (temas que guardam forte interface, uma vez que o objetivo primordial do saneamento é melhorar a qualidade da água efluente dos ambientes urbanos em direção aos sistemas hídricos superficiais e subterrâneos).

Grupo II: Tópicos de *Clima e Recursos Hídricos e Produtos e Equipamentos* (temas que, igualmente, possuem interações fortes, especialmente porque foi dada ênfase para o monitoramento hidrológico no tema *Produtos e Equipamentos*).

Grupo III: Tópicos de *Racionalização do uso da Água no Meio Rural*.

A tabela 2 abaixo sintetiza os grupos, os temas, e os especialistas participantes em cada grupo, o número de tópicos preliminares identificados por grupo e o número de tópicos resultantes consolidados durante o workshop.

Tabela 2 - Resumo dos grupos, participantes e tópicos

Grupos	Temas	Especialistas	Nº de Tópicos Tecnológicos	
			Preliminar	Consolidado
I	Qualidade da água superficial, subterrânea e saneamento	12	33	35
II	Clima e recursos hídricos, produtos e equipamentos	11	19	15
III	Racionalização da água no meio rural	6	17	19
	Total	29	69	69

7.3 LISTA DE TÓPICOS TECNOLÓGICOS POR GRUPO

Grupo I: Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento

1. Pesquisa e desenvolvimento de produtos químicos para o saneamento.
2. Aprimoramento de metodologias de avaliação de qualidade/quantidade de água em meios urbanos e riscos associados à saúde humana e à qualidade ambiental para fins de planejamento.
3. Pesquisa e avaliação de eutrofização e contaminação química e biológica e seu impacto na saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento
4. Pesquisa e desenvolvimento em técnicas de tratamento de chorume.

5. Desenvolvimento de arranjos institucionais e de instrumentos de planejamento urbano e sua integração com o planejamento do saneamento ambiental com controle social.
6. Desenvolvimento de materiais para sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de drenagem urbana.
7. Desenvolvimento de instrumentos técnicos e institucionais para redução de poluição urbana difusa, incluindo resíduos sólidos urbanos.
8. P&D de tecnologias inovadoras para o monitoramento hidrológico e da qualidade de água no meio urbano.
9. Desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão em saneamento ambiental, incluindo águas subterrâneas.
10. P&D em técnicas inovadoras de tratamento de esgotos sanitários em centros urbanos.
11. P&D e avaliação de efetividade do desempenho de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, incluindo a disposição dos resíduos dos processos de tratamento.
12. Desenvolvimento de instrumentos técnicos, legais e institucionais para a gestão de áreas de mananciais.
13. P&D de redes, métodos, padrões e índices para sistemas de monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, incluindo bioindicadores, bioacumuladores e potenciais riscos à saúde humana adaptados às especificidades regionais.
14. Avaliação da capacidade instalada de laboratórios de qualidade da água e desenvolvimento de procedimentos de integração (inter calibração e padronização).
15. P&D de sistemas de informação de bacias hidrográficas, incluindo qualidade da água (integrados a sistemas mais abrangentes).
16. Avaliação de mudanças hídricas em aquíferos causadas pela urbanização.

17. Avaliação da superexploração de aquíferos (vazão total x recarga, recarga induzida e interferência entre captações) e fluxo de base em rios.
18. Pesquisa e avaliação em recargas induzida e artificial de aquíferos.
19. P&D em gestão de aquíferos, com prioridade para os de grande exploração.
20. P&D em hidrogeologia de aquíferos fraturados com vistas à otimização para localização de poços/ captação e para a determinação de recarga.
21. Pesquisa e avaliação de comportamento de aquíferos costeiros, do Semi-árido e do Cerrado.
22. Desenvolvimento de métodos de mapeamento hidrogeológico em situação de baixa densidade de dados a partir de informes pontuais para abrangência regional.
23. Pesquisa e avaliação de características geoquímicas das águas subterrâneas (As, Cr, F, Fe, Mn, Ba).
24. Pesquisa e avaliação sobre comportamento de contaminantes em meios saturado e não-saturado, com desenvolvimento de metodologias para avaliação de descontaminação.
25. P&D nas áreas de remediação de aquíferos e atenuação natural dos contaminantes.
26. P&D em técnicas de aproveitamento de água subterrânea em áreas de risco sanitário.
27. P&D em técnicas de infiltração e armazenamento para compensação dos efeitos da urbanização no escoamento superficial.
28. Metodologias de avaliação de impactos de espécies invasoras e de desenvolvimento de técnicas de controle.
29. Aperfeiçoamento de técnicas de saneamento ambiental em áreas especiais (rurais, indígenas e de urbanização precária).
30. P&D em reuso da água.
31. P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.

- 32. P&D em equipamentos para uso eficiente da água em habitações, indústrias e edificações diversas.
- 33. P&D em aproveitamento da água de chuva.
- 34. P&D em instrumentos técnicos e indicadores para a gestão das águas.
- 35. P&D em técnicas de valoração econômica de bens e serviços ambientais.

Grupo II: Clima e recursos hídricos e produtos e equipamentos

- 36. Ampliação das observações da camada superior do Atlântico Sul que permitam melhorar a estimativa de modelos climáticos.
- 37. Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais.
- 38. Integração de dados hidroclimáticos e ambientais de diferentes sistemas de aquisição em sistemas de informação georeferenciados de acesso público.
- 39. Previsão e predição da variabilidade climática natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e seus efeitos no desenvolvimento econômico e social, incluindo potenciais medidas de mitigação.
- 40. Avaliação dos efeitos da alteração hidrometeorológica em ambientes urbanos
- 41. Desenvolvimento e aprimoramento de métodos para estimar a evapotranspiração nas condições de clima tropical.
- 42. Desenvolvimento e aprimoramento do conhecimento da inter-relação entre as variáveis ambientais e as hidrológicas, para o prognóstico de impactos antrópicos e climáticos.
- 43. Desenvolvimento do conhecimento dos processos hidroclimáticos em diferentes escalas temporais e espaciais.
- 44. Desenvolvimento de métodos para tratamento das séries não estacionárias visando o planejamento do desenvolvimento sócio-econômico.

45. Desenvolvimento de sensores, instrumentos e sistemas para monitoramento hidrometeorológico, sedimentológico e qualidade de água para atender mercados que viabilizem a industrialização local.
46. Desenvolvimento de normas para projeto de itens de infra-estrutura (ex. bóias e torres submersas) e normas para procedimentos e padrões ligados à medição (ex. transmissão de dados e procedimentos de calibração).
47. Desenvolvimento de novos sistemas e métodos de medição tais como vazão por radar e evapotranspiração.
48. Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso.
49. Desenvolvimento de sistemas para transmissão de dados adequados à realidade nacional.
50. Desenvolvimento de sistemas de informação para melhoria da consistência e assimilação de grandes massas de dados através do desenvolvimento de novos modelos.

Grupo III: Racionalização da água no meio rural

51. Desenvolvimento e adaptação de cultivares eficientes no uso da água, com ênfase para ambientes com deficiência hídrica.
52. Desenvolvimento de sistemas de plantio direto para recuperação de pastagens degradadas com vistas à conservação dos recursos hídricos.
53. Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica para o uso da água.
54. Zoneamento agroecológico em escala regional.
55. Desenvolvimento de metodologias e instrumentos para o monitoramento e avaliação de sistemas agrícolas irrigados.

56. Estabelecimento das relações água e sistemas agro-silvo-pastoris, como elemento para a gestão da água.
57. Previsão climática e da disponibilidade hídrica como subsídio para a avaliação de risco e seguro agrícola .
58. Técnicas alternativas de manejo e conservação do solo que promovam o aumento da infiltração da água.
59. Metodologias para monitoramento e avaliação dos impactos de sistemas e práticas agrícolas na quantidade e qualidade de água, em nível de bacias hidrográficas.
60. Técnicas de captação e armazenamento de água “in situ”, em pequenas propriedades do semi-árido.
61. Desenvolvimento de técnicas alternativas de armazenamento, conservação e manejo da água para a regularização da disponibilidade hídrica.
62. Tratamento e reuso de efluentes da produção agropecuária e avaliação do seu impacto na bacia hidrográfica.
63. Tratamento e reuso de águas residuárias urbanas e industriais na agropecuária
64. Processos de dessalinização de águas no semi-árido nordestino e disposição e aproveitamento de resíduos.
65. Sistemas de suporte à decisão para o aumento das eficiências técnica e econômica do uso da água no meio rural.
66. Instrumentos econômicos, legais e gerenciais promotores do uso eficiente da água no meio rural.
67. Estabelecimento de necessidades hídricas de culturas irrigadas.
68. Sistemas de caracterização, monitoramento e gestão de riscos (hidrológicos, econômicos, ambientais e gerenciais).
69. Alternativas de manejo da água em lavouras de arroz irrigado por inundações.

7.4 RESULTADOS DO ORDENAMENTO DOS TÓPICOS

As tabelas 3, 4 e 5 apresentadas a seguir apresentam o resultado do exercício de priorização realizado durante o workshop de especialistas. Arbitariamente, somente são apresentados os tópicos com valores médios iguais ou superiores a 2,40, valor referente à média dos valores de pontuações médios dos três critérios empregados (adequação sócio-ambiental, factibilidade técnico-científica e atratividade de mercado)

Tabela 3 - Tópicos priorizados para o Grupo I - Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento

Tópico	Referência do tópico na lista geral ⁸	Pontuação no agregado
P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água	31	2,72
P&D em reuso de água	30	2,61
P&D em sistemas de informação de bacias hidrográficas, incluindo qualidade da água (integrados à sistemas mais abrangentes)	15	2,57
Pesquisa e avaliação de eutrofização e contaminação química e biológica e seu impacto na saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento	3	2,56
Aprimoramento de metodologias de avaliação de qualidade/quantidade de água em meios urbanos e riscos associados à saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento	2	2,56
Desenvolvimento de materiais para sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de drenagem urbana	6	2,55
P&D em técnicas de infiltração e armazenamento para compensação dos efeitos da urbanização no escoamento superficial	27	2,54
P&D em equipamentos para uso eficiente da água em habitações, indústrias e edificações diversas	32	2,53
P&D em técnicas de aproveitamento de água subterrânea em áreas de risco sanitário	26	2,49
Desenvolvimento de arranjos institucionais e de instrumentos de planejamento urbano e sua integração com o planejamento do saneamento ambiental com controle social	5	2,49

⁸ Vide item 7.3 do presente Relatório.

P&D de redes, métodos, padrões e índices para sistemas de monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, incluindo bioindicadores, bioacumuladores e potenciais riscos à saúde humana adaptados às especificidades regionais	13	2,47
Desenvolvimento de instrumentos técnicos, legais e institucionais para a gestão de áreas de mananciais	12	2,45
P&D e avaliação de efetividade do desempenho de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário	11	2,45
P&D em técnicas inovadoras de tratamento de esgotos sanitários em centros urbanos	10	2,42

Tabela 4 - Tópicos priorizados para o Grupo II - Clima e recursos hídricos; produtos e equipamentos

Tópico	Referência do tópico na lista geral⁹	Pontuação no agregado
Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais	37	2,62
Desenvolvimento de sistemas de informação para melhoria da consistência e assimilação de grandes massas de dados através do desenvolvimento de novos modelos	50	2,58
Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso	48	2,57
Integração de dados hidroclimáticos e ambientais de diferentes sistemas de aquisição em sistemas de informação georeferenciados de acesso público	38	2,49
Avaliação dos efeitos da alteração hidrometeorológica em ambientes urbanos	40	2,45
Desenvolvimento de sensores, instrumentos e sistemas para monitoramento hidrometeorológico, sedimentológico e qualidade da água para atender mercados que viabilizem a industrialização local	45	2,41

⁹ Vide item 7.3 do presente Relatório.

Tabela 5 – Tópicos priorizados para o Grupo III – Racionalização do uso da água no meio rural

Tópico	Referência do tópico na lista geral¹⁰	Pontuação no agregado
Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica para o uso da água	53	2,56
Desenvolvimento de sistemas de plantio direto para recuperação de pastagens degradadas com vistas à conservação dos recursos hídricos	52	2,44

Avaliação em grupo – Visão de futuro

As tabelas 6, 7 e 8 a seguir, apresentam o ordenamento dos tópicos dos Grupos I, II e III, de acordo com a percepção coletiva dos especialistas dos grupos de trabalho constituídos durante a realização do workshop deste exercício prospectivo, em relação à importância futura destes tópicos em um horizonte de 10 anos. Este ordenamento foi confrontado com a pontuação recebida por estes tópicos em relação à avaliação individual baseada nos três critérios mencionados neste relatório.

Desta forma, é importante destacar que, em muitos casos, tópicos bem avaliados em relação à sua importância futura (primeira coluna à esquerda nas tabelas 6, 7 e 8) foram, igualmente, bem avaliados em relação aos três critérios utilizados na avaliação individual (coluna à direita nas tabelas 6,7 e 8), combinando, portanto, duas dimensões de prioridade.

¹⁰ Vide item 7.3 do presente Relatório.

Tabela 6 - Tópicos mais importantes em um horizonte de 10 anos – Grupo I (qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento)

Posição do tópico no quesito 'Importância futura'	Descrição	Referência do tópico na lista geral ¹¹	Posição no agregado de tópicos
01	Aprimoramento de metodologias de avaliação de qualidade/quantidade de água em meios urbanos e riscos associados à saúde humana e à qualidade ambiental para fins de planejamento;	2	5
02	Desenvolvimento de arranjos institucionais e de instrumentos de planejamento urbano e sua integração com o planejamento do saneamento ambiental com controle social;	5	10
03	P&D de redes, métodos, padrões e índices para sistemas de monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, incluindo bio-indicadores, bio-acumuladores e potenciais riscos à saúde humana adaptados às especificidades regionais;	13	11
04	Pesquisa e avaliação de eutrofização e contaminação química e biológica e seu impacto na saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento – os problemas vão desde identificação de situações em algumas regiões do Brasil até desenvolvimento de processos de controle/mitigação;	3	4
05	Desenvolvimento de instrumentos técnicos, legais e institucionais para a gestão de áreas de mananciais;	12	12
06	P&D de sistemas de informação de bacias hidrográficas, incluindo qualidade da água (integrados a Sistemas mais abrangentes);	15	3
07	P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água;	31	1
08	Avaliação da super-exploração de aquíferos (vazão total x recarga, recarga induzida e interferência entre captações) e fluxo de base;	17	26

¹¹ Vide item 7.3 do presente Relatório.

Tabela 7 - Tópicos mais importantes em um horizonte de 10 anos – Grupo II - Clima e Recursos Hídricos – Produtos e Equipamentos

Posição do tópico no quesito 'Importância futura'	Descrição	Referência do tópico na lista geral¹²	Posição no agregado de tópicos
01	Previsão e predição da variabilidade climática natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e seus efeitos no desenvolvimento econômico e social, incluindo potenciais medidas de mitigação.	39	7
02	Desenvolvimento do conhecimento dos processos hidroclimáticos em diferentes escalas temporais e espaciais	43	10
03	Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais.	37	1
04	Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso.	48	3
05	Desenvolvimento de sensores, instrumentos e sistemas para monitoramento hidrometeorológico, sedimentológico e qualidade de água para atender mercados que viabilizem a industrialização local.	45	6
06	Desenvolvimento de sistemas de informação para melhoria da consistência e da assimilação de grandes massas de dados climáticos e hidrológicos, através do desenvolvimento de novos modelos	50	12

¹² Vide item 7.3 do presente Relatório.

Tabela 8 - Tópicos mais importantes em um horizonte de 10 anos – Grupo III - Racionalização do uso da água no meio rural

Posição do tópico no quesito 'Importância futura'	Descrição	Referência do tópico na lista geral¹³	Posição no agregado de tópicos
01	Previsão climática e da disponibilidade hídrica como subsídio para a avaliação de risco e seguro agrícola.	57	5
02	Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica para o uso da água.	53	1
03	Tratamento e reuso dos efluentes da produção agropecuária e avaliação do seu impacto na bacia hidrográfica.	62	12
04	Desenvolvimento de sistema de plantio direto com vistas à conservação dos recursos hídricos em áreas degradadas.	52	2
05	Processos de dessalinização de águas no semi-árido nordestino, e disposição e aproveitamento de resíduos.	64	17
06	Instrumentos econômicos, legais e gerenciais promotores do uso eficiente da água no meio rural.	66	13

¹³ Vide item 7.3 do presente Relatório.

8. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

8.1 RECOMENDAÇÕES

Durante a realização dos painéis de especialistas e do workshop para discussão e priorização dos tópicos tecnológicos, os especialistas envolvidos registraram um conjunto de recomendações de natureza geral que visam soluções para gargalos de natureza sistêmica para a pesquisa e gestão integrada dos recursos hídricos no país.

Estas recomendações, a serem consideradas na elaboração de programas e projetos associados aos tópicos identificados, encontram-se listadas a seguir:

- (a) Capacitação de recursos humanos em áreas e questões específicas (mestres, doutores e treinamento técnico àqueles profissionais de nível médio que atuam na operação de sistemas);
- (b) Formação de redes de pesquisadores, com perfil multidisciplinar, que busquem a formação de grupos emergentes com fixação regional, preferencialmente com componentes internacionais;
- (c) Desenvolvimento de projetos-piloto que representem a realidade brasileira;
- (d) Necessidade de estimular a criação de uma indústria nacional no setor e desenvolvimento da produção de equipamentos, apoiadas em pesquisas de mercado e dos grupos de pesquisa, que permitam reduzir os custos e produzir equipamentos voltada para o ambiente brasileiro;
- (e) Necessidade de apoiar as empresas existentes, que já foram produtoras de equipamentos, com fundos para desenvolvimento de produtos em parceria com entidades de pesquisa ou ainda na forma de encomendas a empresas e grupos de pesquisa;
- (f) Gerar o desenvolvimento de produtos que, de forma integrada, tornem eficiente a coleta, processamento e avaliação dos dados hidrológicos dentro de um conjunto

de atividades, priorizando a inovação tecnológica em todo o processo de aumento da produtividade;

- (g) Avaliação da capacidade instalada da rede de monitoramento, laboratórios e pessoal no país, complementando os estudos já realizados. Esta avaliação deve identificar as necessidades de monitoramento (coleta, análise e banco de informações) ideais e o estágio atual; proposta de procedimentos padrões a serem desenvolvidos no âmbito de CT&I quanto a: parâmetros indicadores e índices, metodologia de monitoramento e análise; necessidade de investimento em infraestrutura;
- (h) Investimentos em infra-estrutura de laboratórios ligados a instituições de CT&I;
- (i) Pesquisas sobre propostas de instrumentos para gestão da qualidade da água e instrumentos aplicados à realidade brasileira.

8.2 Sugestões

As sugestões abaixo descritas constituem exemplos de como os seis tópicos identificados, em sua maioria, avaliados como prioritários, poderiam ser apropriados pelo sistema de fomento ligado ao CT-Hidro. Trata-se de uma seleção de sugestões feitas a partir das interações com os especialistas envolvidos, formuladas pela equipe responsável pela coordenação deste exercício.

Grupo I - Qualidade da água superficial, subterrânea e saneamento

Tópico: P&D em ações para racionalização do uso da água em áreas urbanas

Descrição: São inúmeros os exemplos no país de desperdício de água tratada nos sistemas de abastecimento de água. Há casos de sistemas de grandes cidades brasileiras em que menos de 30% do volume captado pelo prestador de serviços de abastecimento são cobrados dos consumidores. Essas perdas de água podem ocorrer por vazamentos no sistema ou por ligações clandestinas no sistema. Sistemas eficientes de abastecimento de água devem apresentar índices de menos de 15% de perdas. A simples redução dessas perdas promoveria impactos sócio-econômicos e ambientais bastante positivos: menor

consumo de energia e insumos, menor pressão sobre os recursos naturais, adiamento de novos investimentos em infra-estruturas, entre outros. Observa-se, também, que não é sistemático nem eficiente o eventual recurso a outras fontes de água, como água de chuva e água subterrânea, que poderiam suprir certas demandas urbanas de água. Os benefícios sociais e econômicos que poderiam advir no curto prazo justificariam essa proposta de ação. Há poucas limitações de natureza técnica a serem superadas, contudo, existem ainda importantes gargalos de natureza normativa e institucional a serem eliminados.

Mecanismos: A formulação de um programa de CT&I em Uso Eficiente da Água nas Cidades é sugerida na forma de uma rede cooperativa, com duração limitada, em um processo competitivo para sua formação. São numerosas as instituições com experiência no tema e com potencial de desenvolvimento. Indústrias de equipamentos na área de saneamento e empresas de consultoria devem participar da rede. Este programa poderia estruturar-se em duas componentes: uma incorporando aspectos normativos, institucionais, econômico-financeiros e de transferência de tecnologia, além de outra englobando P&D de processos. Essa última componente tecnológica seria composta de subgrupos temáticos. Dois temas já foram identificados como prioritários no exercício de prospecção. a) P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água e b) P&D em coleta e aproveitamento de água de chuva.

Objetivos: Ao final do programa, haveria, no País, uma rede mais numerosa de instituições habilitadas para P&D nessas áreas, com atuação de indústrias e empresas de consultoria e a conseqüente adesão de cidades e aglomerações urbanas a programas locais de uso eficiente da água. Espera-se contar, também, com um número expressivo de unidades demonstrativas sobre boas práticas de uso eficiente da água em cidades. Esse cenário deve estar associado a um ambiente regulatório que permita a implementação das soluções propostas, assim como à existência de políticas de divulgação científico-tecnológica, de transferência de tecnologia e de crédito.

Tópico: P&D em reuso da água

Descrição: Em todo mundo, a prática do reuso vem se impondo como alternativa para uso eficiente e sustentável da água. São muitas as possibilidades de reuso: desde o uso de águas servidas para demandas menos exigentes em termos de qualidade de água (como lavagem de piso e irrigação) até a reutilização de águas servidas, após tratamento, em sistemas de abastecimento de água. Com os custos crescentes de acesso à água de boa qualidade e maiores exigências relativas aos padrões ambientais, o reuso de águas servidas pode constituir-se em interessante alternativa econômico-financeira, desde que limitações técnicas e legal-institucionais hoje existentes sejam superadas.

Mecanismos: Dada a existência de um certo número de centros de pesquisa que vêm desenvolvendo atividades na área e de algumas experiências empresariais bem sucedidas, seria razoável propor um programa de rede cooperativa, com duração limitada, que poderia estruturar-se a partir de 3 subgrupos: a) aspectos normativos e legais do reuso, b) desenvolvimento e avaliação de processos e c) difusão e transferência de tecnologia.

Objetivos: Espera-se que ao final do programa, o país possa contar não só com pesquisadores e técnicos mais capacitados na área, com uma rede de instituições habilitadas para P&D, com um número expressivo de experimentos-piloto e unidades demonstrativas sobre reuso, como também com a formulação de propostas de políticas de divulgação científico-tecnológica, de transferência de tecnologia e de crédito para reuso.

Grupo II - Clima e Recursos Hídricos e Produtos e Equipamentos

Tópico: Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais

Descrição: Existe pouco conhecimento sobre o comportamento hidroambiental das bacias hidrográficas nos principais biomas nacionais. Considerando que os processos apresentam grande variabilidade de escala temporal e espacial é necessária a observação de variáveis climáticas tais como: precipitação, radiação solar, temperatura, insolação, etc e variáveis hidrológicas como: umidade do solo, escoamento, infiltração, entre outros em diferentes tamanhos das bacias e ao longo do tempo. Estas variáveis devem estar associadas ao bioma e ao tipo e uso do solo. Estes elementos são essenciais para melhor conhecer a sustentabilidade dos biomas brasileiros quanto ao uso do solo e melhor conhecer a sua disponibilidade hídrica. O maior conhecimento sobre o comportamento hidroclimático dos ambientes brasileiros permitiria melhor planejar o uso do solo, mitigar seus impactos e desenvolver de forma sustentável o espaço do território brasileiro. Considerando o tamanho do território brasileiro e o número de biomas, caso seja necessário priorizar os biomas em função dos investimentos, recomenda-se os investimentos na seguinte ordem de prioridade: Cerrado, em função da grande área potencial de expansão agrícola; Costeiro: pela grande pressão de ocupação urbana e desmatamento; Semi-árido pelas condições de escassez de água; Amazônia pela pressão de desmatamento sobre a região; Pantanal: pela preservação do equilíbrio uso do espaço e conservação. Seguem-se os biomas do Sul e Sudeste.

Mecanismos: O mecanismo recomendado para este tópico é o uso de uma rede de grupos de pesquisa. Cada grupo próximo a cada bioma poderia desenvolver o monitoramento e pesquisas associadas criando uma base de conhecimento regional sobre cada bioma, aproveitando-se as capacidades existentes, criando

capacidade em regiões desprovidas de pesquisadores através de parcerias com grupos de pesquisadores consolidados.

Objetivos: Busca-se o estabelecimento de relações das variáveis climáticas com diferentes usos do solo, impacto sobre o escoamento em termos de quantidade do escoamento superficial, mudança no lençol freático e no escoamento subterrâneo, quantidade de sedimentos e qualidade da água. Um dos objetivos fundamentais é a qualificação de pesquisadores experimentais nos diferentes biomas do país.

Tópico: Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso

Descrição: As redes hidrológicas de observação estão fortemente desatualizadas no Brasil e apresentam baixa produtividade. Não existe produção de equipamentos e quando se deseja os mesmos os preços são muito altos. O investimento na produção de equipamentos de forma isolada provavelmente não permitirá a formação de uma indústria nacional devido a problemas relacionados com a capacidade de competitividade nacional. Atualmente a parcela importada é muito alta na área de hardware e pequena na área de serviços. Considerando estes dois aspectos, deveria se buscar o aumento da produtividade das redes de observação brasileira através de aprimoramento de equipamentos, serviços de coleta de dados, processamento e desenvolvimento de softwares associados, além do aprimoramento de equipamentos. Desta forma, seria possível criar empresas de serviços que se associassem a empresas de hardwares dentro de um foco dos interesses e características nacionais. A definição dos projetos pilotos deveria se basear no perfil amostral dos tipos de redes do Brasil: (a) redes em áreas de difícil acesso como Amazônia e Pantanal e com variáveis de pequena variação com o tempo; (b) redes tradicionais em rios de grande e médio porte; (c) redes de pequenas bacias rurais e urbanas.

Mecanismos: Seria recomendável realizar encomendas a grupos consolidados de pesquisa que atuam no desenvolvimento de equipamentos para hidrometria e

que preferencialmente se associem a empresas de serviços e/ou de equipamentos. Dever-se-ia promover a competitividade entre os grupos através dessas encomendas.

Objetivos: Viabilizar a criação de empresas de serviços associada à produção de equipamentos voltada para o mercado nacional; manter grupos de pesquisas ativos no desenvolvimento de equipamentos ligado a recursos hídricos, permitindo a sua diversificação na medida que outras demandas sejam agregados a estes objetivos.

Tópico: *Previsão e predição da variabilidade climática natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e seus efeitos no desenvolvimento econômico e social, incluindo potenciais medidas de mitigação.*

Descrição: A previsão é entendida como a estimativa de curto (horas até poucos dias) e de longo prazo (até nove meses) de variáveis como precipitação e vazão, enquanto que a predição é entendida como sendo a estimativa estatística destas variáveis, sem um referencial temporal. Os projetos de recursos hídricos têm sido estabelecidos com base em séries estacionárias com implicações em toda a infra-estrutura de recursos hídricos: água e saneamento, energia, transporte, irrigação. Observa-se a tendência de variabilidade climática e de alteração do uso do solo que tem transformado estas séries em não estacionárias. Em diferentes setores da sociedade como produção de energia, agricultura, abastecimento de água e transporte, a disponibilidade hídrica é o insumo básico. Na energia, 93% da produção são provenientes de hidrelétricas, o que mostra uma forte dependência hídrica da produção energética e, portanto, de sua variabilidade. Na agricultura a maior produção natural é de sequeiro e depende da umidade do solo (que é função da precipitação) em diferentes períodos de plantio. A disponibilidade hídrica para abastecimento da população mostra que em áreas de grande densidade de ocupação o risco de racionamento de água é grande, da mesma forma que no semi-árido. Toda esta infra-estrutura já apresenta limitações, que associadas às alterações das bacias

hidrográficas e à variabilidade climática podem produzir estrangulamentos sérios ao desenvolvimento do país. O aprimoramento das técnicas de previsão e predição permite minimizar os riscos destes processos, observando-se duas prioridades bem definidas dentro da realidade brasileira: previsão e predição voltada para produção energética e para a gestão da produção agrícola.

Mecanismos: O desenvolvimento desta área requer grupos de pesquisa interdisciplinares, sendo poucas as equipes no Brasil que atuam nestes tópicos. Seria recomendável, portanto, que fossem realizadas encomendas a grupos integrados em instituições cujo foco esteja voltado à previsão climática, previsão hidrológica e da operação de sistemas energéticos de longo prazo e de curto prazo; e, previsão climática e hidrológica da umidade do solo e o manejo agrícola integrado para as principais áreas de produção.

Objetivos: Integração de grupos interdisciplinares; desenvolvimento de tecnologia (softwares e conhecimento) de apoio ao planejamento energético e agrícola para as entidades públicas e privadas; internalização dos produtos nos meios produtivos do país.

Grupo III - Racionalização da água no meio rural

Tópico: *Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica do uso da água.*

Descrição: A área irrigada brasileira tem se expandido, principalmente no centro-oeste, semi-árido brasileiro e no sul com a irrigação de arroz. Existem ainda muitas deficiências tecnológicas que resultam em perda de água que pode comprometer e ampliar conflitos em muitas regiões brasileiras existindo assim a necessidade de buscar eficiência do uso da água com técnicas adequadas a cada realidade.

Existe no mercado um conjunto de tecnologias de irrigação e métodos internacionalmente conhecidos. O foco aqui sugerido seria buscar de um lado,

melhor desenvolver as adaptações às diferentes realidades brasileiras e, de outro lado, ser inovador na busca de soluções próprias que permitam aumentar a produtividade e a redução da água utilizada.

Mecanismo: O mecanismo recomendado para o investimento neste tipo de projeto é o de identificar as principais áreas de irrigação no país e convocar os grupos de pesquisa a desenvolver produtos voltados para eficiência nas mesmas.

Objetivos: Obtenção de redução do consumo de água na agricultura e o aumento da produtividade com mitigação ambiental.

Tópico: Técnicas alternativas de manejo e conservação do solo que promovam o aumento da infiltração da água

Descrição: O desenvolvimento agrícola produz alteração no ciclo hidrológico natural da bacia hidrográfica pelo aumento do escoamento superficial, erosão de solo fértil, transporte de compostos químicos utilizados nos plantios, entre outros. O impacto faz com o lençol freático das bacias se reduza diminuindo a regularização natural e a redução da disponibilidade hídrica nos períodos secos e aumentando durante as inundações. Para a própria cultura, isto traz efeitos danosos, pois requer maior quantidade de pesticidas, redução da umidade do solo e sustentabilidade da planta. Nos últimos anos várias práticas de sucesso têm sido incluídas, destacando-se o plantio direto. Dever-se-ia buscar desenvolver conhecimento sobre práticas agrícolas que priorizassem o retorno das condições naturais do ciclo hidrológico.

Mecanismos: Seria recomendável a estruturação de redes, preferencialmente, através da integração entre grupos interdisciplinares.

Objetivos: Os resultados esperados devem ser no sentido de desenvolver práticas agrícolas sustentáveis em diferentes biomas e condicionantes brasileiros que permitam a transferência destas práticas através de programas

de extensão rural. Um dos objetivos deveria ser o desenvolvimento de manuais de práticas agrícolas e cursos práticos.

9. RECOMENDAÇÕES FINAIS

Como foi destacado na introdução deste documento, o país encontra-se em um processo de intensa evolução institucional, na busca da gestão integrada dos recursos hídricos, com ênfase para a implementação de um novo marco legal para esta área. Neste sentido, torna-se fundamental serem atacados os problemas críticos existentes dentro desta nova realidade, com base nos condicionantes institucionais criados.

Nesse contexto destacam-se como principais questões:

- a racionalização do uso da água para o aumento da disponibilidade hídrica em áreas urbanas e rurais sujeitas a condicionamentos críticos. Esta racionalização envolve o desenvolvimento tecnológico que apóie a concretização de metas associadas aos objetivos do Projeto *Millenium* das Nações Unidas sobre a água, que são relacionadas principalmente com o saneamento ambiental;
- a redução da vulnerabilidade do país ao efeito da pressão pelo uso do solo agrícola em diferentes biomas nacionais e da variabilidade climática em setores estratégicos como o de energia e agricultura que dependem fortemente do clima;
- a melhoria das informações hidrológicas voltadas para o desenvolvimento, criando empresas de serviços e tecnologia neste setor;
- o desenvolvimento da gestão institucional voltada para o controle e mitigação da cadeia de impactos urbanos e rurais, essenciais para atingir o desenvolvimento sustentável. O conjunto de tópicos identificados neste exercício de prospecção traduz a perspectiva estratégica na qual se assenta a base do CT-Hidro, que é a pesquisa voltada para o problema.

Apesar destes resultados formarem um consenso dentro de um grupo altamente qualificado, o processo não se encerra, e, **recomendamos que o mesmo tenha continuidade de modo a:**

- (a) divulgar e difundir estes resultados de forma a se obter uma avaliação mais ampla deste exercício prospectivo junto à comunidade científica;

- (b) elaborar e contratar nova proposta de exercício prospectivo na área de recursos hídricos, com vistas ao aprofundamento de questões levantadas e discutidas neste relatório bem, como permitir a incorporação de novos temas de interesse para o sistema de fomento em CT&I;
- (c) identificar a capacidade instalada no país e as deficiências de capacitação, em processos prospectivos de mapeamento de competências, que não foram realizadas neste exercício prospectivo. Este é um importante processo para que os mecanismos de investimentos sejam os mais eficientes no sentido de incentivar a competitividade, a permanência de grupos de excelência e o resultado acadêmico-tecnológico;
- (d) aprofundar a discussão e estudo dos tópicos selecionados de modo a promover a discussão quanto a mecanismos de investimentos, metas, procedimentos de transferência de tecnologia e/ou formação de incubação tecnológica.

Anexo A - Tópicos tecnológicos x critérios

Grupo I – Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento

Tópicos	Critérios			Agregado de tópicos
	Adequação sócio-ambiental	Factibilidade técnico científica	Atratividade de mercado	
1. Pesquisa e desenvolvimento de produtos químicos para o saneamento	1,92	2,42	2,50	2,28
2. Aprimoramento de metodologias de avaliação de qualidade/quantidade de água em meios urbanos e riscos associados à saúde humana e à qualidade ambiental para fins de planejamento	3,00	2,50	2,17	2,56
3. Pesquisa e avaliação de eutrofização e contaminação química e biológica e seu impacto na saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento	2,92	2,50	2,27	2,56
4. Pesquisa e desenvolvimento em técnicas de tratamento de chorume	2,18	2,45	2,00	2,21
5. Desenvolvimento de arranjos institucionais e de instrumentos de planejamento urbano e sua integração com o planejamento do saneamento ambiental com controle social	2,83	2,55	2,09	2,49
6. Desenvolvimento de materiais para sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de drenagem urbana	2,25	2,50	2,91	2,55
7. Desenvolvimento de instrumentos técnicos e institucionais para redução de poluição urbana difusa, incluindo resíduos sólidos urbanos	2,75	2,17	1,60	2,17
8. P&D de tecnologias inovadoras para o monitoramento hidrológico e da qualidade de água no meio urbano	2,64	2,33	2,00	2,32
9. Desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão em saneamento ambiental, incluindo águas subterrâneas	2,50	2,50	2,10	2,37
10. P&D em técnicas inovadoras de tratamento de esgotos sanitários em centros urbanos	2,58	2,42	2,27	2,42

11. P&D e avaliação de efetividade do desempenho de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, incluindo a disposição dos resíduos dos processos de tratamento	2,58	2,45	2,30	2,45
12. Desenvolvimento de instrumentos técnicos, legais e institucionais para a gestão de áreas de mananciais	2,83	2,42	2,10	2,45
13. P&D de redes, métodos, padrões e índices para sistemas de monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, incluindo bioindicadores, bioacumuladores e potenciais riscos à saúde humana adaptados às especificidades regionais	2,67	2,33	2,42	2,47
14. Avaliação da capacidade instalada de laboratórios de qualidade da água e desenvolvimento de procedimentos de integração (inter calibração e padronização)	2,42	2,50	2,09	2,34
15. P&D de sistemas de informação de bacias hidrográficas, incluindo qualidade da água (integrados à sistemas mais abrangentes)	2,67	2,67	2,36	2,57
16. Avaliação de mudanças hídricas em aquíferos causadas pela urbanização	2,33	2,00	1,73	2,02
17. Avaliação da super-exploração de aquíferos (vazão total x recarga, recarga induzida e interferência entre captações) e fluxo de base em rios	2,50	2,25	1,91	2,22
18. Pesquisa e avaliação em recargas induzida e artificial de aquíferos	2,08	2,17	1,70	1,98
19. P&D em gestão de aquíferos, com prioridade para os de grande exploração	2,45	2,20	2,11	2,26
20. P&D em hidrogeologia de aquíferos fraturados com vistas à otimização para localização de poços/captação e para a determinação de recarga	2,50	2,45	2,18	2,38
21. Pesquisa e avaliação de comportamento de aquíferos costeiros, do Semi-árido e do Cerrado	2,42	2,36	2,00	2,26
22. Desenvolvimento de métodos de mapeamento hidrogeológico em situação de baixa densidade de dados a partir de informes pontuais para abrangência regional	2,08	2,27	1,60	1,99

23. Pesquisa e avaliação de características geoquímicas das águas subterrâneas (As, Cr, F, Fe, Mn, Ba)	2,08	2,08	1,58	1,92
24. Pesquisa e avaliação sobre comportamento de contaminantes em meios saturado e não-saturado, com desenvolvimento de metodologias para avaliação de descontaminação	2,42	2,00	1,82	2,08
25. P&D nas áreas de remediação de aquíferos e atenuação natural dos contaminantes	2,33	1,92	2,00	2,08
26. P&D em técnicas de aproveitamento de água subterrânea em áreas de risco sanitário	2,75	2,50	2,22	2,49
27. P&D em técnicas de infiltração e armazenamento para compensação dos efeitos da urbanização no escoamento superficial	2,58	2,67	2,36	2,54
28. Metodologias de avaliação de impactos de espécies invasoras e de desenvolvimento de técnicas de controle	2,58	2,33	2,10	2,34
29. Aperfeiçoamento de técnicas de saneamento ambiental em áreas especiais (rurais, indígenas e de urbanização precária)	2,67	2,36	1,73	2,25
30. P&D em reuso da água	2,67	2,58	2,58	2,61
31. P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água	2,75	2,75	2,67	2,72
32. P&D em equipamentos para uso eficiente da água em habitações, indústrias e edificações diversas	2,58	2,58	2,42	2,53
33. P&D em aproveitamento da água de chuva	2,42	2,67	1,83	2,31
34. P&D em instrumentos técnicos e indicadores para a gestão das águas	2,33	2,33	2,00	2,22
35. P&D em técnicas de valoração econômica de bens e serviços ambientais	2,25	2,33	1,75	2,11

Respondentes do questionário: 12 - Tópicos por tema: Saneamento: 12 tópicos; Qualidade da água superficial: 3 tópicos; Qualidade da água subterrânea: 20 tópicos - Total de tópicos no grupo: 35 (Escala utilizada: Baixo=1; Médio=2; Alto=3)

Grupo II: Clima e Recursos Hídricos e Produtos e Equipamentos

Tópicos	Critérios			Agregado de tópicos
	Adequação sócio-ambiental	Factibilidade técnico científica	Atratividade de mercado	
1. Ampliação das observações da camada superior do Atlântico Sul que permitam melhorar a estimativa de modelos climáticos	2,36	2,00	1,70	2,02
2. Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais	2,73	2,73	2,40	2,62
3. Integração de dados hidroclimáticos e ambientais de diferentes sistemas de aquisição em sistemas de informação georeferenciados de acesso público	2,82	2,55	2,10	2,49
4. Previsão e predição da variabilidade climática natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e seus efeitos no desenvolvimento econômico e social, incluindo potenciais medidas de mitigação	2,91	2,27	2,00	2,39
5. Avaliação dos efeitos da alteração hidrometeorológica em ambientes urbanos	2,82	2,55	2,00	2,45
6. Desenvolvimento e aprimoramento de métodos para estimar a evapotranspiração nas condições de clima tropical	2,09	2,36	1,70	2,05
7. Desenvolvimento e aprimoramento do conhecimento da inter-relação entre as variáveis ambientais e as hidrológicas, para o prognóstico de impactos antrópicos e climáticos	2,73	2,27	2,00	2,33
8. Desenvolvimento do conhecimento dos processos hidroclimáticos em diferentes escalas temporais e espaciais	2,55	2,55	1,50	2,20
9. Desenvolvimento de métodos para tratamento das séries não estacionárias visando o planejamento do desenvolvimento sócio-econômico	2,36	2,36	1,70	2,14
10. Desenvolvimento de sensores, instrumentos e sistemas para monitoramento hidrometeorológico, sedimentológico e qualidade de água para atender mercados que viabilizem a industrialização local	2,18	2,45	2,60	2,41

11. Desenvolvimento de normas para projeto de itens de infra-estrutura (ex. bóias e torres submersas) e normas para procedimentos e padrões ligados à medição (ex. transmissão de dados e procedimentos de calibração)	2,00	2,55	2,30	2,28
12. Desenvolvimento de novos sistemas e métodos de medição tais como vazão por radar e evapotranspiração	2,00	2,09	2,10	2,06
13. Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso	2,80	2,80	2,11	2,57
14. Desenvolvimento de sistemas para transmissão de dados adequados à realidade nacional	2,73	2,45	2,55	2,58
15. Desenvolvimento de sistemas de informação para melhoria da consistência e da assimilação de grandes massas de dados climáticos e hidrológicos, através do desenvolvimento de novos modelos	2,20	2,45	1,60	2,08

Respondentes do questionário: 11 participantes -Tópicos por tema: Clima e Recursos Hídricos: 9 tópicos; Produtos e Equipamentos: 6 tópicos -Total de tópicos no grupo: 15 (Escala: Baixo=1; Médio=2; Alto=3)

Grupo III – Racionalização do uso da água no meio rural

Tópicos	Critérios			Agregado de tópicos
	Adequação sócio-ambiental	Factibilidade técnico científica	Atratividade de mercado	
1. Desenvolvimento e adaptação de cultivares eficientes no uso da água, com ênfase para ambientes com deficiência hídrica	1,83	2,33	2,67	2,28
2. Desenvolvimento de sistemas de plantio direto para recuperação de pastagens degradadas com vistas à conservação dos recursos hídricos	2,50	2,33	2,50	2,44
3. Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica para o uso da água	2,50	2,50	2,67	2,56
4. Zoneamento agroecológico em escala	2,33	2,83	1,83	2,33

regional				
5. Desenvolvimento de metodologias e instrumentos para o monitoramento e avaliação de sistemas agrícolas irrigados	2,00	2,33	1,33	1,89
6. Estabelecimento das relações água e sistemas agro-silvo-pastoris, como elemento para a gestão da água	2,33	2,50	1,50	2,11
7. Previsão climática e da disponibilidade hídrica como subsídio para a avaliação de risco e seguro agrícola	2,50	2,17	2,33	2,33
8. Técnicas alternativas de manejo e conservação do solo que promovam o aumento da infiltração da água	2,50	2,67	1,83	2,33
9. Metodologias para monitoramento e avaliação dos impactos de sistemas e práticas agrícolas na quantidade e qualidade de água, em nível de bacias hidrográficas	2,33	2,17	1,50	2,00
10. Técnicas de captação e armazenamento de água "in situ", em pequenas propriedades do semi-árido	2,83	2,33	1,83	2,33
11. Desenvolvimento de técnicas alternativas de armazenamento, conservação e manejo da água para a regularização da disponibilidade hídrica	2,50	2,67	2,00	2,39
12. Tratamento e reuso de efluentes da produção agropecuária e avaliação do seu impacto na bacia hidrográfica	2,50	1,83	2,17	2,17
13. Tratamento e reuso de águas residuárias urbanas e industriais na agropecuária	2,50	1,83	2,00	2,11
14. Processos de dessalinização de águas no semi-árido nordestino, e disposição e aproveitamento de resíduos	2,17	2,00	2,00	2,06
15. Sistemas de suporte à decisão para o aumento das eficiências técnica e econômica do uso da água no meio rural	2,00	2,50	2,33	2,28
16. Instrumentos econômicos, legais e gerenciais promotores do uso eficiente da água no meio rural	2,33	2,17	2,00	2,17
17. Estabelecimento de necessidades hídricas de culturas irrigadas	2,33	2,50	2,17	2,33
18. Sistemas de caracterização, monitoramento e gestão de riscos	2,33	1,83	2,17	2,11

(hidrológicos, econômicos, ambientais e gerenciais)

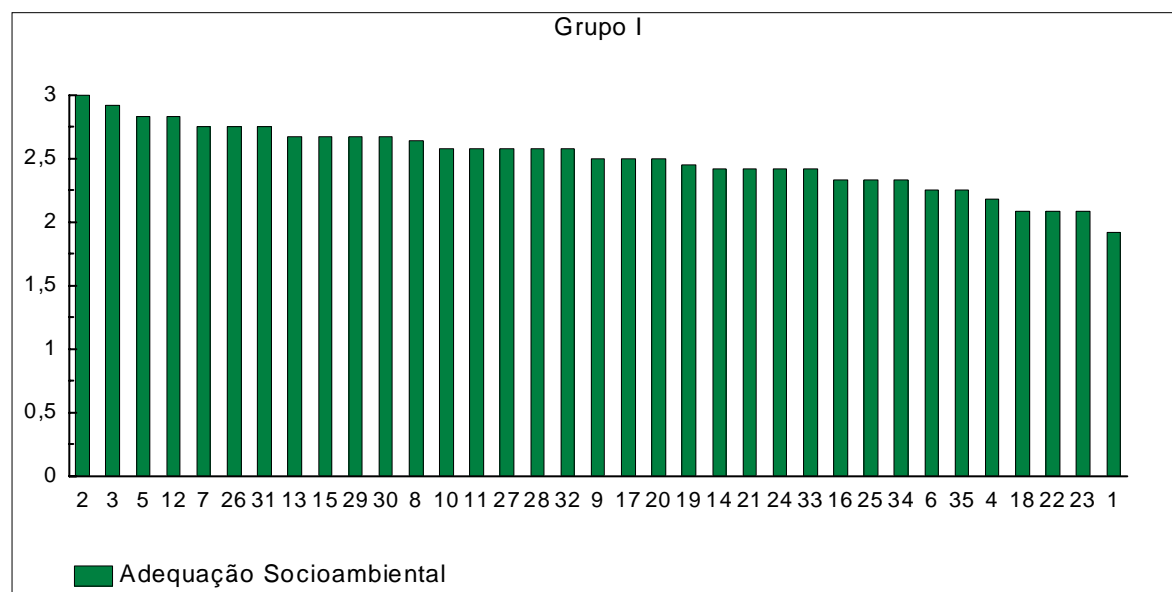
19. Alternativas de manejo da água em lavouras de arroz irrigado por inundações	2,33	2,17	2,33	2,28
---	------	------	------	------

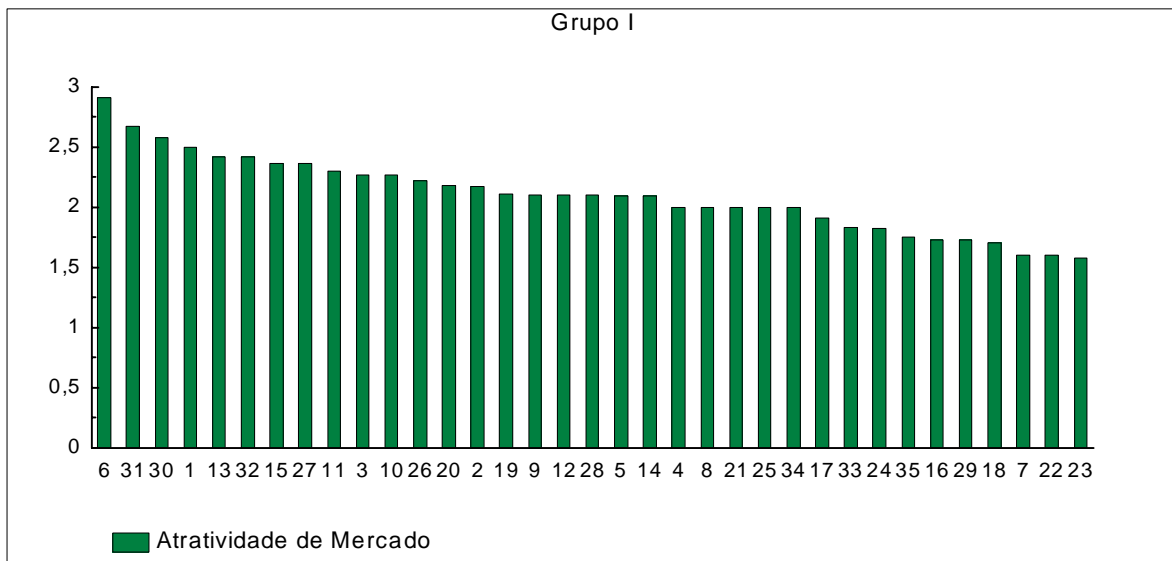
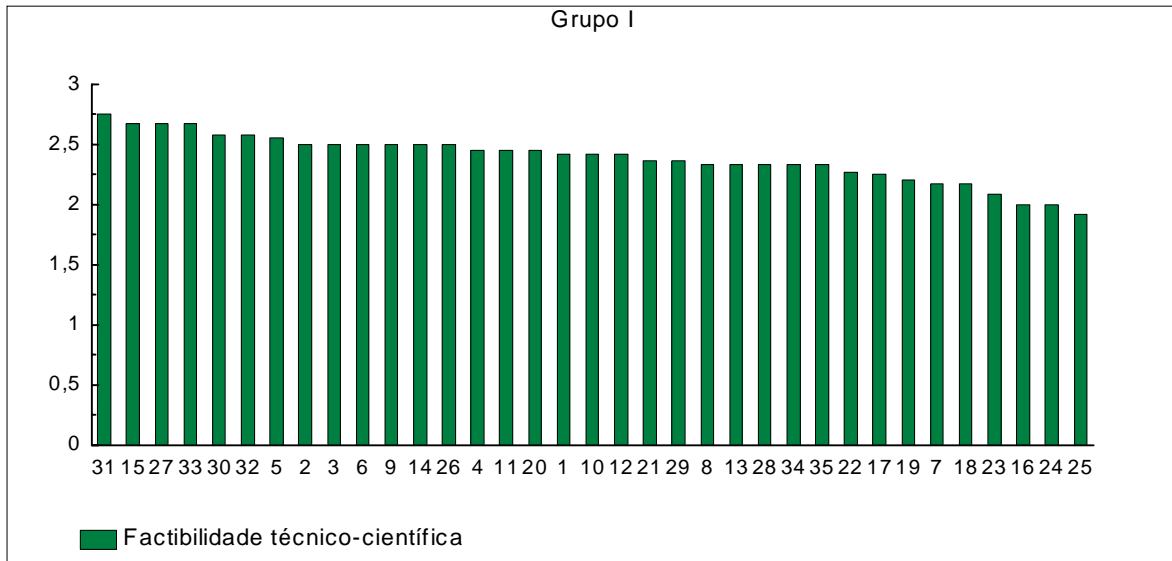
Respondentes do questionário: 6 participantes - Tópicos por classificação? : Demanda por água na atividade de irrigação: 6 tópicos; Oferta de água na irrigação: 5 tópicos; Qualidade da água na irrigação: 3 tópicos; Gestão: 5 tópicos - Total de tópicos no grupo: 19 (Escala: Baixo=1; Médio=2; Alto=3)

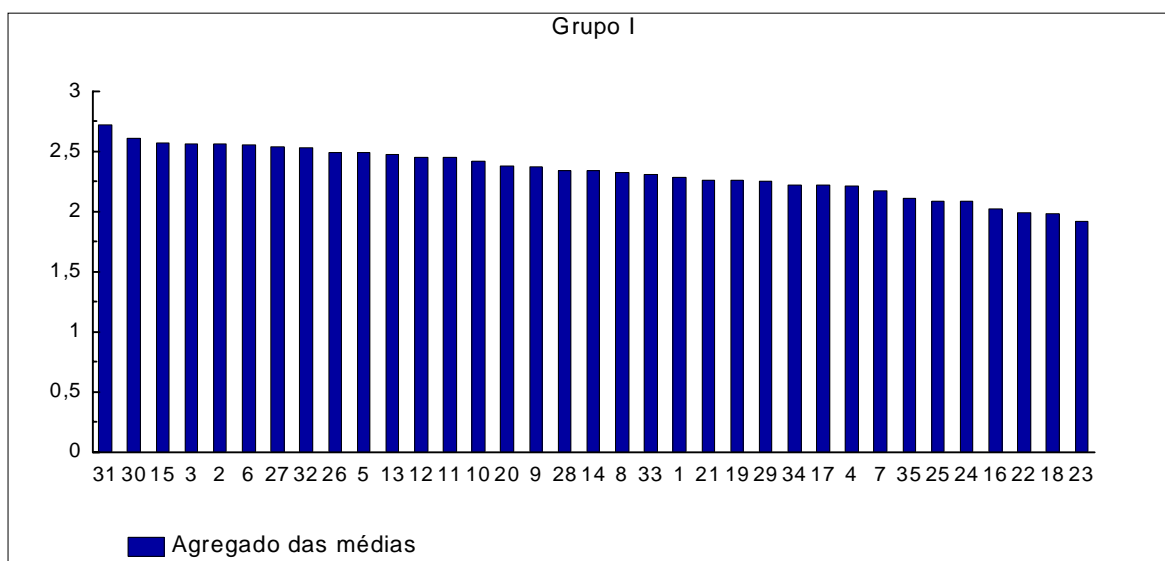
Gráficos

Os gráficos abaixo apresentam o ordenamento dos tópicos em cada critério considerado e o agregado das médias, por grupo. A correspondência entre o número indicado na linha e o título do tópico é apresentada ao final de cada grupo de tabelas.

Grupo I: Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento







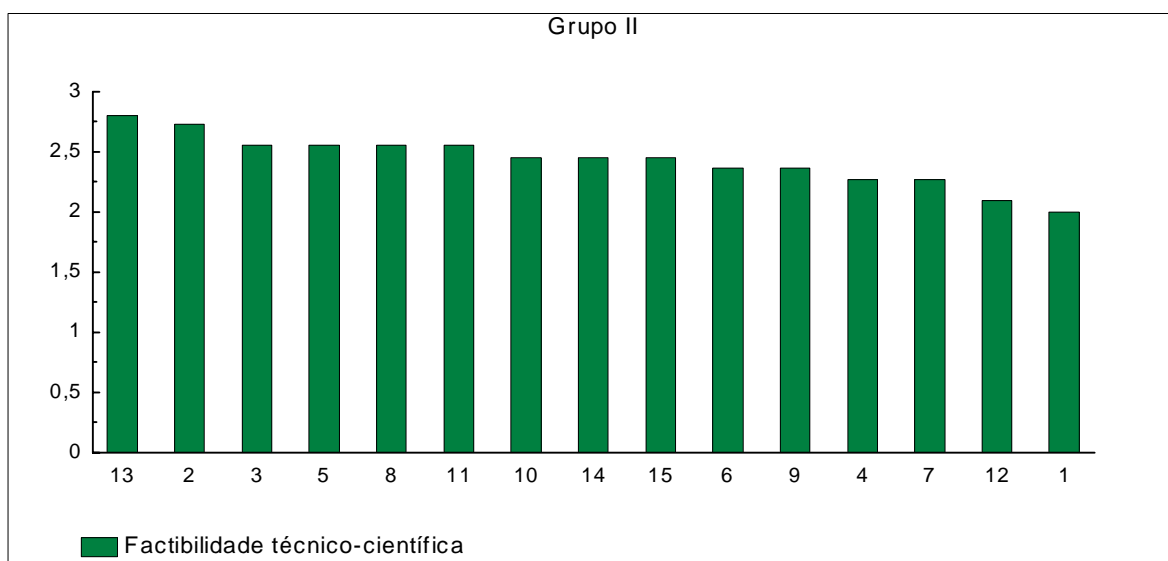
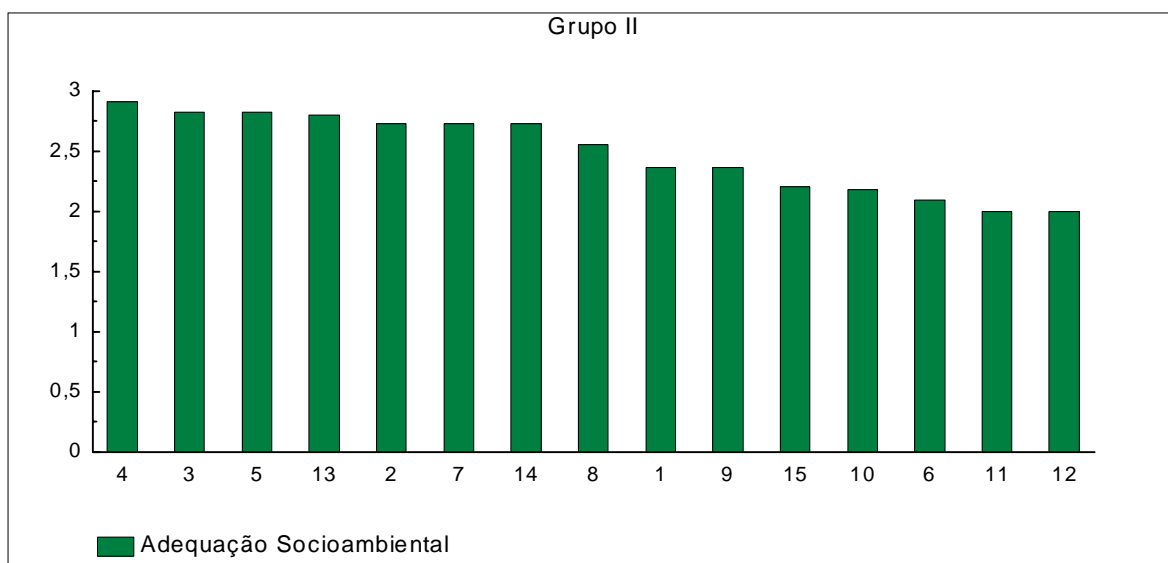
Grupo I: Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento

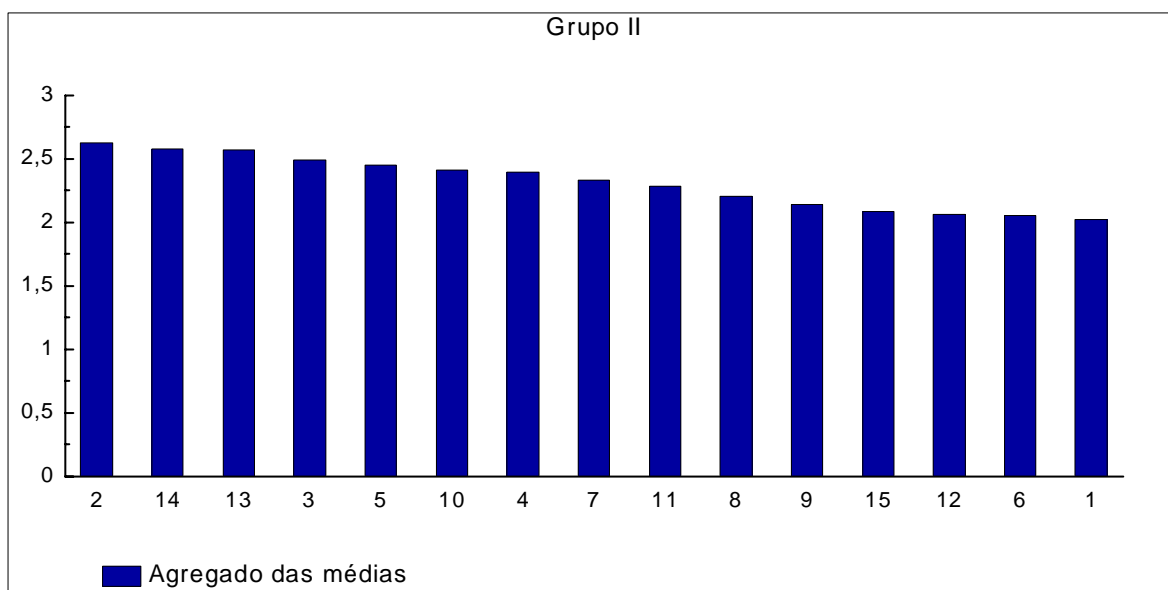
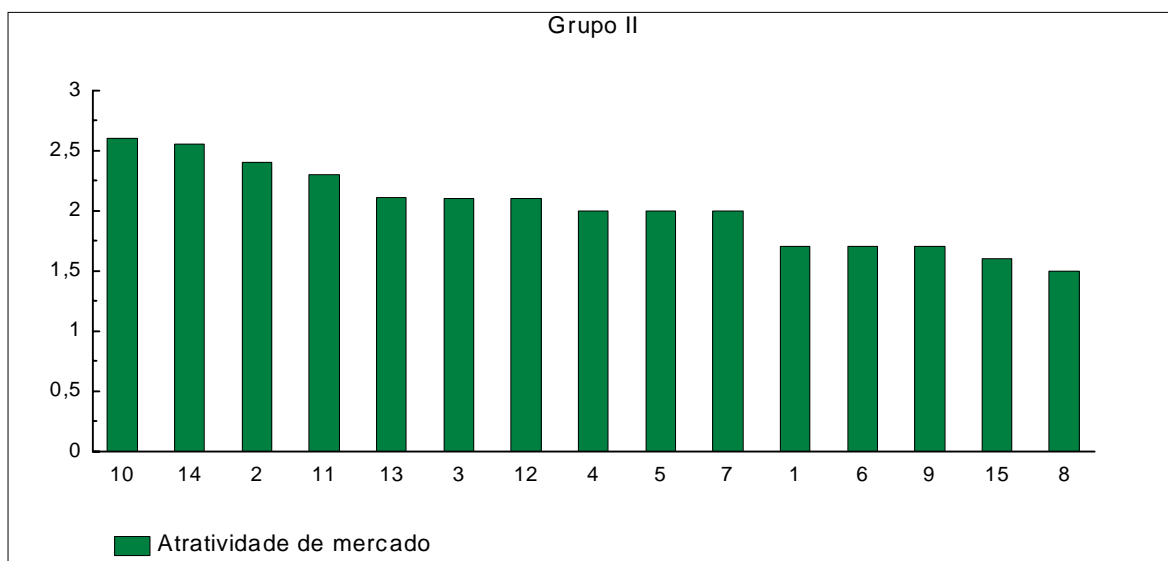
1. Pesquisa e desenvolvimento de produtos químicos para o saneamento
2. Aprimoramento de metodologias de avaliação de qualidade/quantidade de água em meios urbanos e riscos associados à saúde humana e à qualidade ambiental para fins de planejamento.
3. Pesquisa e avaliação de eutrofização e contaminação química e biológica e seu impacto na saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento.
4. Pesquisa e desenvolvimento em técnicas de tratamento de chorume
5. Desenvolvimento de arranjos institucionais e de instrumentos de planejamento urbano e sua integração com o planejamento do saneamento ambiental com controle social.
6. Desenvolvimento de materiais para sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de drenagem urbana.
7. Desenvolvimento de instrumentos técnicos e institucionais para redução de poluição urbana difusa, incluindo resíduos sólidos urbanos.
8. P&D de tecnologias inovadoras para o monitoramento hidrológico e da qualidade de água no meio urbano.
9. Desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão em saneamento ambiental, incluindo águas subterrâneas.
10. P&D em técnicas inovadoras de tratamento de esgotos sanitários em centros urbanos.
11. P&D e avaliação de efetividade do desempenho de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, incluindo a disposição dos resíduos dos processos de tratamento.

12. Desenvolvimento de instrumentos técnicos, legais e institucionais para a gestão de áreas de mananciais.
13. P&D de redes, métodos, padrões e índices para sistemas de monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, incluindo bioindicadores, bioacumuladores e potenciais riscos à saúde humana adaptados às especificidades regionais.
14. Avaliação da capacidade instalada de laboratórios de qualidade da água e desenvolvimento de procedimentos de integração (inter calibração e padronização).
15. P&D de sistemas de informação de bacias hidrográficas, incluindo qualidade da água (integrados à sistemas mais abrangentes).
16. Avaliação de mudanças hídricas em aquíferos causadas pela urbanização
17. Avaliação da superexploração de aquíferos (vazão total x recarga, recarga induzida e interferência entre captações) e fluxo de base em rios.
18. Pesquisa e avaliação em recargas induzida e artificial de aquíferos.
19. P&D em gestão de aquíferos, com prioridade para os de grande exploração
20. P&D em hidrogeologia de aquíferos fraturados com vistas à otimização para localização de poços/captação e para a determinação de recarga.
21. Pesquisa e avaliação de comportamento de aquíferos costeiros, do Semi-árido e do Cerrado.
22. Desenvolvimento de métodos de mapeamento hidrogeológico em situação de baixa densidade de dados a partir de informes pontuais para abrangência regional.
23. Pesquisa e avaliação de características geoquímicas das águas subterrâneas (As, Cr, F, Fe, Mn, Ba).
24. Pesquisa e avaliação sobre comportamento de contaminantes em meios saturado e não-saturado, com desenvolvimento de metodologias para avaliação de descontaminação.
25. P&D nas áreas de remediação de aquíferos e atenuação natural dos contaminantes.
26. P&D em técnicas de aproveitamento de água subterrânea em áreas de risco sanitário.
27. P&D em técnicas de infiltração e armazenamento para compensação dos efeitos da urbanização no escoamento superficial.
28. Metodologias de avaliação de impactos de espécies invasoras e de desenvolvimento de técnicas de controle
29. Aperfeiçoamento de técnicas de saneamento ambiental em áreas especiais (rurais, indígenas e de urbanização precária).
30. P&D em reuso da água.

31. P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.
32. P&D em equipamentos para uso eficiente da água em habitações, indústrias e edificações diversas.
33. P&D em aproveitamento da água de chuva.
34. P&D em instrumentos técnicos e indicadores para a gestão das águas.
35. P&D em técnicas de valoração econômica de bens e serviços ambientais.

Grupo II: Clima e Recursos Hídricos e Produtos e Equipamentos



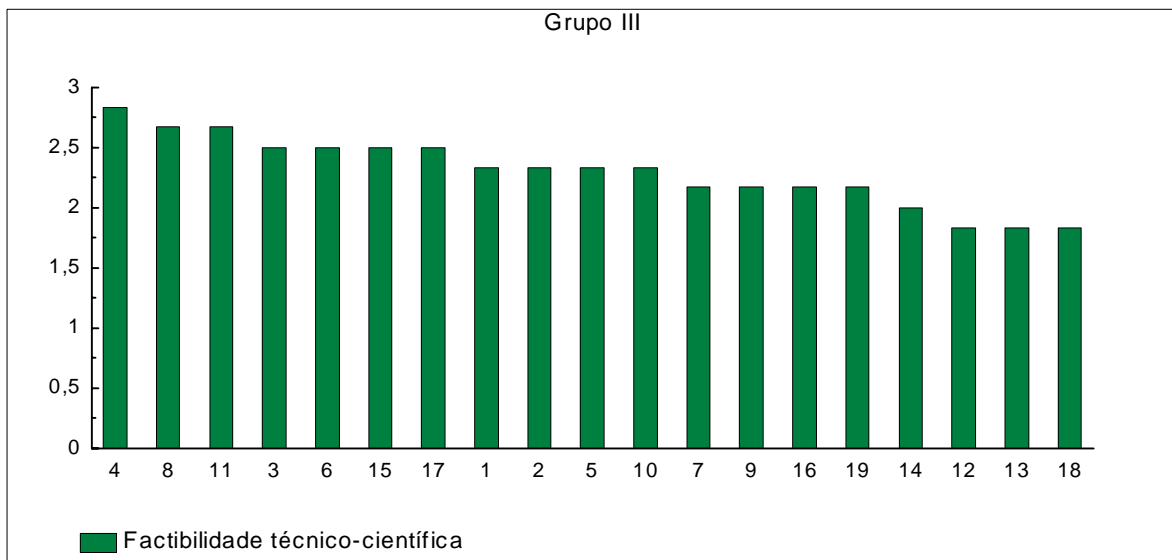
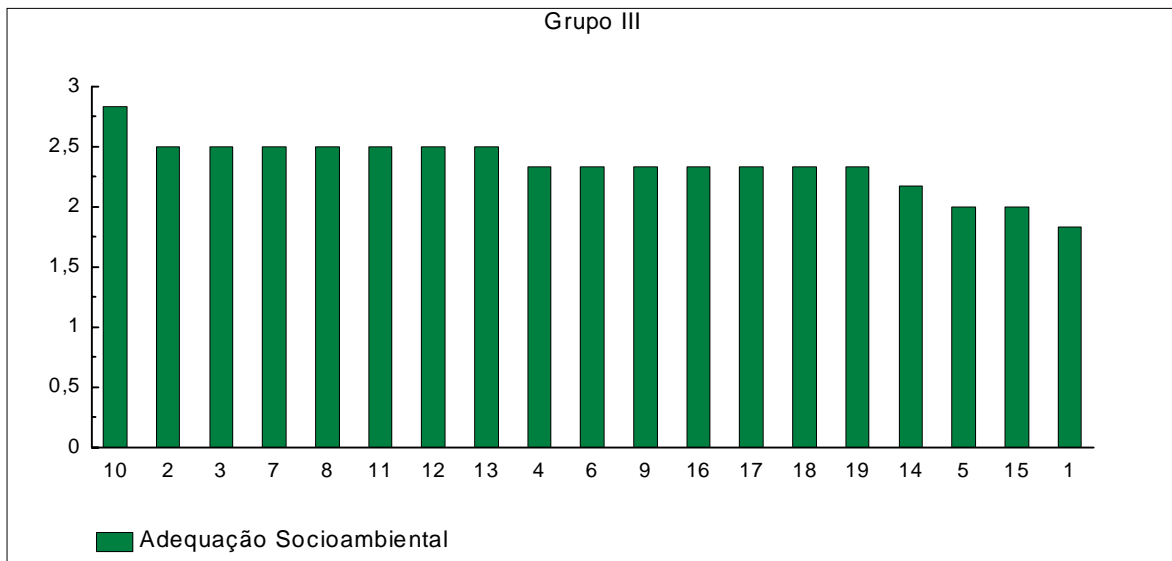


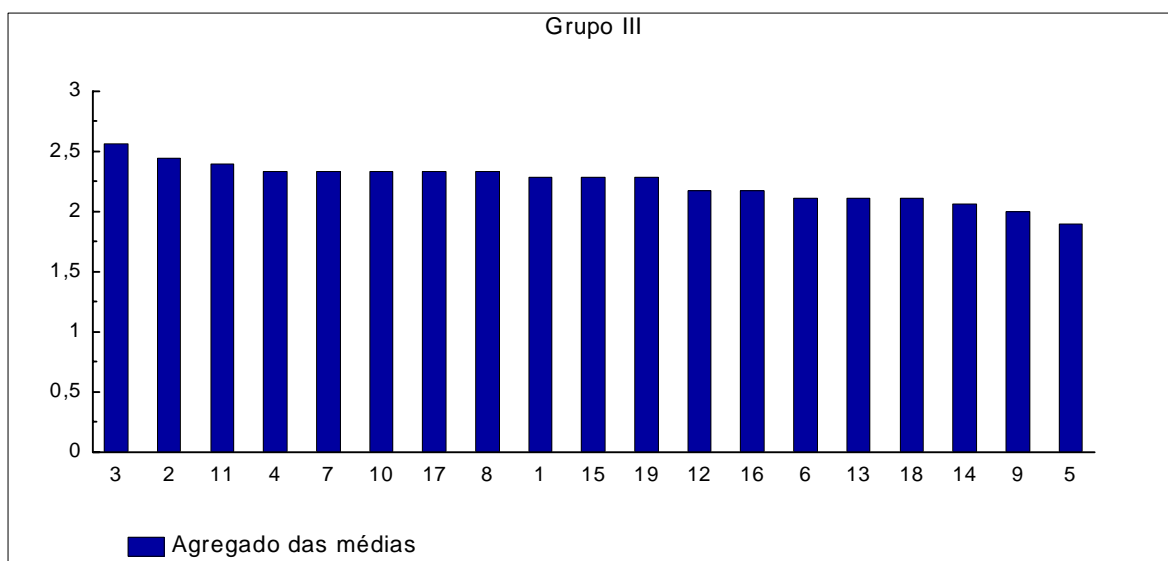
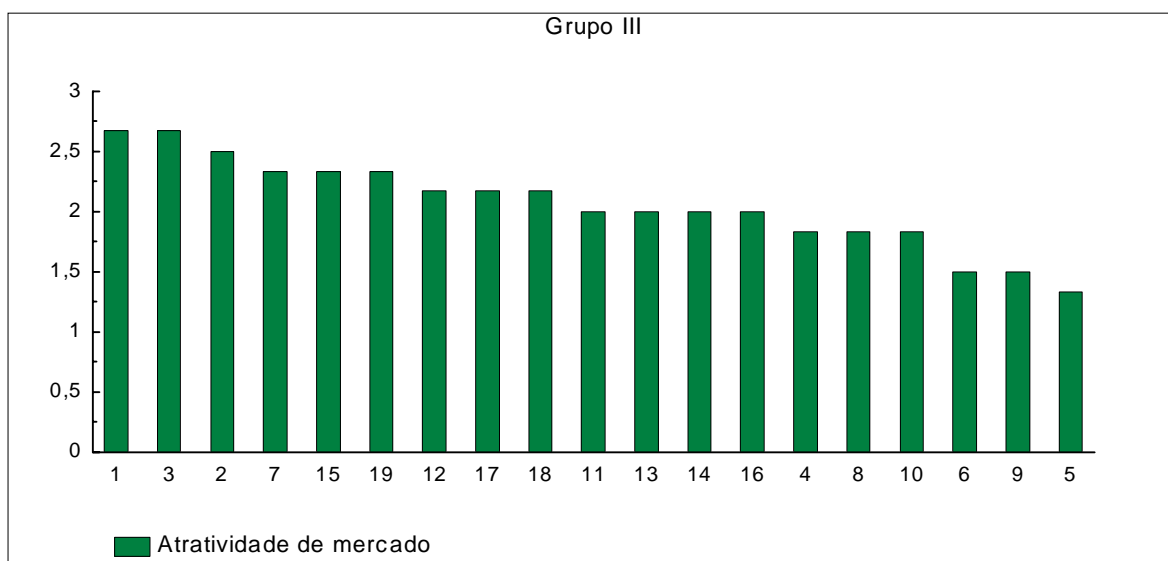
Grupo II: Clima e Recursos Hídricos e Produtos e Equipamentos

1. Ampliação das observações da camada superior do Atlântico Sul que permitam melhorar a estimativa de modelos climáticos.
2. Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais.

3. Integração de dados hidroclimáticos e ambientais de diferentes sistemas de aquisição em sistemas de informação georeferenciados de acesso público.
4. Previsão e predição da variabilidade climática natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e seus efeitos no desenvolvimento econômico e social, incluindo potenciais medidas de mitigação.
5. Avaliação dos efeitos da alteração hidrometeorológica em ambientes urbanos
6. Desenvolvimento e aprimoramento de métodos para estimar a evapotranspiração nas condições de clima tropical.
7. Desenvolvimento e aprimoramento do conhecimento da inter-relação entre as variáveis ambientais e as hidrológicas, para o prognóstico de impactos antrópicos e climáticos.
8. Desenvolvimento do conhecimento dos processos hidroclimáticos em diferentes escalas temporais e espaciais.
9. Desenvolvimento de métodos para tratamento das séries não estacionárias visando o planejamento do desenvolvimento sócio-econômico.
10. Desenvolvimento de sensores, instrumentos e sistemas para monitoramento hidrometeorológico, sedimentológico e qualidade de água para atender mercados que viabilizem a industrialização local.
11. Desenvolvimento de normas para projeto de itens de infra-estrutura (ex. bóias e torres submersas) e normas para procedimentos e padrões ligados à medição (ex. transmissão de dados e procedimentos de calibração).
12. Desenvolvimento de novos sistemas e métodos de medição tais como vazão por radar e evapotranspiração.
13. Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso
14. Desenvolvimento de sistemas para transmissão de dados adequados à realidade nacional.
15. Desenvolvimento de sistemas de informação para melhoria da consistência e da assimilação de grandes massas de dados climáticos e hidrológicos através do desenvolvimento de novos modelos.

Grupo III: Racionalização da água no meio rural





Grupo III: Racionalização da água no meio rural

1. Desenvolvimento e adaptação de cultivares eficientes no uso da água, com ênfase para ambientes com deficiência hídrica.
2. Desenvolvimento de sistemas de plantio direto para recuperação de pastagens degradadas com vistas à conservação dos recursos hídricos.

3. Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica para o uso da água.
4. Zoneamento agroecológico em escala regional.
5. Desenvolvimento de metodologias e instrumentos para o monitoramento e avaliação de sistemas agrícolas irrigados.
6. Estabelecimento das relações água e sistemas agro-silvo-pastoris, como elemento para a gestão da água.
7. Previsão climática e da disponibilidade hídrica como subsídio para a avaliação de risco e seguro agrícola.
8. Técnicas alternativas de manejo e conservação do solo que promovam o aumento da infiltração da água.
9. Metodologias para monitoramento e avaliação dos impactos de sistemas e práticas agrícolas na quantidade e qualidade de água, em nível de bacias hidrográficas.
10. Técnicas de captação e armazenamento de água “in situ”, em pequenas propriedades do semi-árido.
11. Desenvolvimento de técnicas alternativas de armazenamento, conservação e manejo da água para a regularização da disponibilidade hídrica
12. Tratamento e reuso de efluentes da produção agropecuária e avaliação do seu impacto na bacia hidrográfica.
13. Tratamento e reuso de águas residuárias urbanas e industriais na agropecuária
14. Processos de dessalinização de águas no semi-árido nordestino e disposição e aproveitamento de resíduos.
15. Sistemas de suporte à decisão para o aumento das eficiências técnica e econômica do uso da água no meio rural.
16. Instrumentos econômicos, legais e gerenciais promotores do uso eficiente da água no meio rural.
17. Estabelecimento de necessidades hídricas de culturas irrigadas
18. Sistemas de caracterização, monitoramento e gestão de riscos (hidrológicos, econômicos, ambientais e gerenciais).
19. Alternativas de manejo da água em lavouras de arroz irrigado.

Anexo B – Tabelas de Classes

Classe A: tópicos que requerem investigação científica básica

Classe B: tópicos que indicam necessidade de desenvolvimento tecnológico

Classe C: tópicos relacionados a gestão

Tópicos da Classe “A”

Nº. do tópico*	Descrição
Grupo I – Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento	
02	Aprimoramento de metodologias de avaliação de qualidade/quantidade de água em meios urbanos e riscos associados à saúde humana e à qualidade ambiental para fins de planejamento
03	Pesquisa e avaliação de eutrofização e contaminação química e biológica e seu impacto na saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento
15	P&D de sistemas de informação de bacias hidrográficas, incluindo qualidade da água (integrados à sistemas mais abrangentes)
17	Avaliação da super-exploração de aquíferos (vazão total x recarga, recarga induzida e interferência entre captações) e fluxo de base em rios
23	Pesquisa e avaliação de características geoquímicas das águas subterrâneas (As, Cr, F, Fe, Mn, Ba)
Grupo II – Clima e recursos hídricos, produtos e equipamentos	
36	Ampliação das observações da camada superior do Atlântico Sul que permitam melhorar a estimativa de modelos climáticos
37	Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e

temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais

- 38 Integração de dados hidroclimáticos e ambientais de diferentes sistemas de aquisição em sistemas de informação georeferenciados de acesso público
- 40 Avaliação dos efeitos da alteração hidrometeorológica em ambientes urbanos
- 42 Desenvolvimento e aprimoramento do conhecimento da inter-relação entre as variáveis ambientais e as hidrológicas, para o prognóstico de impactos antrópicos e climáticos
- 43 Desenvolvimento do conhecimento dos processos hidroclimáticos em diferentes escalas temporais e espaciais
- 44 Desenvolvimento de métodos para tratamento das séries não estacionárias visando o planejamento do desenvolvimento sócio-econômico

* ver item 7.3 do presente Relatório.

Tópicos da Classe “B”

Nº. do tópico*	Descrição
Grupo I – Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento	
01	Pesquisa e desenvolvimento de produtos químicos para o saneamento
04	Pesquisa e desenvolvimento em técnicas de tratamento de chorume
06	Desenvolvimento de materiais para sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de drenagem urbana
08	P&D de tecnologias inovadoras para o monitoramento hidrológico e da qualidade de água no meio urbano
09	Desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão em saneamento ambiental, incluindo águas subterrâneas

-
- 10 P&D em técnicas inovadoras de tratamento de esgotos sanitários em centros urbanos
 - 11 P&D e avaliação de efetividade do desempenho de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, incluindo a disposição dos resíduos dos processos de tratamento
 - 13 P&D de redes, métodos, padrões e índices para sistemas de monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, incluindo bioindicadores, bioacumuladores e potenciais riscos à saúde humana adaptados às especificidades regionais
 - 16 Avaliação de mudanças hídricas em aquíferos, causadas pela urbanização
 - 18 Pesquisa e avaliação em recargas induzida e artificial de aquíferos
 - 19 P&D em gestão de aquíferos, com prioridade para os de grande exploração
 - 20 P&D em hidrogeologia de aquíferos fraturados com vistas à otimização para localização de poços/captação e para a determinação de recarga
 - 21 Pesquisa e avaliação de comportamento de aquíferos costeiros, do Semi-árido e do Cerrado
 - 22 Desenvolvimento de métodos de mapeamento hidrogeológico em situação de baixa densidade de dados a partir de informes pontuais para abrangência regional
 - 24 Pesquisa e avaliação sobre comportamento de contaminantes em meios saturado e não-saturado, com desenvolvimento de metodologias para avaliação de descontaminação
 - 25 P&D nas áreas de remediação de aquíferos e atenuação natural dos contaminantes
 - 26 P&D em técnicas de aproveitamento de água subterrânea em áreas de risco sanitário

- 27 P&D em técnicas de infiltração e armazenamento para compensação dos efeitos da urbanização no escoamento superficial
- 28 Metodologias de avaliação de impactos de espécies invasoras e de desenvolvimento de técnicas de controle
- 29 Aperfeiçoamento de técnicas de saneamento ambiental em áreas especiais (rurais, indígenas e de urbanização precária)
- 30 P&D em reuso da água
- 31 P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água
- 32 P&D em equipamentos para uso eficiente da água em habitações, indústrias e edificações diversas
- 33 P&D em aproveitamento da água de chuva

Grupo II – Clima e recursos hídricos, produtos e equipamentos

- 39 Previsão e predição da variabilidade climática natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e seus efeitos no desenvolvimento econômico e social, incluindo potenciais medidas de mitigação
- 41 Desenvolvimento e aprimoramento de métodos para estimar a evapotranspiração nas condições de clima tropical
- 45 Desenvolvimento de sensores, instrumentos e sistemas para monitoramento hidrometeorológico, sedimentológico e qualidade de água para atender mercados que viabilizem a industrialização local
- 47 Desenvolvimento de novos sistemas e métodos de medição tais como vazão por radar e evapotranspiração
- 48 Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso
- 49 Desenvolvimento de sistemas para transmissão de dados adequados à realidade

nacional

- 50 Desenvolvimento de sistemas de informação para melhoria da consistência e da assimilação de grandes massas de dados climáticos e hidrológicos através do desenvolvimento de novos modelos

Grupo III – Racionalização do uso da água no meio rural

- 51 Desenvolvimento e adaptação de cultivares eficientes no uso da água, com ênfase para ambientes com deficiência hídrica
- 52 Desenvolvimento de sistemas de plantio direto para recuperação de pastagens degradadas com vistas à conservação dos recursos hídricos
- 53 Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica para o uso da água
- 57 Previsão climática e da disponibilidade hídrica como subsídio para a avaliação de risco e seguro agrícola
- 58 Técnicas alternativas de manejo e conservação do solo que promovam o aumento da infiltração da água
- 60 Técnicas de captação e armazenamento de água “in situ”, em pequenas propriedades do semi-árido
- 61 Desenvolvimento de técnicas alternativas de armazenamento, conservação e manejo da água para a regularização da disponibilidade hídrica
- 62 Tratamento e reuso de efluentes da produção agropecuária e avaliação do seu impacto na bacia hidrográfica
- 63 Tratamento e reuso de águas residuárias urbanas e industriais na agropecuária
- 64 Processos de dessalinização de águas no semi-árido nordestino, e disposição e aproveitamento de resíduos

68 Sistemas de caracterização, monitoramento e gestão de riscos (hidrológicos, econômicos, ambientais e gerenciais)

69 Alternativas de manejo da água em lavouras de arroz irrigado por inundações

* ver item 7.3 do presente Relatório.


Tópicos da Classe “C”

Nº. do tópico*	Descrição
Grupo I – Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento	
05	Desenvolvimento de arranjos institucionais e de instrumentos de planejamento urbano e sua integração com o planejamento do saneamento ambiental com controle social
07	Desenvolvimento de instrumentos técnicos e institucionais para redução de poluição urbana difusa, incluindo resíduos sólidos urbanos
12	Desenvolvimento de instrumentos técnicos, legais e institucionais para a gestão de áreas de mananciais
14	Avaliação da capacidade instalada de laboratórios de qualidade da água e desenvolvimento de procedimentos de integração (inter calibração e padronização)
34	P&D em instrumentos técnicos e indicadores para a gestão das águas
35	P&D em técnicas de valoração econômica de bens e serviços ambientais
Grupo II – Clima e recursos hídricos, produtos e equipamentos	
46	Desenvolvimento de normas para projeto de itens de infra-estrutura (ex. bóias e torres submersas) e normas para procedimentos e padrões ligados à medição (ex. transmissão de dados e procedimentos de calibração)

Grupo III – Racionalização do uso da água no meio rural

- 54 Zoneamento agroecológico em escala regional
- 55 Desenvolvimento de metodologias e instrumentos para o monitoramento e avaliação de sistemas agrícolas irrigados
- 56 Estabelecimento das relações água e sistemas agro-silvo-pastoris, como elementos para a gestão da água
- 59 Metodologias para monitoramento e avaliação dos impactos de sistemas e práticas agrícolas na quantidade e qualidade de água, em nível de bacias hidrográficas
- 65 Sistemas de suporte à decisão para o aumento das eficiências técnica e econômica do uso da água no meio rural
- 66 Instrumentos econômicos, legais e gerenciais promotores do uso eficiente da água no meio rural
- 67 Estabelecimento de necessidades hídricas de culturas irrigadas

* ver item 7.3 do presente Relatório.



Prospecção Tecnológica
Recursos Hídricos

Qualidade da Água Superficial

Documento Final

Mônica Ferreira do Amaral Porto
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E A QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL.....	3
2. OBJETIVOS	5
3. UM PANORAMA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL.....	6
4. ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS RELATIVOS À GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL	12
5. A PROBLEMÁTICA DA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL	19
6. SITUAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO EM QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL	24
7. A COLABORAÇÃO DO SETOR DE PESQUISA PARA A CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	32
7.1 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA	32
7.2 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES EM QUALIDADE DA ÁGUA.....	35
7.3 BASES PARA O CONHECIMENTO DOS SISTEMAS AQUÁTICOS E DOS IMPACTOS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO OU AÇÕES ANTRÓPICAS.....	37
7.4 INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA COM OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	38
7.5 PROGRAMAS DE CAPACITAÇÃO	41
8. SUGESTÃO DE MECANISMOS E FOCOS DE PESQUISA.....	41
9. CONCLUSÃO.....	43
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E A QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL

A evolução ocorrida no setor de recursos hídricos no Brasil nas últimas duas décadas é marcante e leva o país a uma posição de merecido destaque no cenário internacional quanto à questão de gestão das águas.

Teve início na década de 80 a discussão sobre a melhor forma de gerir os recursos hídricos do país, e o seu ponto alto foi a conquista da aprovação da Política e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos quando da promulgação da Lei Federal 9.433 em 8 de janeiro de 1997.

A questão da necessidade de se estabelecer um processo de gestão de recursos hídricos tem origem na importância desse recurso natural que é a água. A água, além da sua importância para a sobrevivência humana, é um recurso de alta importância econômica, fundamental para a produção agrícola e industrial. É escasso para os muitos usos que são necessários e, portanto, freqüente fonte de conflitos. A questão da alocação, ou repartição, da água entre seus diversos usos é hoje um tema de caráter amplo, abrangendo aspectos técnicos e políticos (Porto, 2002).

A Lei 9.433 estabelece, em seus fundamentos, a ênfase a ser dada para o reconhecimento de que a água é um recurso natural com fins múltiplos, e o processo de gestão deve dar sustentabilidade para que se alcance tal fim. Dentre os objetivos que devem nortear a consecução da Política Nacional de Recursos Hídricos está aquele de *assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em **padrões de qualidade** adequados aos respectivos usos* (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei 9.433).

É também parte das diretrizes de ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos a *gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e **qualidade** e a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental* (Art. 3º, Cap. III, Tit. I, Lei 9.433).

A integração da gestão entre os aspectos de qualidade e quantidade está na indicação do *enquadramento dos corpos de água segundo seus usos*

preponderantes (Art. 5º, Cap. IV, Tit. I, Lei 9.433) como um dos seis instrumentos de gestão de recursos hídricos a serem adotados no país. Este é um instrumento de gestão que visa *assegurar à água **qualidade** compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas mediante ações preventivas permanentes* (Art. 9º, Seç. II, Cap IV, Tit I, Lei 9.433).

Isto posto, ficam demonstrados alguns dos mais importantes marcos alcançados pela legislação brasileira:

- a. a correta visão integrada da gestão da quantidade e da qualidade da água dos sistemas hídricos;
- b. o reconhecimento do binômio uso x qualidade da água;
- c. a necessidade da integração da legislação ambiental que trata do recurso natural água com a legislação do setor de recursos hídricos.

Há que se destacar, no entanto, que a gestão da qualidade da água não tem merecido o mesmo destaque dado à gestão da quantidade de água, quer seja no aspecto legal, ou nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, quer no planejamento, como na operacionalização dos sistemas de gestão. São diversas as razões que explicam este problema: a falta de um sistema de informações amplo na área de qualidade da água, o desconhecimento de muitos dos processos que governam os ecossistemas e habitats aquáticos nas diferentes regiões do país e também a necessidade de se encontrarem modelos de gestão mais apropriados para nossa realidade institucional e econômica.

Dadas as excelentes oportunidades que têm surgido no Brasil para que se avance no sistema de gestão de recursos hídricos, é hora de investir em pesquisa e desenvolvimento para a melhoria do sistema de gestão de qualidade da água, de modo que este acompanhe a evolução que a gestão da quantidade de água vem tendo com sucesso.

A necessidade premente de aumento do conhecimento sobre os sistemas e de mudanças e atualização dos processos de gestão da qualidade da água decorre do fato do país estar enfrentando enormes problemas de poluição de seus cursos d' água superficiais, o que diminui a disponibilidade hídrica, prejudica a saúde

humana e compromete a sustentabilidade do ambiente aquático. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, no seu Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto ~ 2000, os níveis de atendimento com coleta e tratamento de esgotos no país continuam baixos, 55% e 26% respectivamente, apesar deste último ter crescido 34% entre 1996 e 2000, indicando que investimentos vêm sendo feitos pelo setor na área de tratamento de esgotos (Sedu/PR e Ipea, 2001). O Brasil necessitará, até 2010, de R\$ 30 bilhões de reais para ampliar a coleta e o tratamento de esgotos sanitários. Se os R\$ 7,6 bilhões necessários para os sistemas de abastecimento de água forem adicionados, isto representará, até 2010, um investimento anual da ordem de 0,37% do PIB, marca somente alcançada na década de 70 (Pena e Abicalil, 1999). Estudos do Banco Mundial indicam que cada unidade adicional de água que tenha de ser produzida para abastecer grandes regiões metropolitanas de países em desenvolvimento custará mais do que o dobro ou o triplo das atuais em operação (Briscoe, 1993).

São expressivos também os déficits de tratamento de efluentes industriais, os problemas gerados pelas cargas difusas de poluição rurais e urbanas, os resíduos provenientes das áreas de mineração, e tantos outros impactos que afetam negativamente a qualidade das águas e os habitats aquáticos.

Não há recursos financeiros para que o problema seja resolvido num curto espaço de tempo. A correta abordagem do problema, de modo que as ações, tomadas de forma otimizada, possam, paulatinamente, mostrar resultados concretos, somente será possível com a adoção de uma postura integrada e coerente, dada por um sistema de decisão bem embasado, técnica e cientificamente, e, acompanhado de um processo de gestão completo e operante.

2. OBJETIVOS

O esforço de dotar o país de um sistema de decisão na área de qualidade da água, que seja operante e eficiente, depende do nosso conhecimento sobre o estado dos sistemas hídricos, sobre as formas viáveis de controle da poluição,

sobre a relação entre impactos causados pela poluição e os usos prejudicados e sobre alternativas de ação que possam ser utilizadas.

Este documento visa mostrar um panorama geral sobre os problemas de qualidade da água no Brasil e apontar possíveis áreas em que haja a necessidade premente de desenvolvimento tecnológico e investimentos em pesquisa.

Pode-se dizer que hoje um dos maiores déficits do país na área de qualidade da água está na aquisição e utilização da informação. Faltam no país redes de monitoramento de qualidade da água, a infra-estrutura laboratorial é insuficiente e há dificuldades na análise e divulgação destas informações.

É inegável que também há forte déficit de capacitação no setor. São poucos os grupos de pesquisa no país que trabalham na área de qualidade da água dos corpos hídricos, certamente em menor número do que a nossa extensa rede hídrica demandaria.

Há necessidade premente de serem desenvolvidos e melhorados os instrumentos de gestão que podem ser aplicados no controle da poluição e para a melhoria de qualidade da água. Instrumentos como enquadramento dos corpos hídricos, licenciamento ambiental, outorga de lançamento de efluentes e a cobrança pelo uso da água são essenciais para que se alcancem os objetivos de sustentabilidade do uso das bacias hidrográficas.

3. UM PANORAMA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL

A poluição dos corpos hídricos é decorrente da atividade humana, no seu ambiente doméstico e nos diversos processos de produção industrial e agrícola. Já faz muito tempo que a humanidade convive com esse problema. Nas últimas décadas, principalmente durante a elaboração e discussão da Agenda 21 (UN, 1992), ficou claro que boa parte da sustentabilidade dos sistemas hídricos, hoje utilizados pelo homem, depende do controle adequado dos processos de poluição.

Os países industrializados foram os primeiros a sofrer com a poluição das águas, pois o desenvolvimento econômico logo gerou um uso mais intensivo dos recursos com a rápida expansão nas taxas de urbanização. No entanto, foram também os primeiros a investir na solução dos problemas, inclusive por disporem de mais recursos para investimentos. Hoje, os países em desenvolvimento já apresentam esses mesmos problemas de uso intensivo e expansão da urbanização, mas, infelizmente, não dispõem de recursos financeiros no montante adequado para o controle da situação.

Isto cria um momento interessante, na medida em que os países desenvolvidos já resolveram seus problemas básicos de poluição e estão agora num estágio que pode ser chamado da “segunda” geração dos instrumentos de controle da poluição. Percebe-se naqueles países a preocupação com o aperfeiçoamento dos processos de tratamento de esgotos domésticos, a modernização e adequação das redes antigas de coleta de efluentes, o melhor controle de substâncias tóxicas e, principalmente, a evolução dos sistemas de monitoramento e informação. Da sua experiência podem ser retiradas valiosas lições (Porto, 2002). É claro que a forma de abordagem para a solução dos problemas relativos à água tem profundas raízes de ordem cultural, política e econômica, mas há uma característica sempre comum que é o desejo de que os diversos usos da água possam ser sustentados.

O Brasil, assim como a grande maioria dos países com situação econômica semelhante tem por resolver os problemas de poluição ditos de “primeira” geração, uma vez que ainda está longe de resolver problemas básicos como universalização dos serviços de saneamento básico e de tratamento de esgotos domésticos.

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2002 (IBGE, 2003) indica que a coleta de esgotos é o serviço de menor cobertura de atendimento dentre todos os demais serviços pesquisados. O serviço de coleta de esgotos atende a 68% dos domicílios brasileiros. Melhorou desde 1992, quando era de 57%, mas ainda é um índice preocupante.

O Brasil tem um índice de atendimento de coleta de esgotos pior que muitos dos seus vizinhos sul-americanos. O Brasil, com 76% da população atendida por

sistemas de disposição final de esgotos, está atrás de países como a Colômbia, com 86%, Equador, com 86%, Chile, com 96%, e Uruguai, com 94%. Esta cobertura é inferior à média dos países de mesma renda, que é de 79% (World Bank, 2003). Em igual situação encontram-se as taxas de mortalidade infantil. O Brasil apresenta uma taxa de 36 mortes por 1000 nascidos vivos, enquanto que a média da América Latina e Caribe é de 34 mortes e a média dos países de renda semelhante é de 27 mortes por 1000 nascidos vivos. Certamente as más condições sanitárias são parte do problema.

Com relação ao tratamento de esgotos, os índices são também baixos. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000 (IBGE, 2001), apenas 34% dos distritos brasileiros contam com algum tipo de tratamento de esgotos.

Os corpos hídricos sofrem o impacto da ocupação urbana desde há muito tempo. No Brasil, o problema da poluição que afeta os corpos hídricos remonta ao século XIX e o início das grandes conurbações no país. São do início do século XX os projetos de Saturnino de Brito para as cidades de Santos, Recife, Vitória, entre outras. Em 1926, Saturnino de Brito apresentou à Prefeitura do Município de São Paulo um extenso relatório sobre as condições do Rio Tietê (Branco, 1983). Também em 1926 inicia-se a cloração das águas de abastecimento em São Paulo (Branco, 1999). A Região Metropolitana de São Paulo já passou por inúmeros planos de despoluição e somente a partir da década passada é que se iniciou o Projeto de Despoluição do Tietê, financiado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento, com expectativa de custar ao redor de US\$ 4 bilhões e demorar 25 anos para ser implantado.

Praticamente todas as grandes áreas urbanizadas do país encontram-se em situação alarmante com relação à qualidade dos corpos hídricos. O Quadro 1 mostra a situação dos corpos hídricos na região de Belo Horizonte (<http://www.feam.br>, 2003).

O Quadro 2 mostra a situação grave de poluição em que se encontram os corpos hídricos da Região Metropolitana de São Paulo (<http://www.cetesb.sp.gov.br>, 2003).

Estes dois exemplos são representativos da situação de qualidade da água em grande parte das áreas urbanas brasileiras. Infelizmente, existe pouca informação

disponível sobre qualidade da água no país para que se mostre a comprovação de tal situação. Esta baixa disponibilidade de informação será, mais adiante, apontada como um dos graves problemas que o país terá de enfrentar em breve.

As áreas rurais ou de baixa ocupação humana no país podem também estar sofrendo com outras formas de impacto sobre seus recursos hídricos. Certamente um sistema de monitoramento mais detalhado irá encontrar problemas derivados do uso de agrotóxicos, como a presença de poluentes orgânicos persistentes e metais, ou problemas decorrentes de outras atividades antrópicas como a mineração e a remoção da cobertura vegetal.

O problema principal é que existe pouca disponibilidade de informação até mesmo para que se faça um diagnóstico mais completo da situação de qualidade da água no país.

BV155 - Ribeirão Arrudas próximo de sua foz no Rio das Velhas

Enquadramento: Classe 3

Resultados de 2000

Índice de Qualidade de Água: Ruim

Contaminação por Tóxicos: Alta

Ocorrência acima dos Limites de Classe: Coliformes fecais, DBO, Fosfato total, Manganês, Níquel, Nitrogênio amoniacal, OD, Surfactantes aniônicos, Turbidez

BV083 –Rio das Velhas logo a jusante do Ribeirão Arrudas

Enquadramento: Classe 3

Resultados de 2000

Índice de Qualidade de Água: Ruim

Contaminação por Tóxicos: Alta

Ocorrência acima dos Limites de Classe: Coliformes fecais, DBO, Fosfato total, Manganês, Níquel, Nitrogênio amoniacal, Turbidez

BV154 - Ribeirão do Onça próximo de sua foz no Rio das Velhas

Enquadramento: Classe 3

Resultados de 2000

Índice de Qualidade de Água: Ruim

Contaminação por Tóxicos: Alta

Ocorrência acima dos Limites de Classe: Coliformes fecais, DBO, Fosfato total, Nitrogênio

amoniacal, OD, Surfactantes aniônicos, Turbidez

BV105 – Rio das Velhas logo a jusante do Ribeirão do Onça

Enquadramento: Classe 3

Resultados de 2000

Índice de Qualidade de Água: Ruim

Contaminação por Tóxicos: Alta

Ocorrência acima dos Limites de Classe: Coliformes fecais, DBO, Fosfato total, Manganês, Níquel, Nitrogênio amoniacal, OD, Turbidez

BV160 - Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata

Enquadramento: Classe 2

Resultados de 2000

Índice de Qualidade de Água: Ruim

Contaminação por Tóxicos: Alta

Ocorrência acima dos Limites de Classe: Amônia não ionizável, Coliformes fecais, DBO, Fosfato total, Índice de fenóis, Manganês

BV130 – Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas

Enquadramento: Classe 2

Resultados de 2000

Índice de Qualidade de Água: Ruim

Contaminação por Tóxicos: Alta

Ocorrência acima dos Limites de Classe: Amônia não Ionizável, Chumbo, Cobre, Coliformes fecais, DBO, Fosfato total, Índice de fenóis, Manganês, Níquel, OD, Turbidez, Zinco

BV153 - Rio das Velhas a jusante do Ribeirão da Mata

Enquadramento: Classe 3

Resultados de 2000

Índice de Qualidade de Água: Muito ruim

Contaminação por Tóxicos: Alta

Ocorrência acima dos Limites de Classe: Coliformes fecais, DBO, Fosfato total, Manganês, Nitrogênio amoniacal, OD, Turbidez

Quadro 1 – Situação dos corpos hídricos na região de Belo Horizonte



Índices

IQA

Código do Ponto	Corpo de água	jan	mar	mai	jul	set	nov	Média
BOGL03200	Rio Baquirivá-Guaçu	31	42	28	29	29	32	31
TGDB00000	Res. de Tanque Grande	70	79	72	81	77	67	74
JQUJ00000	Res. do Jaqueti	71	80	76	85	80	90	81
JQRJ03800	Rio Jaqueti	26	22	25	21	29	28	26
CRIS03400	Rio dos Cristais	58	52	47	58	58	49	52
DUNV04900	Rio Alicandava	26	19	18	19	17	17	19
NINC04900	Rio dos Meninos	15	13	14	14	14	15	15
PNIN04100	Rio Pinheiros	27	43	32	29	32	36	33
PNIN04900		29	17	15	13	15	16	16
TAMT04500	Rio Tamanduaí	15	18	15	14	14	15	15
TAMT04900		17	15	14	14	14	14	15
TISS04800	Res. Edgar de Souza	16	20	15	15	15	14	16
TIET04150	Rio Tietê	28	29	19	19	24	19	22
TIET04170		32	23	18	19	15	18	19
TIET04180		29	28	16	14	14	21	21
TIET04200		28	14	15	14	14	22	16
TIPI04800		Res. de Pirapora	24	24	17	17	19	18

QUALIDADE: ■ ÓTIMA ■ BOA ■ REGULAR ■ RUIM ■ PÉSSIMA

IAP

Código do Ponto	Corpo de água	jan	mar	mai	jul	set	nov	Média
BOGL03200	Rio Baquirivá-Guaçu	9	37	23	14	15	27	21
TGDB00000	Res. de Tanque Grande	60		72	81		49	67
JQUJ00000	Res. do Jaqueti			76	85		90	84
JQRJ03800	Rio Jaqueti	27	24	24	18	19	17	20
CRIS03400	Rio dos Cristais	5		6	4		1	4
DUNV04900	Rio Alicandava	12	8	5	6	14	15	10
NINC04900	Rio dos Meninos	13	5	5	2	11	14	8
PNIN04100	Rio Pinheiros	25	41	22	24	30	34	31
PNIN04900		18	15	14	12	14	14	14
TAMT04500	Rio Tamanduaí	12	13	8	11	9	13	10
TAMT04900		15	14	10	4	1	8	9
TISS04800	Res. Edgar de Souza	11	17	12	13	13	13	14
TIET04150	Rio Tietê	23	29	4	13	7	15	15
TIET04170		24	16	13	7	6	5	12
TIET04180		26	24	5	5	2	10	12
TIET04200		15	8	11	8	3	17	11
TIPI04800		Res. de Pirapora	21	17	1	4	17	16

QUALIDADE: ■ ÓTIMA ■ BOA ■ REGULAR ■ RUIM ■ PÉSSIMA

IQA

Código do Ponto	Corpo de água	jan	mar	mai	jul	set	nov	Média
BOGL03200	Rio Baquirivá-Guaçu		11,2	11,2	10,8	11,2	11,2	11,2
TGDB00000	Res. de Tanque Grande	2,2	2,2	3,2	3,2	3,2	4,2	2,8
JQUJ00000	Res. do Jaqueti	3,2	3,4	3,2	3,4	4,4	2,2	3,3
JQRJ03800	Rio Jaqueti	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
CRIS03400	Rio dos Cristais	2,5	3,4	2,2	2,5	4,2	3,0	3,0

QUALIDADE: ■ ÓTIMA ■ BOA ■ REGULAR ■ RUIM ■ PÉSSIMA

IET

Código do Ponto	Corpo de água	jan	mar	mai	jul	set	nov	Média
BOGL03200	Rio Baquirivá-Guaçu		78	85	104	108	76	80
TGDB00000	Res. de Tanque Grande	24	48	50	48	46	63	44
JQUJ00000	Res. do Jaqueti	44	36	50	39	46	48	43
JQRJ03800	Rio Jaqueti	15	15	92	96	101	93	92
CRIS03400	Rio dos Cristais	52	36	43	52	59	53	49

LEGENDA: ■ OLIGOTRÓFICO ■ MESOTRÓFICO ■ EUTRÓFICO ■ HÍPEREUTRÓFICO

Quadro 2 – Situação dos corpos hídricos na Região Metropolitana de São Paulo

4. ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS RELATIVOS À GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL

A primeira lei brasileira que trata da manutenção da qualidade da água é o Código de Águas (Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934), quando declara (ver Quadro 3):

- i. a ilegalidade de poluir;
- ii. a ilegalidade de causar externalidades;
- iii. quem polui, paga pelos custos de tratamento e recuperação (princípio do poluidor-pagador)

<p>TÍTULO VI Águas Nocivas Capítulo Único</p> <p>Art. 109 - A ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros,</p> <p>Art. 110 - Os trabalhos para a salubridade das águas serão executados à custa dos infratores, que, além, da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e pelas multas que lhes forem impostas nos regulamentos administrativos.</p> <p>Art. 111 - Se os interesses relevantes da agricultura ou da indústria ou exigirem, e mediante expressa autorização administrativa, as águas poderão ser inquinadas, mas os agricultores ou industriais deverão providenciar para que elas se purifiquem, por qualquer processo, ou sigam o seu esgoto natural.</p> <p>Art. 112 - Os agricultores ou industriais deverão indenizar a União, os Estados, os Municípios, as corporações ou os particulares que pelo favor concedido no caso do artigo antecedente, forem lesados.</p> <p>Art. 113 - Os terrenos pantanosos, quando, declarada a sua insalubridade, não forem dessecados pelos seus proprietários, se-lo-ão pela administração, conforme a maior ou menor relevância do caso.</p> <p>Art. 114 - Esta poderá realizar os trabalhos por si ou por concessionários.</p> <p>Art. 115 - Ao proprietário assiste a obrigação de indenizar os trabalhos feitos, pelo pagamento de uma taxa de melhoria sobre o acréscimo do valor dos terrenos saneados, ou por outra forma que for determinada pela administração pública.</p> <p>Art. 116 - Se o proprietário não entrar em acordo para a realização dos trabalhos nos termos dos dois artigos anteriores, dar-se-á a desapropriação, indenizando o mesmo na correspondência do valor atual do terreno, e não do que este venha a adquirir por efeito de tais trabalhos.</p>
--

Quadro 3 - Código de águas brasileiro, de 1934.

No entanto, é de conhecimento geral que o Código de Águas de 1934 nunca foi totalmente implantado, tendo sido usado apenas para usos que eram mais preponderantes nos anos que se seguiram à aprovação do código, como a produção de hidroeletricidade.

Assim, ocorre um grande vazio de caráter institucional e legal no país até a década de 70 com relação à água. Quanto aos demais aspectos ambientais cria-se, em 1973, a Secretaria Especial de Meio Ambiente, vinculada ao Ministério do Interior. Em 1981, o Congresso aprova a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que cria a Política Nacional do Meio Ambiente e o Sistema Nacional de Meio Ambiente, com o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), como o órgão que estabelece as diretrizes e políticas governamentais para o meio ambiente e baixa normas necessárias à execução da política ambiental. Em 1985, cria-se o Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, que traz para si a Sema e o Conama. Em 1989, cria-se o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama) para executar ações de gestão, proteção e controle da qualidade dos recursos ambientais e, em 1993, cria-se o Ministério de Meio Ambiente.

Não há qualquer tentativa de organização de caráter gerencial dedicada especificamente ao controle da poluição e proteção dos recursos hídricos.

É por intermédio do Conama que surgem algumas normas e resoluções sobre o controle da poluição. Entre elas destaca-se a Resolução Conama nº 20, de 18 de junho de 1986, que estabelece um sistema de classificação de águas doces, salobras e salinas, para a garantir seus usos preponderantes e para que os custos do controle de poluição sejam minimizados a partir da decisão de se manter níveis de qualidade distintos em cada trecho de um corpo de água. A Resolução Conama nº 20 é o início de um sistema de gestão da qualidade da água para o país, mas, por razões várias, que vão desde a insuficiência de investimentos no setor de controle da poluição até problemas de arranjo institucional, não conseguiu tornar realidade os padrões ambientais ali indicados. O Estado de São Paulo, por exemplo, enquadrou todos seus corpos de água com o Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, ainda segundo uma resolução antiga de enquadramento da Sema. Hoje, essa classificação não representa mais

a realidade das bacias e do setor de recursos hídricos e necessita ser revista com urgência.

Com relação à gestão dos recursos hídricos, principalmente quanto à quantidade de água, o país avançou bem mais do que na área de qualidade da água. A partir de 1991, com a aprovação da Lei Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (Lei 7.663, de 30 de dezembro de 1991), o país avança rapidamente na construção do arcabouço legal e institucional para a área de recursos hídricos, tendo como pontos altos a aprovação da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que estabeleceu a Política e o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos e a Lei 9.984 de 17 de julho de 2000, que criou a Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A dificuldade maior encontrada hoje pelo sistema de gestão de recursos hídricos é a questão da integração da gestão nos seus múltiplos aspectos. Com a descentralização preconizada pelo atual sistema de recursos hídricos, esse é hoje “o desafio da prática”, como tão bem lembrou a Carta de Aracaju, da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, em novembro de 2001 (<http://www.abrh.org.br>):

“...a ABRH entende que os esforços, empreendidos pelo setor, devem contemplar:

1. A implantação da efetiva gestão integrada das águas, superficiais e subterrâneas, com avanço sobre as diversas interfaces dos recursos hídricos, sob ambas as perspectivas, técnica e institucional, o que implica em:
 - *integração entre os diferentes níveis de governo*, a qual, para ser efetiva, deve abrigar mecanismos de distribuição de funções e de delegação de atribuições e competências, de modo a promover a necessária descentralização;
 - *integração entre os diversos órgãos do estado*, para que sejam evitadas a duplicação de atividades e, portanto, inconsistências nas decisões;
 - *integração entre níveis de planejamento nacional, regional e local*, para a correta abordagem dos problemas, aumento da eficiência do setor e

definição dos níveis corretos da decisão, aplicado o princípio de subsidiariedade;

- *integração dos sistemas gestores e os principais segmentos de usuários*, para uma melhor compreensão sobre suas mútuas de pendências e interações, com destaques para o setor de saneamento, no que concerne à gestão de bacias hidrográficas, e para o setor elétrico, no que tange à definição dos potenciais hidráulicos e às concessões de exploração;
- *integração entre os próprios setores usuários*, uma vez que cumpre a todos reconhecer seu impacto sobre o meio ambiente e os demais usos, implicando na troca ampla de informações, na facilitação de processos de negociação, tendo como consequência melhor alocação do recurso natural água;
- *integração entre o sistema de recursos hídricos e o sistema de meio ambiente*, como já preconizavam as Cartas de Foz do Iguaçu e do Rio de Janeiro, para que os processos de outorga e licenciamento ambiental sejam baseados em critérios consistentes e que os sistemas de informação sejam comuns;
- *integração entre disciplinas*, em particular quanto às águas superficiais e subterrâneas, para que tal integração abranja as esferas técnica e institucional.

.....”

A evolução do sistema de gestão de recursos hídricos, para ocorrer de forma integrada, está necessitando de um arcabouço que estruture um sistema de gestão de qualidade da água, integrando as ações da área ambiental com as da área de recursos hídricos. É hora de modernizar o processo de decisão na área de qualidade das águas, tornando-o mais eficaz, com os diversos instrumentos novos colocados à sua disposição.

Reconhece-se amplamente que um dos maiores desafios a serem enfrentados no país é a coleta e o tratamento de esgotos urbanos e a recuperação da qualidade da água em diversos ambientes já bastante impactados. Na Agenda Azul 2001-2002 do Ministério do Meio Ambiente, publicada em 6 de julho de 2001

(<http://www.mma.gov.br>), o primeiro item que é ali indicado é a despoluição das bacias hidrográficas e, mais adiante, o fortalecimento e a implantação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, dentre eles o enquadramento dos corpos de água segundo classes de uso, inclusive prevendo a revisão da Resolução Conama nº 20.

Para o fortalecimento dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos é necessário utilizar toda sua potencialidade para a integração da gestão quantidade e qualidade da água. A premente necessidade de melhoria do processo de decisão tem por objetivo mudar o paradigma de que o controle da qualidade da água deve cumprir genéricos objetivos ambientais, para o atendimento a um objetivo mais de curto prazo que é o de aumento da disponibilidade hídrica (Porto, 2000).

A Resolução Conama nº 20 encontra-se atualmente em processo de revisão (<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>). Esta revisão visa compatibilizar esta resolução com o novo corpo normativo em vigor, como a Lei 9.433/97, a Portaria 1469 do Ministério da Saúde e resoluções diversas do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, além da sua atualização com relação à lista de poluentes que devem ser controlados e seus respectivos valores máximos admissíveis dependendo do uso que se faça de um determinado corpo hídrico.

Um sistema integrado de gestão quantidade – qualidade da água deve apoiar-se nos dois sistemas constituídos, o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Meio Ambiente, nos seus parlamentos que são o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e no Conama, e nos órgãos executores da política, a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama), e poderia, por exemplo, ter a forma mostrada na Figura 1. As tarefas ali apresentadas claramente necessitam do trabalho conjunto dos dois setores.

Uma outra peça legal importante de ser integrada ao sistema é a Portaria 1469/2000, do Ministério da Saúde, a qual substituiu a antiga Portaria 36 e que dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece o padrão de potabilidade da água para consumo humano. Além de estabelecer as condições a

serem obedecidas para a água que é distribuída à população. Esta norma também impõe algumas condições referentes à condição do manancial onde a água para abastecimento é captada e dá diretrizes gerais para o monitoramento necessário ao acompanhamento do sistema.

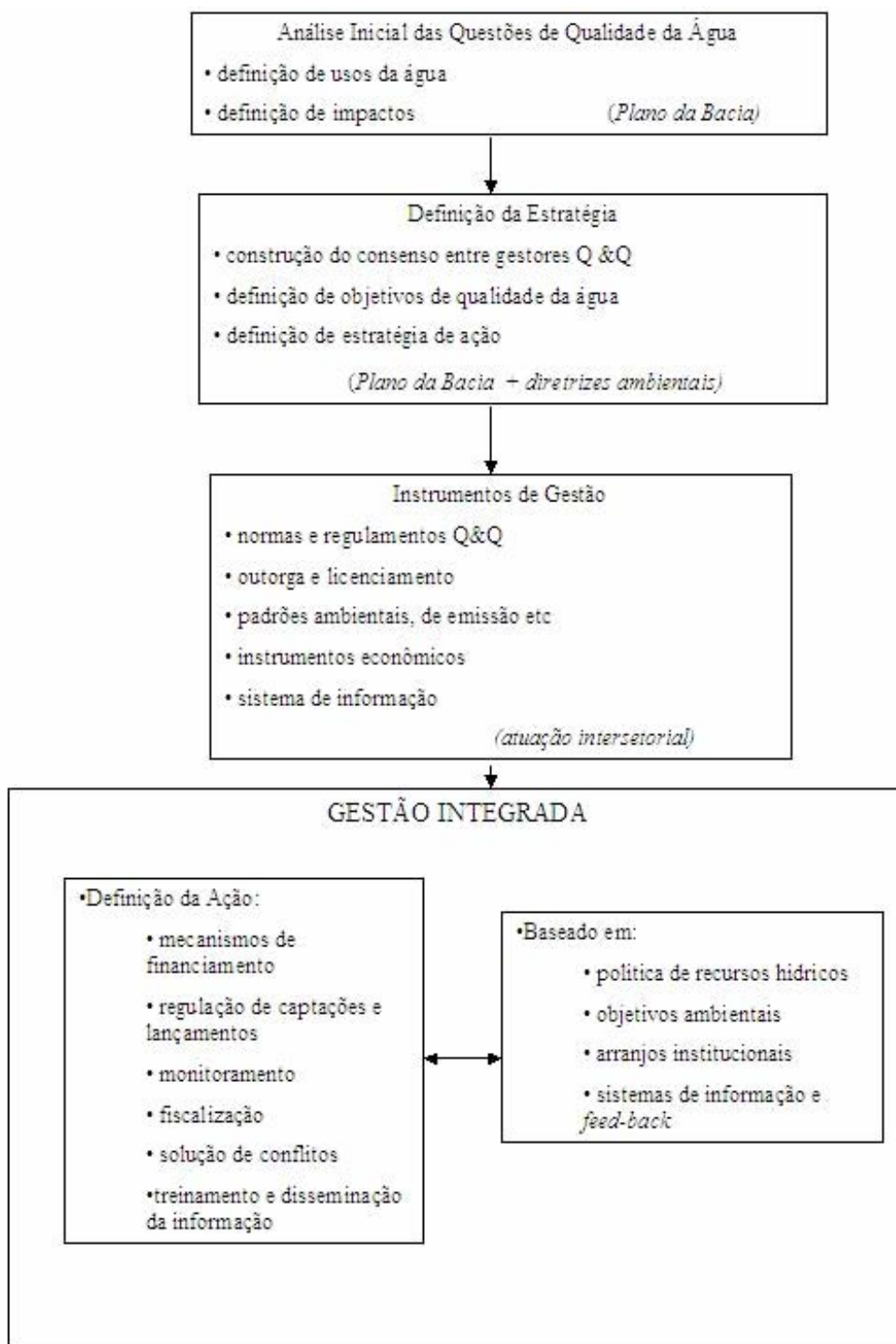


Figura 1 – Exemplo de gestão integrada para problemas de qualidade da água (adaptado de Larsen e Ipsen, 1997).

5. A PROBLEMÁTICA DA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL

As dificuldades que os países em desenvolvimento enfrentam na gestão da qualidade das águas têm várias origens, muitas advindas do fato de tentarem seguir as tendências dos países desenvolvidos. Uma situação típica é exigir cada vez maior rigor no controle da poluição imitando países que já passaram para a “segunda” geração da gestão da qualidade da água, sem terem conseguido sequer enfrentar e resolver, por insuficiência de recursos financeiros e capacidade institucional, os problemas de “primeira” geração da gestão da qualidade da água. O trabalho de von Sperling e Chernicharo (2002) apresenta uma análise muito interessante sobre as razões destas dificuldades, reproduzidas a seguir:

- as diretrizes de qualidade da água, vindas de países desenvolvidos, são muitas vezes adotadas diretamente como padrões nacionais, sem reconhecer as singularidades do país;
- adotam-se os critérios de qualidade da água diretamente como padrões a serem seguidos, sem o reconhecimento das especificidades locais; este é um dos problemas apresentados pela Resolução Conama nº 20, onde a ausência de flexibilidade é um problema para sua implantação;
- não há planejamento progressivo para o atendimento aos objetivos de qualidade da água e exigem-se níveis de tratamento imediatos já adequados ao objetivo de qualidade de longo termo, sem que o setor tenha condições de investimento para tal; no Brasil isso inclusive tem implicações legais pois, o não reconhecimento da necessidade de planejamento progressivo impede, muitas vezes, a aprovação de licenciamentos ambientais para obras que começariam a contribuir, desde já, para a melhoria da qualidade da água;
- muitas tecnologias adotadas nos países desenvolvidos não são economicamente viáveis para países mais pobres; há que se estudar caso a caso e permitir a utilização de tecnologias mais baratas, com base em metas de planejamento progressivo; é melhor não atender já o melhor padrão mas caminhar em direção a ele, do que ficar ruim como está;

- a universalização do abastecimento de água e da coleta de esgotos são metas prioritárias devido à saúde pública e, portanto, absorvem grande parte dos recursos disponíveis para investimento; no entanto, a falta de tratamento de esgotos urbanos leva, freqüentemente, à insustentabilidade do abastecimento público;
- a fiscalização e a obrigatoriedade de atendimento aos padrões ambientais é difícil de ser efetivamente implantada; no Brasil, isto é particularmente verdadeiro devido à insuficiência de investimento no tratamento de esgotos urbanos e devido também a problemas de caráter institucional e de capacitação tecnológica;
- os padrões de emissão não são compatíveis com os padrões ambientais: não há um esforço de estabelecimento conjunto desses padrões; esta é mesmo uma tarefa difícil de ser cumprida, mas é também um problema particularmente sério a ser resolvido no país, visto que, na Resolução Conama nº 20, esta inconsistência está presente;
- o número de variáveis de qualidade da água a serem utilizadas como diretrizes ou padrões no sistema devem obedecer às características locais, poluentes presentes, capacitação tecnológica, capacidade de investimento, entre outros;
- os sistemas de monitoramento de qualidade da água são pouco desenvolvidos, sem diretrizes gerais e muitas vezes inadequados; isto é particularmente verdade no Brasil, onde a escassez de dados de qualidade da água é marcante, com apenas alguns estados com redes de monitoramento operantes;
- ausência de capacidade institucional, com instrumentos legais e operacionais para a implantação do sistema; no Brasil, como o presente trabalho indica ainda há muito que ser organizado no setor;
- a recuperação da qualidade da água e as vantagens sobre a saúde, qualidade de vida, economia regional, são pouco percebidas pela população e pelos tomadores de decisão; no Brasil, tal percepção é

bastante recente, e maior naqueles locais onde a qualidade da água ameaça a disponibilidade hídrica.

Estas razões refletem bem a realidade brasileira e indicam uma grande necessidade de desenvolvimento técnico e científico no setor, o que justifica o investimento em P&D que deve ser feito para a construção de um novo sistema de gestão da qualidade da água para o país.

É claro que este esforço deve vir acompanhado de fortes investimentos no setor para o controle da poluição. O esforço para recuperação da qualidade da água em todos os países foi grande, quer do ponto de vista institucional e legal, quer do ponto de vista econômico, com a aplicação de mega investimentos¹ (Porto, 2002). O Brasil possui uma grande vantagem sobre outros países em desenvolvimento que é a de estar bastante avançado na questão legal e institucional da gestão de recursos hídricos e mais, de estar tentando criar no meio técnico e no meio político uma “cultura” da água, que facilita a implantação de novos instrumentos, e dá alguma segurança no sentido da continuidade do aperfeiçoamento do sistema.

Para que tais investimentos possam ser aplicados de forma a dar maior eficácia ao controle da poluição e melhoria da qualidade da água, há ainda uma série de perguntas a serem respondidas e que podem indicar diretrizes gerais para todo o país com relação à gestão da qualidade da água. Por exemplo:

- como integrar, sob o aspecto da gestão da bacia hidrográfica, os padrões ambientais definidos na Resolução Conama nº 20/86 para as diversas classes de uso da água, com o padrão de emissão que pode ser definido pelos órgãos ambientais estaduais?
- está claro quem define o que são os objetivos de qualidade da água em cada bacia hidrográfica?
- como os órgãos ambientais estaduais devem trabalhar com os padrões de emissão? É necessário um desenvolvimento adicional àquele padrão definido pelo no Art. 21 da resolução Conama nº 20/86?

¹ Nos Estados Unidos, estima-se que foram investidos mais de US\$ 500 bilhões em sistemas de tratamento de esgotos domésticos e industriais desde o Clean Water Act de 1972 (Knopman e Smith, 1993). A Alemanha investiu, entre 1970 e 1998, € 78 bilhões apenas em sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos (GFME, 2002). O Reino Unido investiu, desde 1989, £ 14 bilhões na melhoria dos sistemas de abastecimento de água e esgoto e tem compromisso de investir mais £ 15 bilhões até 2005 (EA, 2002).

- como devem ser planejados e operados os sistemas de monitoramento de qualidade da água?
- como deve ser acompanhada a evolução do estado dos corpos hídricos em relação à qualidade da água?
- como deve ser organizado o sistema de informações sobre qualidade da água no país?

Estas decisões se revestem de um caráter político bastante importante. Por exemplo, a adoção de regras uniformes impede a migração de indústrias mais poluidoras para locais, onde a regulamentação seja mais branda. Por outro lado, regulamentações muito restritivas podem acarretar custos insustentáveis para a região. Este equilíbrio somente pode ser buscado com a construção de uma política geral para o setor.

Fazem-se necessárias diversas etapas para se chegar a esse sistema completo. Uma etapa seria a necessidade de se ampliar e melhorar muito os sistemas de informação, acompanhado da necessidade de uma ampla reforma de caráter normativo, para que se tenham normas e regulamentos atualizados à disposição dos órgãos executores, com padrões ambientais adequados à realidade brasileira com suas características regionais diversas, assim como diretrizes gerais a serem adotadas pelos demais agentes do sistema descentralizado. Uma outra etapa seria o desenvolvimento pleno dos instrumentos de gestão de recursos hídricos de forma a integrar quantidade e qualidade. Por fim, há a necessidade de se planejar para alcançar formas e mecanismos de financiamento sustentáveis para o setor.

Estas propostas estão resumidas na Figura 2, que indica, de forma sucinta, os principais componentes a serem desenvolvidos para um sistema de gestão da qualidade da água para o país, dividido em três partes:

1. a necessidade da reforma de caráter normativo, introduzindo regulamentos novos para o processo de enquadramento dos corpos de água; estabelecimento de padrões ambientais adequados às especificidades



- regionais; detalhamento de diretrizes para o controle da poluição, por meio do estabelecimento e operacionalização da integração de padrões ambientais e de emissão; as diretrizes para sistemas de monitoramento, acompanhamento e avaliação da qualidade da água, inclusive com formas objetivas para se medir a aderência dos avanços conseguidos aos objetivos de qualidade estabelecidos;
2. a necessidade da plena integração dos demais instrumentos de gestão de recursos hídricos, planos de bacia, outorga de uso da água e cobrança pelo uso da água, com os objetivos do controle da qualidade da água, incluindo-se também o auxílio do sistema de informações em recursos hídricos;
 3. a sustentabilidade de mecanismos novos de financiamento do processo de recuperação da qualidade das águas, que de forma continuada, permita a implantação de estações de tratamento de efluentes urbanos, pois apenas a utilização de instrumentos econômicos, como a cobrança pelo uso da água, não é suficiente para garantir o investimento, dada a magnitude dos recursos necessários; que permita a contínua evolução tecnológica necessária para aumentar a eficiência e melhor gerir a qualidade da água; que permita a instalação, operação e manutenção de sistemas de monitoramento da qualidade da água.

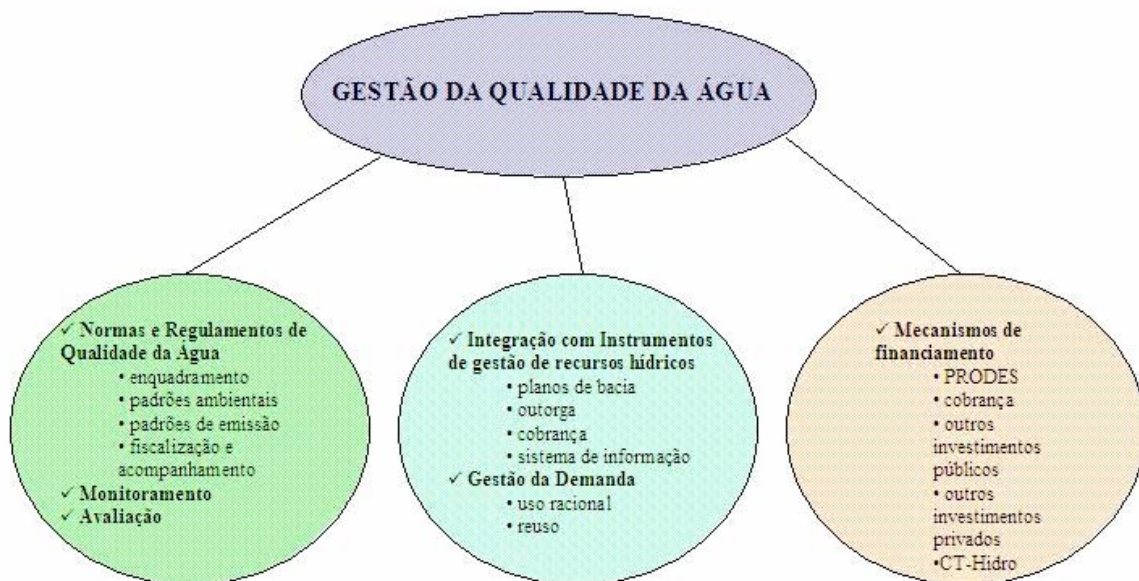


Figura 2 – Partes da proposta para o sistema brasileiro de gestão da qualidade da água

6. SITUAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO EM QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL

A área de qualidade da água talvez seja uma das que mais falte informação no país. O número de estações de monitoramento em operação é pouco expressivo na grande parte dos Estados, assim como as variáveis que são avaliadas em cada uma dessas estações. Geralmente são estações que estão em operação há pouco tempo, com séries pequenas de observação. Em muitos casos a periodicidade é irregular, o que torna difícil avaliar a situação da qualidade da água na bacia hidrográfica.

A informação sobre a qualidade da água é necessária para que se conheça a situação dos corpos hídricos com relação aos impactos antrópicos na bacia hidrográfica e é essencial para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle dos impactos. Não há decisão correta sem que haja um

mínimo de informação. Quanto mais completa e precisa é a informação, melhor qualidade terá a decisão, com maior possibilidade de acerto e eficiência.

O monitoramento de qualidade da água exige cuidados especiais pois se espera que os dados representem adequadamente a situação da bacia. Isto pode parecer óbvio mas, nesta área, para atingir este objetivo há que se tomar cuidados especiais. As variáveis envolvidas são muitas e a resposta da bacia hidrográfica sob o aspecto da qualidade da água aos diversos processos que ocorrem na sua superfície possui um grau de aleatoriedade bastante expressivo. O planejamento correto das redes de monitoramento e os procedimentos de coleta, análise e armazenagem das informações são etapas que requerem cuidados técnicos bastante específicos. É muito comum, nesta área, coletar-se uma série de dados e, ao final, as informações que dali podem ser obtidas são muito poucas.

O processo de divulgação da informação é também complexo. Há dois aspectos a serem trabalhados: o primeiro é a necessidade de tornar disponíveis os dados via Internet, por exemplo, e o segundo, a “tradução” destes dados para um público leigo que deseja ter a informação. Este último, em particular, requer um trabalho especial de forma que o leigo possa entender o que se passa na bacia hidrográfica de forma precisa e correta. Índices de qualidade da água têm sido muito utilizados para este fim, mas é preciso bastante cuidado para compô-los, utilizá-los e divulgá-los. Com relação à internet, é um desafio a ser enfrentado, mas é necessário que o maior conjunto possível de dados possa ser tornado público e rapidamente acessível.

A situação do monitoramento de qualidade da água no Brasil é bastante deficitária. Um levantamento desta situação divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente no ano de 2002 (MMA, 2002) traz as informações reproduzidas na Tabela 1.

A análise da Tabela 1 revela uma situação bastante precária com relação ao monitoramento da qualidade da água no país. Pela classificação do MMA apresentada nesse trabalho, apenas São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul classificam-se na situação “ótima”; Bahia, Pernambuco, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Amapá na situação como “muito boa”; Distrito

Federal e Paraná na situação “boa”; Goiás, Mato Grosso e Tocantins como “regular” e Acre, Alagoas, Amazonas, Ceará, Maranhão, Pará, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte, Rondônia, Roraima, Santa Catarina e Sergipe como “incipiente”.

Vê-se que praticamente todos os Estados do Norte, com exceção do Amapá, e os Estados do Nordeste, com exceção de Bahia e Pernambuco, encontram-se em situação cujo monitoramento é considerado incipiente. Isto pode ser visto também na Figura 3, apresentada pelo Ibama no levantamento feito pelo programa Poesia II (Ibama, 2001) com a localização das estações de monitoramento da qualidade da água nos diversos Estados brasileiros.

estado	amostragem	parâmetros	frequência	informação
AC	Red	Red	Red	Red
AL	Red	Red	Red	Red
AP	Red	Blue	Light Blue	Red
AM	Red	Red	Light Blue	Red
BA	Light Blue	Blue	Light Blue	Red
CE	Red	Red	Red	Red
DF	Blue	Red	Light Blue	Red
ES	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Red
GO	Red	Red	Red	Red
MA	Red	Red	Red	Red
MG	Light Blue	Blue	Light Blue	Blue
MT	Red	Red	Light Blue	Red
MS	Light Blue	Blue	Light Blue	Blue
PA	Red	Red	Light Blue	Red
PB	Red	Red	Light Blue	Red
PR	Light Blue	Red	Light Blue	Red
PE	Blue	Blue	Light Blue	Red
PI	Red	Red	Light Blue	Red
RJ	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Red
RN	Red	Red	Red	Red
RS	Blue	Blue	Light Blue	Red
RO	Red	Red	Light Blue	Red
RR	Red	Red	Light Blue	Red
SC	Red	Red	Light Blue	Red
SP	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Red
SE	Red	Red	Light Blue	Red
TO	Red	Red	Light Blue	Red

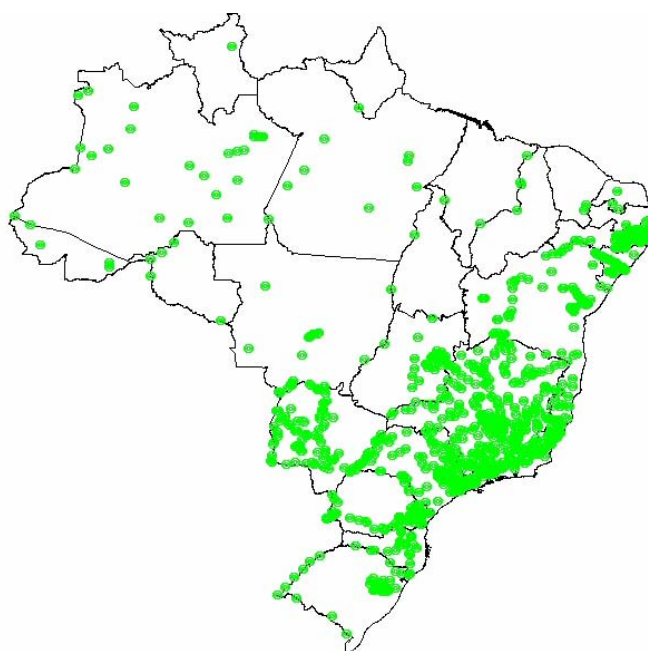
Tabela 1 – Situação do monitoramento da qualidade da água nos Estados brasileiros

LEGENDA

amostragem	mais de 80% das bacias	entre 50% e 80% das bacias	entre 10% e 50% das bacias	menos de 10% das bacias ou inexistente
parâmetros	IQA + metais + toxicidade	IQA + metais	IQA	poucos parâmetros ou inexistente
freqüência	Trimestral ou maior	semestral	anual	irregular ou inexistente
informação	relatórios anuais + mapas + internet	relatórios anuais + mapas	relatórios anuais	relatórios esporádicos ou informação restrita

Fonte: MMA,

2002



Fonte: Ibama, 2001

Figura 3 – Localização das estações de monitoramento de qualidade da água no Brasil

Uma outra fonte de dados, obtida a partir do site do Ibama na Internet, indica que existem 1985 estações de monitoramento de qualidade da água em operação no Brasil, assim distribuídas:

Bacia do Rio Amazonas possui 69 estações;
Bacia do Rio Tocantins possui 17 estações;
Bacia do Atlântico Sul trecho Norte/ Nordeste possui 95 estações;
Bacia do Rio São Francisco possui 179 estações;
Bacia do Atlântico Sul trecho Leste possui 277 estações;
Bacia do Rio Paraná possui 432 estações;
Bacia do Rio Uruguai possui 42 estações;
Bacia do Atlântico Sul trecho Sudeste possui 130 estações

Fonte: <http://www.ibama.gov.br>

Quadro 4 - Distribuição das estações de monitoramento da qualidade da água por bacia hidrográfica

Levantamentos, feitos nos *sites* das várias entidades que operam redes de monitoramento de qualidade da água, indicaram os dados mostrados na Tabela 2, em que estão presentes apenas as maiores redes de monitoramento de qualidade da água em número de estações em operação.

Entidade operadora	Número de estações
ANA	443
Feam/MG	242
Cetesb/SP	149
Feema/RJ	120
Caesb/DF	110
IAP/PR	85
Sema/ES	81
CRA/BA	70
CPRH/PE	70

Tabela 2 - Entidades responsáveis pelas maiores redes de monitoramento da qualidade da água

Deste conjunto de dados podem ser identificadas as seguintes características do nosso atual sistema de monitoramento:

- há uma diferença bem notável entre o número de estações de monitoramento nas Regiões Sul e Sudeste em comparação com aquelas disponíveis nas demais regiões do país;

- os dois aspectos mais deficientes mostrados na Tabela 1 são quais parâmetros são monitorados e a forma de divulgação dos mesmos;
- São Paulo é o único Estado que apresenta uma boa condição em todos os itens indicados na Tabela 1 e deve ser acrescentado, inclusive, que a rede operada pela Cetesb é aquela com maior tempo de operação contínua e, portanto, com potencial de oferecer a maior quantidade de informações sobre a situação dos corpos hídricos daquele Estado.

Entre as deficiências que podem ser identificadas nesses dados está a questão da divulgação da informação. Nenhuma das entidades operadoras de redes de monitoramento de qualidade da água possui uma forma de acesso à totalidade dos seus dados na Internet, isto é, à série completa dos dados monitorados ao longo de todo o período de operação, nos moldes que hoje existe para algumas redes hidrológicas. Mesmo uma entidade tradicional como a Cetesb tem disponível em seu *site* apenas o último relatório de situação da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, com as tabelas completas do monitoramento executado naquele ano. A Feema/RJ, Sema/ES e a Fepam/RS colocam à disposição na Internet relatórios resumidos sobre a situação das bacias hidrográficas.

Apenas como exemplo, a Agência de Proteção Ambiental Americana tem registrado no seu *site* na Internet a existência de 134.858 estações de monitoramento de qualidade da água e permite que qualquer entidade que opere estações de monitoramento inclua seus dados no seu *site*. Boa parte desses dados é acessível pela Internet por meio de um programa disponível a todos chamado Storet (<http://www.epa.gov>).

Os problemas aqui diagnosticados têm várias origens, inclusive o pequeno número ou a ausência de laboratórios disponíveis no Estado ou região para a análise de amostras de água.

A Tabela 3 mostra o número de laboratórios disponível em cada Estado. Este levantamento foi feito pelo Ibama e está disponível no seu *site*. A última coluna

contém os dados de tipos de análise que os laboratórios fazem e é um levantamento feito pelo programa Poesia II, também do Ibama (Ibama, 2001).

Nota-se, nesta Tabela 3, que quatro Estados brasileiros não possuem nenhum laboratório para a análise de água que tenha sido indicado no levantamento do Ibama. São eles: Tocantins, Paraíba, Amapá e Maranhão. Em 12 Estados brasileiros há laboratórios mais completos, inclusive com a possibilidade de detecção de pesticidas.

Unidade da Federação – UF	Laboratórios por UF	Realiza Controle de qualidade	Realiza Coleta de amostra	Laboratórios com ensaios credenciados pelo Inmetro	Parâmetros Analisados
Acre	1				--
Alagoas	6	3	6		físico-químicos
Amazonas	8	3	6		físico-químicos
Bahia	5	2	4	2	físico-químicos + metais + pesticidas
Ceará	4	1	4		físico-químicos
Distrito Federal	7	5	5		físico-químicos + metais + pesticidas
Espírito Santo	10	7	9		físico-químicos + metais + pesticidas
Goiás	3	3	3		físico-químicos + metais + pesticidas
Mato Grosso	5	3	5		físico-químicos
Mato Grosso do Sul	3	1	2		físico-químicos + metais
Minas Gerais	5	4	5		físico-químicos + metais + pesticidas
Pará	8	7	8		físico-químicos
Paraná	3	3	3		físico-químicos + metais + pesticidas
Pernambuco	6	2	5		físico-químicos + metais + pesticidas
Piauí	4	4	4		físico-químicos
Rio de Janeiro	6	6	5		físico-químicos + metais + pesticidas
Rio Grande do Norte	4	3	4		físico-químicos
Rio Grande do Sul	6	6	4		físico-químicos + metais + pesticidas
Rondônia	1	1	1		---
Roraima	3		2		físico-químicos
Santa Catarina	27	17	17	1	físico-químicos + metais
São Paulo	20	12	12	2	físico-químicos + metais + pesticidas
Sergipe	3	2	3		físico-químicos
Total de laboratórios cadastrados	147	94	117		

Fonte : Ibama (<http://www.ibama.gov.br>) e Ibama, 2001

Tabela 3 - Distribuição de laboratórios por Estado

Podem ser claramente identificados problemas de duas origens: quanto às estações de monitoramento pelo seu pequeno número, dada a grande dimensão do país e sua distribuição irregular, e quanto ao pequeno número de laboratórios disponíveis e bem equipados.

As conclusões do relatório, apresentado no site do Ibama, são também indicativas destes fatos, como reproduzido a seguir:



“Hoje, no Brasil, existem esforços por parte de alguns Estados para manterem uma rede de monitoramento. Contudo, esses esforços são independentes, não havendo integração entre as várias redes de qualidade e nem com a rede que mede a quantidade. Este fato faz com que haja problemas na distribuição espacial das estações de coleta, proporcionando o adensamento e superposição de estações em algumas regiões e em outros espaços vazios”.

A aplicação, por várias instituições, de diferentes metodologias de análise e de coleta dificulta a comparação dos resultados. Dados gerados sem comprometimento com a frequência de coleta, com a qualidade analítica, bem como a falta de hábito dos órgãos responsáveis pelo controle, dos órgãos gestores e da sociedade em geral, de utilizarem os dados levantados pelo monitoramento em suas ações, levam à necessidade da elaboração de programas de integração, padronização, capacitação e divulgação dessas informações. Uma vez que este é um subsídio importante para a detecção da poluição e de seus efeitos, para proposição de ações de controle e para a definição dos métodos de contenção, como, por exemplo, o enquadramento do corpo hídrico, a outorga e a cobrança do direito de uso dos recursos hídricos, instrumentos fundamentais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, bem como para a gestão ambiental.

Com as informações, obtidas dos laboratórios de análises ambientais cadastrados, podemos diagnosticar que os que realizam análise de água, na sua maioria, não utilizam os mesmos métodos analíticos, dificultando como já foi dito, a comparação dos dados, bem como poucos têm seus ensaios credenciados no Inmetro e ainda não existe um controle interlaboratorial que permita estabelecer a confiabilidade dos resultados analíticos.

Com essa exposição, procuramos demonstrar a importância e a necessidade de se estruturar e implantar uma rede integrada de monitoramento da qualidade da água, para a efetiva gestão dos recursos hídricos e conseqüentemente dos recursos ambientais do país”.

7. A COLABORAÇÃO DO SETOR DE PESQUISA PARA A CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA

Diante desse quadro de necessidade de desenvolvimento de um sistema de decisão e de gestão da qualidade da água para o país e dos problemas verificados na questão do monitoramento da qualidade das águas, há inúmeras tarefas que dependem de desenvolvimento tecnológico e pesquisa para serem efetivadas. São diversos os temas que necessitam de apoio, bem como são diversas as formas de apoio necessárias, desde o apoio financeiro para equipamentos de laboratório, capacitação de pessoal especializado, serviço de campo, suporte a instituições de pesquisa, bolsas de estudo, entre outros.

As necessidades de pesquisa e desenvolvimento podem ser divididas em quatro grupos:

1. necessidades relativas às questões de monitoramento da qualidade das águas;
2. necessidades relativas à construção do sistema de informação em qualidade da água;
3. necessidades relativas ao conhecimento dos sistemas aquáticos e dos impactos causados pela poluição ou ações antrópicas;
4. necessidades relativas à gestão da qualidade da água e sua integração com os instrumentos de gestão de recursos hídricos.

7.1 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A situação das redes de monitoramento de qualidade da água apresentada no item anterior mostra a necessidade da ampliação do número de estações de

coleta no país, bem como do número de variáveis acompanhadas nessas estações.

Para que isso seja conseguido a contento, duas ações se fazem necessárias: uma relativa à própria expansão da rede e outra relativa à expansão do número de laboratórios capacitados para tal fim.

A expansão da rede de monitoramento de qualidade da água em si não é uma atividade a ser financiada no âmbito do setor de ciência e tecnologia por ser tarefa das instituições do setor as quais são as principais usuárias da informação para seu próprio processo de decisão. No entanto, esta tarefa somente poderá ser feita de maneira adequada se for executada de forma planejada. Como dito no documento do Ibama reproduzido no item anterior, as redes de monitoramento hoje existentes não são integradas naquilo que diz respeito ao seu funcionamento, nem são integradas à rede de monitoramento hidrológico, o que torna muito difícil a utilização do conjunto dos dados atualmente obtidos no país. Uma condição essencial para que isto ocorra é o desenvolvimento de procedimentos e diretrizes de monitoramento de qualidade da água que embasem tal expansão e este tema pode e deve ser objeto de financiamento pelo setor de CT&I.

É importante que seja colocado à disposição das entidades que irão operar as redes de monitoramento de qualidade da água, um conjunto de diretrizes que indiquem os procedimentos desejáveis para essas redes. Este conjunto de procedimentos, que se constitui no protocolo de operação da rede, deve incluir (Ward , Loftis e McBride, 1990):

- critérios de projeto das redes de monitoramento, com diretrizes a serem seguidas para a escolha dos locais de amostragem, frequência de amostragem e variáveis a serem amostradas, de acordo com os objetivos determinados para a rede, ou seja, de acordo com o tipo de informação que se deseja obter daquele sistema de monitoramento;
- diretrizes para uniformização dos procedimentos de coleta e análise das amostras;

- diretrizes para análise dos dados, tanto para sua consistência como para a avaliação da evolução da situação da qualidade da água na bacia hidrográfica;
- diretrizes para armazenamento das informações em banco de dados, inclusive com todo o conjunto de informações, não só dos dados amostrados, mas da própria operação das redes, ocorrência de valores fora do normal (*outliers*), entre outros.

O planejamento da ampliação das redes de monitoramento não deve visar apenas as tradicionais redes operadas hoje por órgãos ambientais ou gestores de recursos hídricos, mas deve também apoiar outras iniciativas para redes menores às vezes operadas por projetos de pesquisa, universidades, ou mesmo programas voluntários, forma esta que a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos encontrou para ampliar o monitoramento de qualidade da água para pequenas bacias hidrográficas. São iniciativas novas que poderão entrar também no planejamento da ampliação dos sistemas.

Para os sistemas de fiscalização e acompanhamento poderem ser mais eficientes e traduzirem melhor o resultado das avaliações é necessário que dentre os critérios de monitoramento que sejam desenvolvidos seja contemplada a definição de faixas possíveis de violação dos padrões (margens de segurança aceitáveis para padrões ambientais e de emissão), bem como a frequência com que tais exceções possam ocorrer. As variáveis de qualidade da água possuem uma característica de aleatoriedade com grande variância. É preciso estabelecer critérios para a determinação das faixas aceitáveis, de maneira a melhor orientar os procedimentos de fiscalização e acompanhamento da situação.

O segundo ponto importante diz respeito à ampliação e desenvolvimento dos laboratórios de qualidade da água. Este é um ponto crucial, mas que exigirá planejamento para ser alcançado.

O planejamento da rede de laboratórios de qualidade da água é essencial. O simples financiamento para aparelhamento de laboratórios não é, nem de longe, suficiente para resolver o problema. Numa primeira etapa, torna-se necessário que se faça um mapeamento dos laboratórios existentes no país e suas

capacidades. A partir daí, a expansão pode ser planejada levando em consideração diversos aspectos, como:

- planejamento da localização dos laboratórios: quantos laboratórios precisam ser criados? o modelo deve se apoiar na estruturação de bons e completos laboratórios regionais? como definir as regiões apoiadas por um único laboratório?
- capacitação de pessoal não só para o trabalho de laboratório, mas também para o trabalho de manutenção dos equipamentos;
- aparelhamento dos laboratórios.

Note-se que a ordem hierárquica é essa mesmo. Não serão obtidos resultados sustentáveis e de longo prazo se a ação não for planejada e se não houver a capacitação de pessoal local, inclusive para manutenção dos equipamentos.

A outra necessidade que vem junto com a ampliação do número de laboratórios é o processo de acreditação dos laboratórios e a criação de amplos programas de intercomparação e padronização que garantam procedimentos uniformes e, portanto, resultados comparáveis entre diversas regiões do país.

Muito disto já está sendo feito em diversas regiões do país, mas certamente há a necessidade de expansão para alcançar as regiões mais carentes e integrar aquelas regiões hoje já mais avançadas nesses procedimentos.

7.2 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES EM QUALIDADE DA ÁGUA

Neste tópico talvez residam as maiores falhas para a gestão da qualidade das águas no país. Nem mesmo as regiões e/ou instituições mais bem estruturadas para o monitoramento da qualidade da água no país possuem bons sistemas de informação.

Em primeiro lugar, é preciso definir o que se entende por um bom sistema de informações. Pode parecer óbvio, mas é necessário que se levantem as

necessidades de informação para, a partir daí, começar a construção de tais sistemas.

Um sistema de informação deve possuir dois focos principais: um relativo ao armazenamento e acesso aos dados, e outro relativo à produção da informação por meio de relatórios com diversos objetivos e que alcancem decisores distintos, ou mediante o desenvolvimento de índices de qualidade da água, entre outros, estruturando assim a principal função da informação que é permitir o conhecimento e o acompanhamento da situação da qualidade da água.

O armazenamento e o acesso às informações devem ser planejados para, na medida do possível, tornar público e fácil o acesso aos dados, de preferência com a utilização da internet. Deve haver, é claro, diversos níveis hierárquicos de acesso, já que esse banco deve conter informações cujo interesse público é relativamente menor, como é o caso do protocolo de operação da rede. O acesso aos dados já consistidos é o que deve merecer uma divulgação maior. Enfim, é necessário planejar o sistema de operação e divulgação dos bancos de dados.

Neste ponto, há a necessidade de apoio às diversas instituições para a construção desses bancos de dados e o incentivo à maior disponibilidade dos dados visando, principalmente, o uso da internet.

Com relação à forma de divulgação das informações, há a necessidade do planejamento de relatórios de acompanhamento e suas diversas formas de divulgação. Um exemplo de tipo de relatório é o Relatório de Qualidade das Águas Interiores, divulgado pela Cetesb todos os anos. Outros relatórios, com objetivos distintos, visando diversos tipos de público, quais sejam, os comitês de bacia, o público leigo em geral ou alguns específicos decisores, podem também ser planejados.

Uma forma de transmissão da informação que tem sido bastante utilizada é feita com o desenvolvimento de índices de qualidade da água. Um índice de qualidade da água é a combinação da informação dada por diversas variáveis de qualidade da água agrupadas num único número. Este número deve refletir a adequação do corpo hídrico a um determinado propósito ou uso da água, ou a um determinado tipo de impacto. Não é trivial a definição e a utilização de índices de qualidade da água exatamente pela dificuldade em se abranger todo o conjunto de variáveis

que traduzem tal adequação ou impacto. Há, por exemplo, muitos enganos na utilização do IQA proposto pela National Health Foundation e em uso há muitos anos no Brasil e que indica, basicamente, o impacto do lançamento de cargas orgânicas de poluição em um corpo hídrico. Este índice tem sido usado de forma indiscriminada, perdendo daí todo o sentido que tal informação pode transmitir. Há um esforço atualmente por parte de alguns órgãos em se definirem novos índices com propósitos mais específicos e que podem agregar mais informação na divulgação da situação dos corpos hídricos.

O planejamento da divulgação da informação e o desenvolvimento de índices de qualidade da água são também necessidades de desenvolvimento para o país na área de qualidade da água.

7.3 BASES PARA O CONHECIMENTO DOS SISTEMAS AQUÁTICOS E DOS IMPACTOS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO OU AÇÕES ANTRÓPICAS

O agravamento da situação da poluição das águas no país traz a preocupação de se conseguir avaliar de maneira correta os impactos produzidos pela ocupação antrópica das bacias hidrográficas. Além da óbvia necessidade do monitoramento para se conseguir tal intento, há a necessidade do conhecimento do comportamento dos nossos sistemas, sob seus aspectos físicos, químicos e biológicos, para que sejam determinados quais são os padrões ambientais desejáveis para os diversos ecossistemas e também para os diversos usos da água.

O país hoje baseia toda a gestão da qualidade da água em padrões ambientais trazidos de outros países, cujas realidades, tanto do ponto de vista dos ecossistemas, como do ponto de vista dos impactos antrópicos sofridos, são bastante distintas.

O melhor conhecimento do comportamento dos ecossistemas e o desenvolvimento de padrões ambientais nossos é fundamental para melhorar a gestão da qualidade da água. Para isso, é necessário que se conheça e, portanto, se monitore, bacias que sofrem baixo impacto antrópico, que se pesquise o

impacto da poluição sobre organismos aquáticos presentes nos ecossistemas brasileiros, entre outras ações.

Esta ação deve evoluir também para o desenvolvimento de padrões para testes que possibilitem o biomonitoramento dos corpos hídricos, nas suas mais variadas formas. Desde testes de laboratório que utilizam organismos específicos, até formas de acompanhamento dos impactos da poluição no próprio corpo hídrico.

7.4 INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA COM OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A gestão da qualidade da água busca o equilíbrio entre a visão utilitária da água e a preservação ambiental. Há um contínuo entre um extremo e outro e, portanto, cada sociedade deve encontrar seu ponto de equilíbrio. As políticas de gestão da qualidade da água indicarão quais são os valores da comunidade local e as grandes diretrizes assim estabelecidas pela bacia, deverão refletir tais visões, provavelmente explicitando o caráter antropocêntrico da primeira, por meio de busca do crescimento econômico, até a restauração da integridade dos ecossistemas no outro extremo desta visão (Perry e Vanderklein, 1996). As sociedades, nas últimas décadas, têm se mostrado dispostas a encontrar um caminho que atenda parcialmente diretrizes como essas, buscando, na medida do possível, o ponto de maior benefício líquido global.

Os sistemas de gestão dependem de instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados para que se alcancem os desejos da comunidade com relação à aptidão das bacias hidrográficas e os respectivos usos a serem realizados, segundo a visão mais utilitarista, mas que também atendam à preservação ambiental, até para garantir sua própria sustentabilidade.

Os instrumentos que se encontram no sistema ambiental e no sistema de recursos hídricos para esta gestão são:

- o enquadramento dos corpos de água;
- o licenciamento ambiental;

- a outorga de direito de uso dos recursos hídricos;
- a cobrança pelo uso da água.

Os três primeiros são conhecidos como parte integrante de sistemas de gestão ditos de comando-controle, enquanto que o quarto é parte dos sistemas de gestão que buscam utilizar a eficiência econômica como meio para se atingirem as metas desejadas pela comunidade.

Os sistemas do tipo comando-controle são os mais antigos e trabalham com uma visão objetiva do problema. Decide-se, de forma direta, qual é a qualidade que se deseja no corpo de água e utiliza-se o licenciamento e a outorga para atingir tais objetivos. É um tipo de gestão atrativa para os administradores públicos, mas a realidade mostra que a sua implantação e operação podem se tornar muito complexas face às decisões de como decidir sobre a aplicação de tais instrumentos e como fazer valer a lei por meio de mecanismos de punição com fiscalização e multas, além da magnitude do problema quando se opera o sistema em áreas muito estressadas e críticas.

Um segundo conjunto de opções começou a surgir na década de 60, com base em instrumentos econômicos de incentivo. Seu objetivo era tornar mais fácil a adesão do poluidor ao sistema de controle e compensar as externalidades, gerando receita e buscando o aumento da eficiência global do sistema. Ampliou-se, a partir daí, a idéia do poluidor-pagador.

A experiência internacional mostra que não há forma de se trabalhar com um ou outro sistema, comando-controle ou baseado em instrumentos econômicos, de forma exclusiva. Algum tipo de mecanismo da forma de comando-controle tem de ser adotado, até para servir como balizador da qualidade da água a ser alcançada, como é o caso do licenciamento ambiental, mas verifica-se que a implantação de instrumentos econômicos facilita a adesão do poluidor à meta de redução da poluição e, portanto, aumenta a eficiência do sistema. (Porto, 2002)

O país encontra-se numa situação em que a integração e a utilização de todos esses instrumentos ainda é muito incipiente. Faz-se necessária uma forte atuação para desenvolvimento de sistemas que auxiliem o país na busca de uma situação

mais sustentável e isso somente começará a ser viável com a plena aplicação de tais instrumentos.

O processo de enquadramento dos corpos hídricos, por exemplo, está passando por uma revisão graças à atualização e modernização da própria resolução que o define (Resolução Conama nº 20/86), de forma a melhorar a integração e sua aplicação por ambos sistemas de gestão ambiental e de recursos hídricos. O país deve ingressar agora numa fase de enquadramento das suas bacias hidrográficas, processo que certamente necessitará do desenvolvimento de diretrizes e bases técnicas para que esta etapa de planejamento seja cumprida a contento.

O próprio processo de licenciamento ambiental, já consolidado e em plena utilização em todo o país, necessita ainda de apoio no desenvolvimento de ferramentas técnicas como sistemas de suporte a decisão, modelos de qualidade da água, entre outros, que permitam melhorar a qualidade da decisão e que sejam a base da sustentabilidade ambiental das bacias hidrográficas.

O instrumento de outorga de lançamento de efluentes é uma novidade introduzida pela Lei 9.433/97 e que muita incerteza tem causado sobre sua aplicação. É necessário que sejam desenvolvidos procedimentos com forte embasamento técnico que auxiliem os órgãos gestores nesse processo.

A cobrança pelo lançamento de poluentes, instrumento econômico que se mostrou de grande eficiência em diversos países, com os maiores sucessos obtidos em países como a Alemanha e a França, tem grande potencial de alavancar a recuperação de muitas bacias degradadas. A efetiva implantação desse instrumento no país ainda requer uma quantidade de estudos significativa sobre sua aplicabilidade, formas de aplicação, entre outros.

A evolução e a garantia de sucesso na aplicação conjunta desses instrumentos e, portanto, o atendimento à gestão integrada exigida pela Lei 9.433/87, ainda depende de estudos, prospecções e levantamentos que devam ser feitos no bojo de projetos de pesquisa, com potencial muito grande de auxiliar as instituições gestoras e os tomadores de decisão.

7.5 PROGRAMAS DE CAPACITAÇÃO

A capacitação técnica, em todas as questões acima citadas, é uma grande lacuna no setor que não tem sido adequadamente preenchida pelas universidades. É necessária uma política para indução de programas de pós-graduação e especialização, com recursos e bolsas de estudo, destinados especificamente a aumentar os grupos de pesquisa na área de qualidade da água no país.

8. SUGESTÃO DE MECANISMOS E FOCOS DE PESQUISA

São quatro as prioridades para serem objeto de desenvolvimento dentro do sistema de CT&I em qualidade da água e as respectivas linhas a serem apoiadas:

(i) Melhoria do processo de informação

- pesquisa e desenvolvimento em monitoramento da qualidade da água, com desenvolvimento de critérios de planejamento de redes de monitoramento, indicadores de qualidade da água;
- avaliação da capacidade instalada de laboratórios no país e planejamento da necessidade de expansão da infraestrutura e respectivo investimento necessário, com desenvolvimento de critérios de padronização e acreditação;
- desenvolvimento de sistemas de informação, com apoio à criação de bancos de dados, sistemas disponíveis via internet;

(ii) Conhecimento dos sistemas aquáticos e impactos

- pesquisa para melhoria do conhecimento do impacto sofrido pelos sistemas aquáticos, de acordo com especificidades regionais, a partir de impactos antrópicos como urbanização, mineração, agricultura, entre outros;
- pesquisa para definição de padrões ambientais para determinação de níveis de impacto e correspondente adequabilidade a diversos usos da água;
- desenvolvimento de diretrizes para bioindicadores e bioensaios;

(iii) Sistemas de gestão

- desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão para a área de gestão da qualidade da água;
- desenvolvimento de ferramentas de apoio aos instrumentos de gestão como enquadramento dos corpos hídricos, licenciamento ambiental, outorga de uso da água e cobrança;

(iv) Capacitação

- formação e capacitação de profissionais por meio de cursos de pós-graduação para a área de pesquisa, especialização e extensão para os órgãos gestores e para o setor de recursos hídricos de maneira ampla, incluindo a capacitação de profissionais para atuação em laboratórios

9. CONCLUSÃO

É inegável a importância da área de qualidade da água para a gestão dos recursos hídricos com a consequente garantia de sustentabilidade do uso das bacias hidrográficas.

Mostrou-se neste relatório as diversas lacunas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico cujo preenchimento é fundamental para que se avance no setor de recursos hídricos em busca de um sistema de gestão mais eficiente e eficaz.

Este conjunto de atividades de desenvolvimento requer investimento que deverá ser planejado a partir da hierarquização das necessidades aqui apresentadas. É importante mais uma vez frisar que capacitação técnica, em todas as questões acima citadas, é uma grande lacuna no setor que não tem sido adequadamente preenchida pelas universidades. É necessária uma política para indução de programas de pós-graduação e especialização, com recursos e bolsas de estudo, destinados especificamente a aumentar os grupos de pesquisa na área de qualidade da água no país.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Briscoe, J. 1993. When the cup is half full. *Environment*. Vol. 35, n. 4, pp. 7-15. May 1993.

Branco, S.M.. 1983. *Poluição: A Morte de Nossos Rios*. ASCETESB. São Paulo.

Branco, S.M.. 1999. Água, Meio Ambiente e Saúde. In: Rebouças, A.C., Braga, B., Tundisi, J.G., eds., *Águas Doces no Brasil*, Editora Escrituras, São Paulo, SP.

EA. 2002. *Achieving the Quality*. UK Environmental Agency. Londres, Inglaterra.

GFME. 2002. *The German Water Sector: Policies and Experiences*. German Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Bonn, Alemanha, 2002.

Ibama. 2001. Poesia II – Programa de Observação Espacial. Monitoramento da Qualidade da Água. MMA, Brasília, DF.

IBGE, 2003. Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio. IBGE.

IBGE, 2001. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. IBGE.

Knopman, D.S.; Smith, R.A.. 1993. 20 years of the Clean Water Act. *Environment*. Vol. 35, n. 1, pp. 17-41. Jan-Feb 1993.

Larsen, H.; Ipsen, N.H.. 1997. Framework for Water Pollution Control. . In: Helmer, R., Hespanhol, I., eds., *Water Pollution Control*. E&FN Spon. Londres, Inglaterra.

MMA. 2002. Situação da atividade de monitoramento da qualidade da água realizada pelos órgãos estaduais de meio ambiente. Programa Nacional de Meio Ambiente – PNMA II. Componente de Desenvolvimento Institucional. Brasília, DF.

Porto, M. 2000. Integrating Water Quantity & Quality Management. *Proceedings from the Symposium on Policy and Institutions in Water Resources Management*. International Water Resources Association. Salvador, BA.

Porto, M. 2002. Sistemas de Gestão da Qualidade das Águas: Uma Proposta para o Caso Brasileiro. *Tese de Livre-Docência*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Pena, D.S.; Abicalil, M.T.. 1999. Saneamento: Os Desafios do Setor e a Política Nacional de Saneamento. In: IPEA. *Infra-Estrutura: Perspectivas de Reorganização – Saneamento*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Ministério da Fazenda. Governo Federal. Brasília, DF.

SEDU/IPEA. 2001. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2000. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Vol. 6. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, DF.

UN. 1992. *Agenda 21: The United Nations Program for Action from Rio*. UN Publications. New York, NY, EUA.

Von Sperling, M.; Chernicharo, C.A.L..2002. Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries. *Urban Water*. Vol. 4, n. 1, pp 105-114.

Ward, R.C., Loftis, J.C., McBride, G.B. 1990. *Design of Water Quality Monitoring Systems*. Van-Nostrand Reinhold. New York, USA.

World Bank. 2003. *The Little Green Data Book*. World Bank, Washington, DC, USA



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Anexo II-b



Prospecção Tecnológica
Recursos Hídricos

Qualidade da Água Subterrânea

Documento Final

Carlos Eduardo Morelli Tucci
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Departamento de Hidromecânica e Hidrologia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal do Pernambuco

Dezembro, 2003

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	5
2.1 ALGUMAS DEFINIÇÕES	5
2.2 SUSTENTABILIDADE QUANTITATIVA.....	11
2.3 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL.....	14
3. CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	21
3.1 O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E A QUALIDADE DA ÁGUA.....	21
3.2 FONTES DE CONTAMINAÇÃO.....	23
3.3 CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO.....	28
3.4 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO.....	31
3.5 CARACTERÍSTICAS E CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS BRASILEIROS	34
4. GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	40
4.1 CARACTERÍSTICAS DO GERENCIAMENTO.....	40
4.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	43
5. OPORTUNIDADES DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA.....	47
5.1 LINHAS DE PESQUISA	47
5.2.1 Regional	48
5.2.2 Fontes e Contaminação	51
5.2.4 Ferramentas e Produtos.....	54
5.2.5 Gestão.....	55
5.3 MECANISMOS DE INVESTIMENTOS.....	55
5.4 QUESTÕES UTILIZADAS NA DISCUSSÃO.....	56
6. CONCLUSÕES	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano, agrícola e industrial brasileiro tem produzido grandes impactos sobre os mananciais superficiais e subterrâneos. Os impactos são do tipo quantitativo, quando o rebaixamento do nível d'água dos aquíferos ocorre em face da super exploração do manancial e qualitativo quando o manancial é contaminado por poluentes.

Os mananciais superficiais estão extremamente comprometidos pela ação antrópica e existe uma forte pressão sobre o controle dos efluentes que poluem estes mananciais superficiais. Em face disto, uma das alternativas tem sido despejar parte destes efluentes no subsolo, utilizando o mesmo como filtro ou tratamento. Este processo, insustentável num longo período dificulta a fiscalização e relação causa-efeito devido principalmente a forma distribuída que ocorre. A regulação e a gestão dos impactos sobre a qualidade da água subterrânea devido a efluentes agrícolas, urbanos e industriais despejados diretamente nas águas subterrâneas é um dos principais problemas atuais em todo o mundo. Geralmente, esses impactos ocorrem em áreas onde parte da população retira água desses mananciais subterrâneos poluídos para seu uso, gerando riscos e impactos para a saúde.

A capacidade de avaliação desses processos e o seu próprio entendimento exigem uma combinação de conhecimentos sobre hidrogeologia, características de fluidos, composição química da água e suas reações no sistema físico e biológico. Dentro deste contexto é necessário identificar os gargalos de Ciência e Tecnologia que limitam o desenvolvimento de uma gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos tanto quantitativo quanto qualitativo.

Este documento propõe identificar as necessidades de desenvolvimento de conhecimento científico para uma abordagem integrada dos principais tipos de contaminação nas águas subterrâneas, encontrados na realidade brasileira. Na abordagem integrada, os aspectos quantitativos da água subterrânea e seu gerenciamento, também são levados em consideração.

Os objetivos deste documento são de avaliar os fatores determinantes do processo de poluição e contaminação de águas subterrâneas no Brasil e propor ações de Ciência, Tecnologia e Inovação que busquem auxiliar na mitigação desses problemas.

No capítulo seguinte são apresentadas as características quantitativas sobre as águas subterrâneas, no terceiro capítulo os aspectos de contaminação, no quarto capítulo são discutidos os elementos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos e no capítulo 5 são identificados os principais aspectos de Ciência e Tecnologia relacionadas com a qualidade da água subterrânea e as questões propostas para discussão.

Este documento deve ser visto como preliminar, construído com base no conhecimento disponível na literatura, deste consultor e da contribuição de um grupo de pesquisadores consultados durante a sua elaboração.

2. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

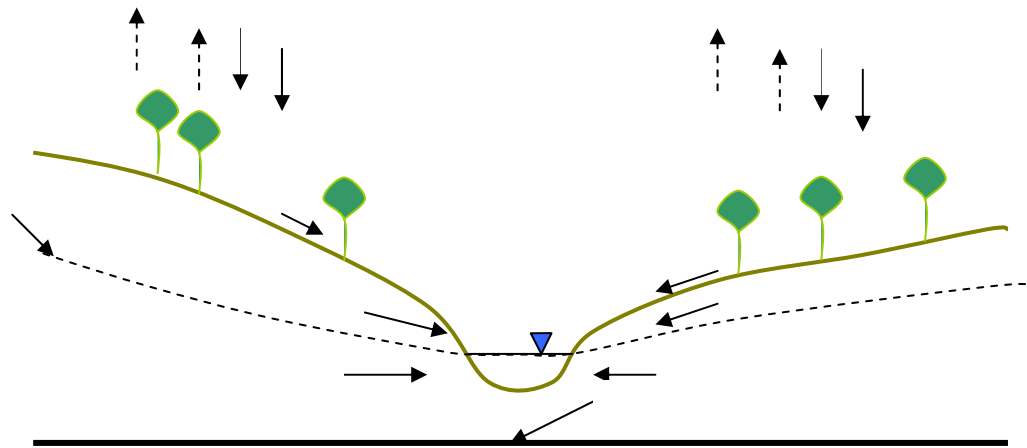
2.1 ALGUMAS DEFINIÇÕES

O escoamento dentro do solo ocorre em duas camadas principais chamadas de (Figura 2.1):

(a) *meio não-saturado*, próximo da superfície onde o solo não está saturado de água e a água escoar por percolação até o meio saturado (aquífero não-confinado) ou de volta para a superfície. Este escoamento é geralmente denominado de escoamento sub-superficial;

(b) *meio saturado*: é a parcela do solo saturada de água que se encontra imediatamente abaixo da zona não saturada, ou que se encontra abaixo de algumas camadas de solo permeáveis ou semipermeáveis. O escoamento que ocorre neste sistema é denominado de escoamento subterrâneo e o volume saturado é chamado de aquífero.

A camada não-saturada possui uma relação direta com os processos de curto prazo ligados ao escoamento superficial enquanto que os processos mais lentos estão relacionados com o escoamento subterrâneo. Devido a isto é que muitas vezes o escoamento não-saturado é muito mais estudado dentro do contexto do escoamento superficial do que do subterrâneo. No entanto, no que se refere à contaminação e à alimentação do aquífero, é um componente ligado ao processo do escoamento subterrâneo.



P = precipitação; E = evapotranspiração; Q_s = escoamento superficial; Q_{ss} = escoamento sub-superficial; Q_b = escoamento subterrâneo.

Figura 2.1 - Sistemas do ciclo hidrológico terrestre.

O hidrograma resultante da precipitação sobre uma bacia hidrográfica representa o somatório dos efeitos dos escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo, como apresentado de forma esquemática na figura 2.2.

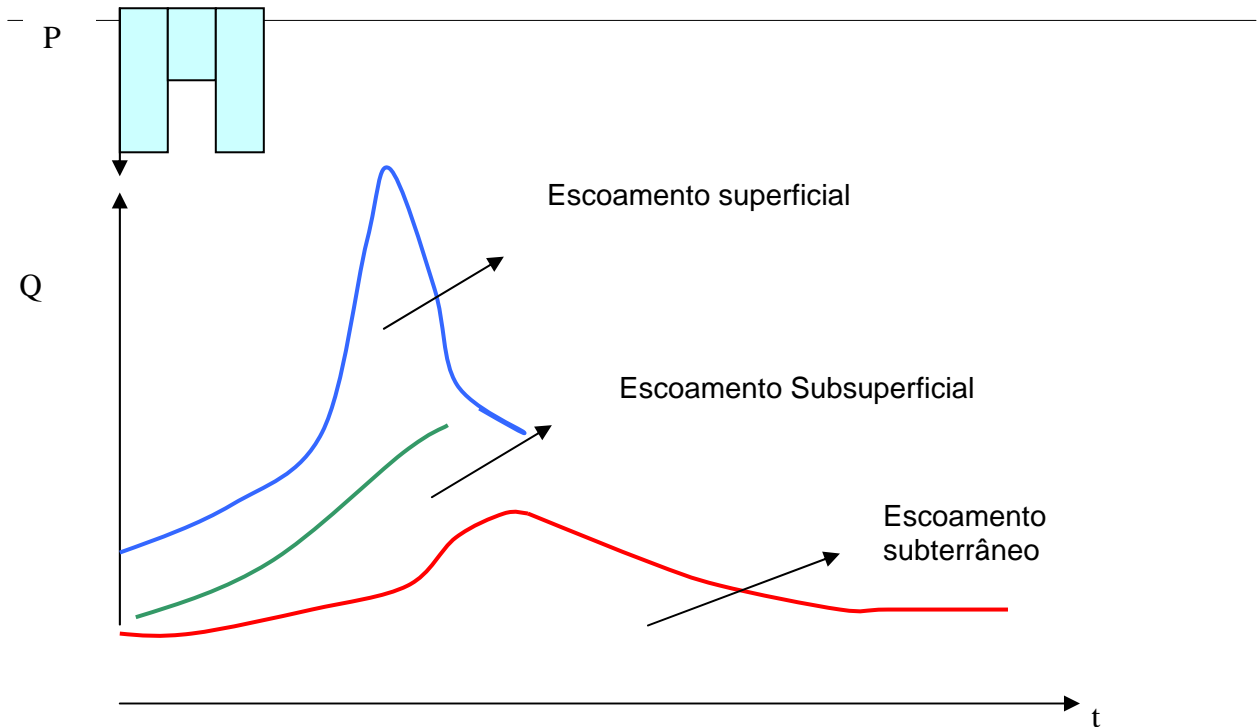


Figura 2.2 - Hidrograma e os escoamentos.

Um *aqüífero* é uma formação geológica capaz de armazenar e suprir com água poços e nascentes. Os aqüíferos possuem duas características fundamentais: capacidade de armazenamento e capacidade de escoamento da água subterrânea (Foster et al, 2003).

Os aqüíferos podem ser classificados de acordo com as características hidrodinâmicas ou de acordo com as características geológicas.

Quanto à primeira classificação (figura 2.3) os aqüíferos são considerados livres (não- confinados ou freáticos), suspenso, confinados e semi confinados (confinados drenantes) (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

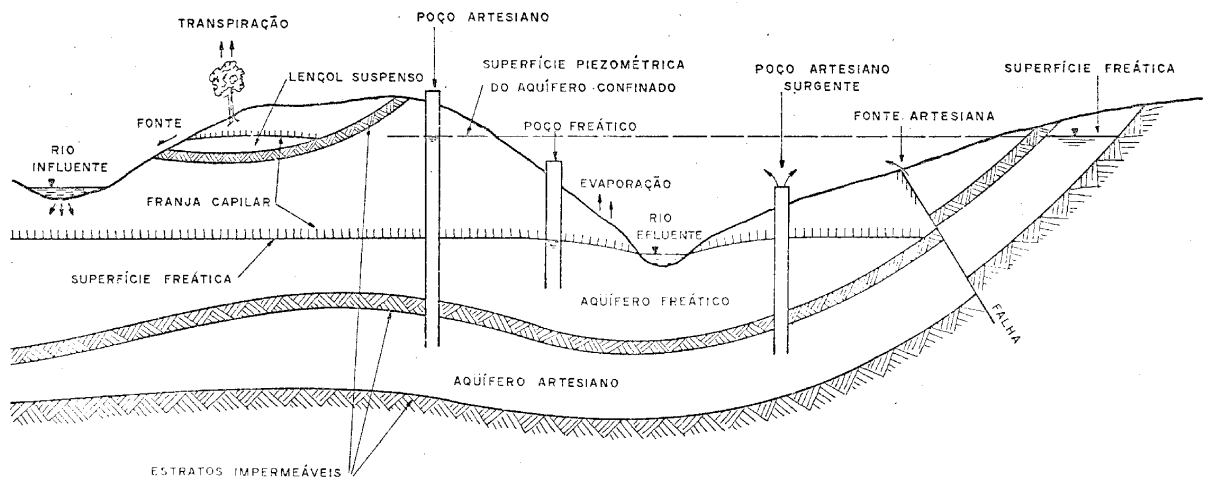


Figura 2.3 - Tipos de aquíferos. Classificação feita de acordo com as características de escoamento da água.

Aquífero livre é aquele que está submetido à pressão atmosférica. Seu limite superior é a superfície freática, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. Geralmente nos aquíferos livres a área de recarga é toda a área do aquífero.

Aquífero suspenso é um caso particular de aquífero livre formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada.

Aquífero confinado é aquele no qual a pressão no topo é maior do que a pressão atmosférica (Caicedo, 1993). Quando as camadas superior e inferior são impermeáveis o aquífero é não-drenante. Se pelo menos uma das camadas limítrofes for semipermeável, o aquífero é chamado de confinado drenante, permitindo a entrada ou saída de água pelo topo e/ou pela base por drenança vertical. Essa camada semipermeável é chamada de *aquitard*.

Ao ser perfurado um poço num aquífero confinado o nível d'água se eleva até a superfície piezométrica (ou potenciométrica) do aquífero. Se a cota piezométrica for superior ao nível do terreno, o aquífero confinado é chamado de artesiano.

Num aquífero confinado a área de descarga pode ficar geograficamente distante dos locais de captação. A proteção das áreas de recarga de um aquífero é um dos principais aspectos na proteção do próprio aquífero quanto à quantidade e qualidade da água.

Quanto às características geológicas, os aquíferos podem ocorrer em camadas sedimentares ou em rochas ígneas ou metamórficas. A seguir são descritos os tipos mais comuns:

Aluvião

No caso de sedimentos não-consolidados destacam-se os aluviões e as dunas. Os depósitos de aluvião formados pelos sedimentos erodidos e transportados nas chuvas torrenciais localizam-se em locais favoráveis a recarga nos talwegues e nos leitos de rios, riachos e lagoas.

Dunas

As dunas são formadas por sedimentos como areia fina e silte que são transportados e depositados pelos ventos. É o caso das formações arenosas nas regiões costeiras, muito comuns no Rio Grande do Norte e no Ceará.

Os aquíferos formados por sedimentos não-consolidados são fáceis de serem perfurados ou escavados, são pouco profundos, possuem alta capacidade de infiltração potencial e conseqüentemente são altamente vulneráveis.

Rocha sedimentar – arenito

As rochas sedimentares formadas pela compactação e cimentação de areias, os chamados arenitos, formam aquíferos regionais que armazenam grandes quantidades de água potável.

A condutividade hidráulica dos arenitos em geral é grande, garantindo condições de um bom aquífero. Se o arenito se apresentar fraturado, a contribuição das fraturas para o armazenamento e o transporte da água, aumentam suas propriedades aquíferas.

Rochas carbonáticas

As rochas carbonáticas ocorrem nas formas de calcáreo ou dolomitas. As rochas carbonáticas apresentam significativa condutividade hidráulica produzida por fraturas resultantes de movimentos tectônicos, ao longo das quais a circulação de água subterrânea atua dissolvendo a calcita e a dolomita, formando os aquíferos cársticos, com grandes vazios que acumulam bastante água. Os aquíferos cársticos em geral são bastante heterogêneos e anisotrópicos.

Cristalino

As rochas ígneas e metamórficas apresentam porosidade primária extremamente baixa. No entanto, em regiões com rocha fraturada, o acúmulo de água é significativo formando o aquífero fissural. O sucesso na locação de um poço, em região cristalina, depende de se conseguir localizar domínios fraturados. No cristalino do semi-árido brasileiro a produção dos poços é de ordem de $2\text{m}^3/\text{h}$. O cristalino, nas regiões úmidas do Sudeste brasileiro, apresenta-se recoberto por um manto de intemperismo e por conta de pluviosidade mais abundante e melhor distribuída, o manto de intemperismo e a zona fissurada são capazes de fornecer vazões bem maiores, com médias de $20\text{m}^3/\text{h}$ (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

No aquífero cárstico e no aquífero fissural, o estudo da propagação de contaminantes deve levar em consideração a existência de caminhos preferenciais que podem propagar plumas de poluentes rapidamente para dentro do aquífero.

A figura 2.4 mostra uma representação simplificada do aquífero sedimentar, aquífero fissural e aquífero cárstico.

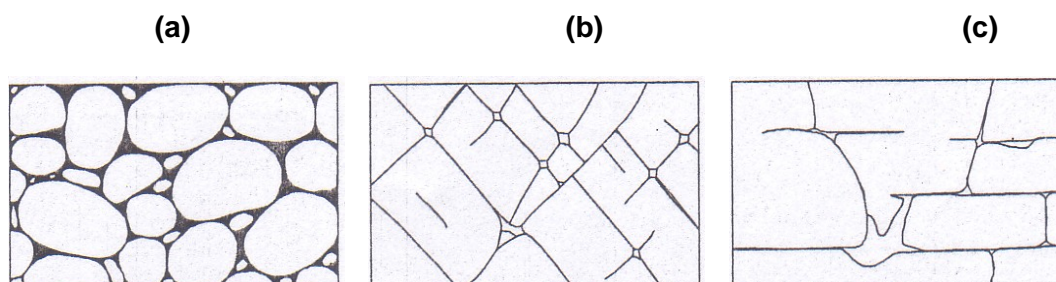


Figura 2.4 – Porosidade em diferentes tipos de aquíferos: (a) rocha sedimentar de granulometria heterogênea; (b) rocha com porosidade secundária devido a fraturas; (c) rocha com porosidade secundária devido a dissolução (Meinzer, 1923 in Custódio & Llamas, 1983).

2.2 SUSTENTABILIDADE QUANTITATIVA

A sustentabilidade quantitativa de um aquífero depende da exploração e da entrada natural de água do aquífero. Como fonte de disponibilidade hídrica é importante entender a sua capacidade de armazenar água e a sua produção através da exploração de poços. Existe um balanço entre a entrada e saída de água no aquífero onde existe uma sustentabilidade quantitativa de longo prazo. A retirada de água dentro de certos limites de exploração pode levar ao rebaixamento do mesmo, mas dentro de limites de sustentabilidade.

O maior bombeamento nos poços pode induzir recargas provenientes de outros aquíferos ou de cursos d'água superficiais. Se o bombeamento for intensificado acima dos limites da recarga induzida pode levar o aquífero a um insustentável cenário de longo prazo que eliminará esta fonte de disponibilidade hídrica (figura 2.5).

A água subterrânea geralmente é uma fonte de água mais segura e confiável que a água superficial. Possui um reservatório natural de regularização e permite a sua utilização e retirada de forma distribuída no espaço. No entanto, existem limites a sua exploração, relacionados diretamente com sua capacidade de recarga.

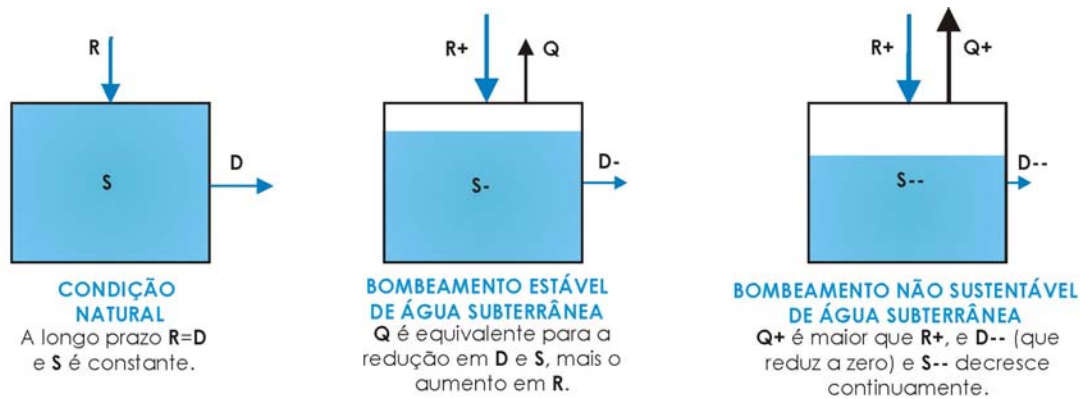


Figura 2.5 - Balanço dos sistemas subterrâneos (Foster et al, 2003)

Na figura 2.6 podem-se observar os hipotéticos estágios de exploração dos aquíferos em função da gestão da água dos mesmos.

No ciclo hidrológico, a água subterrânea é o principal manancial de águas doce em volume no ambiente terrestre. Com raras exceções a água subterrânea é o reservatório natural de água de boa qualidade fundamental para regularizar a disponibilidade de água ao longo do tempo e distribuída espacialmente. Enquanto que a água superficial ocorre principalmente durante o período chuvoso, os aquíferos, além de armazenarem a água em diferentes níveis sustenta a vazão dos rios ao longo do tempo tornando o fluxo perene em grande parte dos rios. Isto ocorre devido a baixa velocidade (1m/dia a 100 m/dia, Tainhoff, 2003) de movimento da água no solo entre diferentes camadas geológicas. Portanto, o tempo do ciclo da água subterrânea não é de dias ou meses, mas de dezenas ou milhares de anos. A diferença entre a água superficial e subterrânea também é devida ao meio físico e químico no qual os fluxos ocorrem e no qual a água é influenciada tanto na velocidade como na sua composição.

Geralmente, a delimitação das bacias hidrográficas, nas quais é realizado o gerenciamento dos recursos hídricos, é realizada tendo como base o escoamento superficial. A delimitação do fluxo e o armazenamento subterrâneo apresentam limites que podem estar fora dos limites superficiais da bacia em função dos condicionantes subterrâneos geológicos.

Nas questões relacionadas à outorga de recursos hídricos, é importante ressaltar a integração entre as águas superficiais e subterrâneas; um bombeamento,

extraindo grandes vazões, próximo de um curso d'água, induz uma recarga do aquífero proveniente das águas do rio, acarretando uma diminuição das vazões mínimas do rio. No processo de outorga das águas superficiais e subterrâneas a análise deve ser feita de forma integrada.

Na figura 2.7, podem-se observar os cenários de interação da água subterrânea e superficial num rio: (a) cenários em que os rios são dependentes do escoamento subterrâneo para torná-lo perene; (b) cenários em que o rio alimenta o fluxo lateral subterrâneo e (c) o cenário ainda mais crítico para o aquífero, onde a fonte de recarga é o rio.

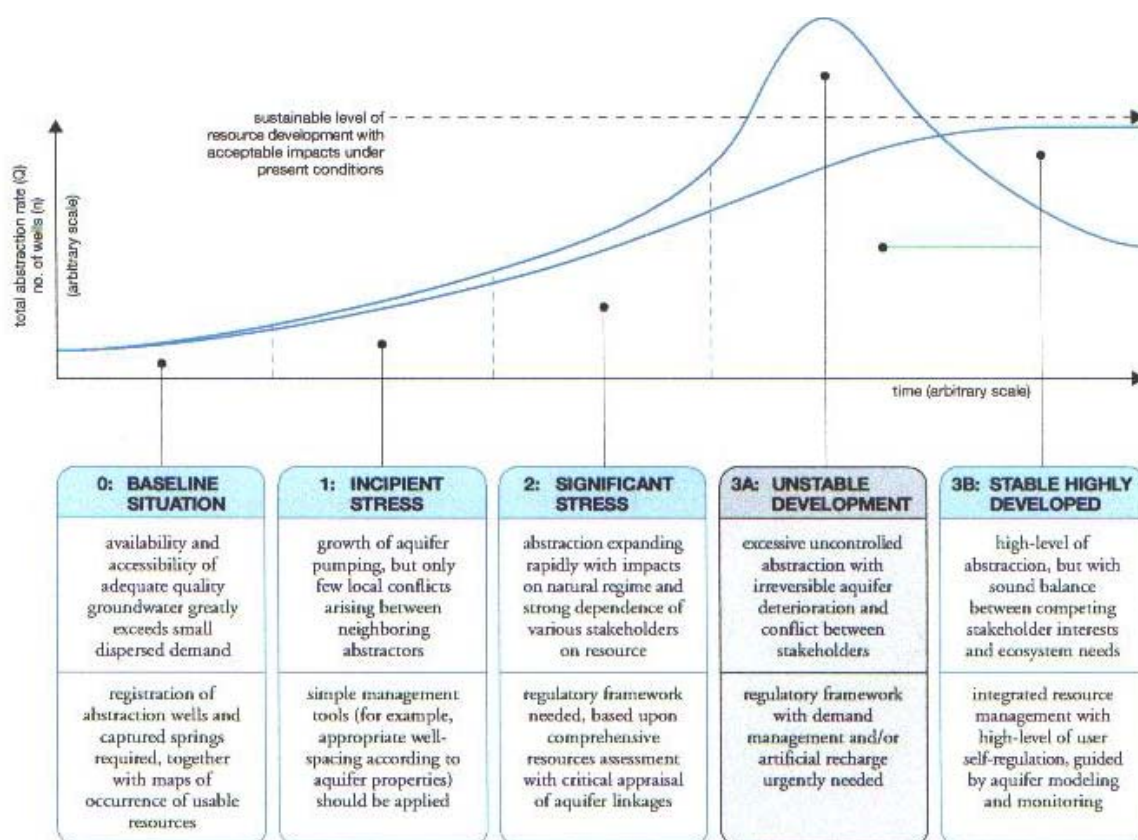


Figura 2.6 - Estágios hipotéticos de desenvolvimento de um aquífero (Tainhof et al, 2003)

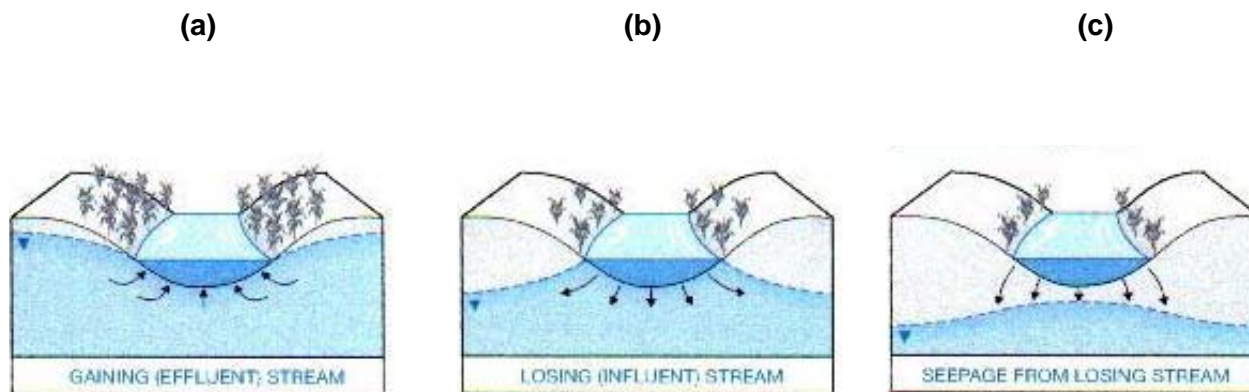


Figura 2.7 - Interações entre os rios e os aquíferos (Tainhoff, 2003)

Na análise da sustentabilidade da exploração de um aquífero em zonas urbanas, um ponto importante é a interferência entre poços. Nos bairros mais populosos, cada prédio de apartamento perfura o seu poço e os cones de rebaixamento se juntam, aumentando o rebaixamento total, reduzindo a vazão obtida em cada poço e gerando conflitos entre os usuários.

A ocorrência e disponibilidade hídrica subterrânea é uma combinação de fatores climáticos e geológicos numa determinada região. Formações rochosas pouco permeáveis geralmente possuem baixa capacidade de armazenamento e a disponibilidade ocorre principalmente nas fissuras. Neste cenário a disponibilidade é fortemente dependente do clima. Nas formações hidrogeológicas sedimentares a potencialidade de armazenamento da água é maior e o reservatório tem condições de regularizar a vazão e ficar menos dependente do clima local.

2.3 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

Este item foi adaptado e reproduzido de MMA (2002). O Brasil pode ser dividido em 10 províncias hidrogeológicas (figura 2.8): Escudo Setentrional, Amazonas, Escudo Central, Parnaíba, São Francisco, Escudo Oriental (Nordeste e Sudeste), Paraná, Escudo Meridional, Centro-Oeste e Costeira. Na figura 2.9 são apresentados os aquíferos que compõem estas províncias, além da delimitação das bacias brasileiras. Quanto a utilização das águas subterrâneas, a Província Hidrogeológica Escudo Oriental do Nordeste – onde está localizada a Região

Semi-Árida – tem pequena disponibilidade hídrica, devido à formação de rochas cristalinas. Nesta região é freqüente se observar o teor elevado de sais nas águas, o que restringe ou impossibilita seu uso. Na Província Hidrogeológica Costeira, os sistemas aquíferos Dunas e Barreiras são utilizados para abastecimento humano nos Estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. O aquífero Açu é intensamente explorado para atender ao abastecimento público, industrial e em projetos de irrigação (fruticultura) na região de Mossoró (RN). O aquífero Beberibe é explorado na Região Metropolitana de Recife por 2 mil poços que atendem condomínios residenciais, hospitais e escolas. O crescimento desordenado do número de poços tem provocado significativos rebaixamentos do nível de água e problemas de salinização do aquífero costeiro em Boa Viagem, no Recife.

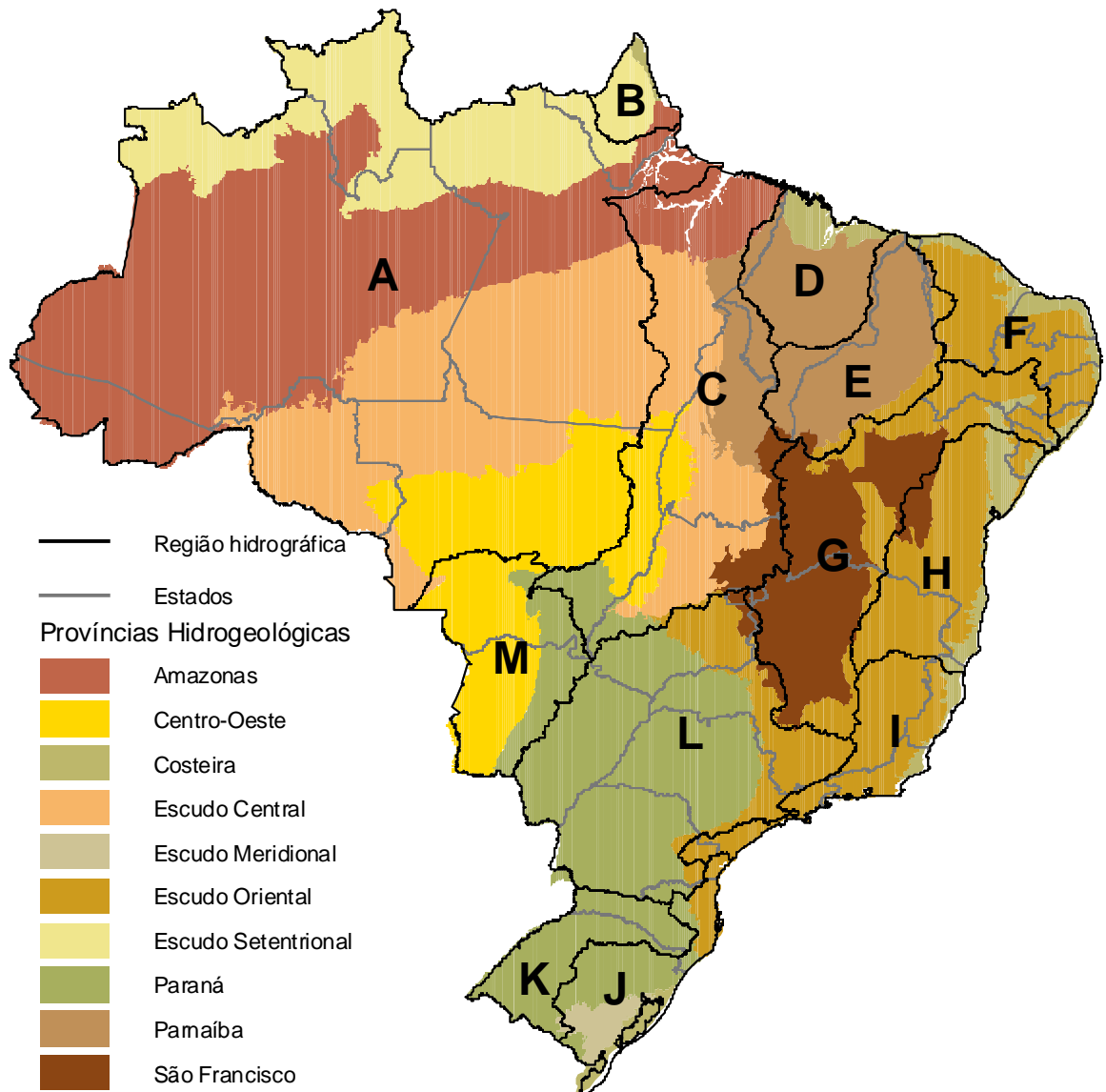


Figura 2.8 - Províncias hidrogeológicas do Brasil (MMA, 2002)

Na Província Hidrogeológica do Paraná, nas regiões hidrográficas do Paraná, Paraguai, Uruguai e Costeira do Sul, está situado o Guarani, um dos maiores sistemas aquíferos do mundo, que apresenta uma área de 1,2 milhões de km² (840 mil km² em território brasileiro) e estende-se por quatro países (Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina). As reservas permanentes do aquífero são da ordem de 45 mil km³. As suas águas são utilizadas para abastecimento humano, como é o caso de Ribeirão Preto (SP), por indústrias e para o lazer (balneários). O aquífero Guarani é objeto de estudos e elevados investimentos por parte dos

quatro países integrantes, que, com o apoio da Organização dos Estados Americanos e do Banco Mundial, estão implementando o Projeto de Proteção Ambiental e Gestão Sustentável Integrada do Sistema Aquífero Guarani.



Figura 2.9 - Principais sistemas aquíferos do Brasil (MMA, 2002)

O volume de água subterrânea no Brasil está estimado em 112 mil km³ (Rebouças, 1988). Há cerca de 300 mil poços tubulares em operação, sendo perfurados mais de 10 mil poços por ano. Cerca de 15,6 % dos domicílios (26,5 milhões de habitantes) utilizam exclusivamente a água subterrânea de poços ou nascentes (IBGE, 2000), A tabela 2.1 mostra a profundidade, a vazão, o desvio padrão da vazão e a capacidade específica dos poços tubulares nos principais sistemas aquíferos, agrupados pelas regiões hidrográficas dominantes. É notória a alta produtividade dos poços localizados nas regiões hidrográficas do Parnaíba

e do Paraná e, a baixa produtividade daqueles situados na região do cristalino semi-árido nordestino. Outro exemplo da variabilidade são as grandes vazões obtidas no aquífero cárstico do Tocantins ($135\text{m}^3/\text{s}$), enquanto no aquífero fraturado, também na Região Norte, as vazões ficam na faixa de $5\text{m}^3/\text{s}$. As potencialidades são bastante variáveis, como se abstrai da verificação do desvio padrão, apresentado na tabela 2.1.

Deve-se ressaltar a importância estratégica dos recursos hídricos subterrâneos, geralmente com qualidades físico-química e biológica muito boas para todos os usos. A exploração de águas subterrâneas vem registrando um expressivo incremento nos últimos anos. Vários núcleos urbanos abastecem-se de água subterrânea de forma exclusiva ou complementar. Indústrias, propriedades rurais, escolas, hospitais e outros estabelecimentos utilizam, com frequência, água de poços profundos. Importantes cidades do País dependem integral ou parcialmente da água subterrânea para abastecimento, como por exemplo: Ribeirão Preto (SP), Mossoró e Natal (RN), Maceió (AL), região metropolitana de Recife (PE), Barreiras (BA). No Maranhão, mais de 70% das cidades são abastecidas por águas subterrâneas. No Piauí, o percentual supera os 80%. As águas subterrâneas termais estimulam o turismo em cidades como Caldas Novas em Goiás, Araxá e Poços de Caldas em Minas Gerais. Além disso, a água mineral atualmente é amplamente usada pelas populações dos centros urbanos pela sua qualidade.

Região Hidrográfica Dominante	Sistema Aquífero	Tipo de Aquífero	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	s (m ³ /h)	q (m ³ /h/m)
Amazonas	Boa Vista	Poroso	36	33	23	1,82
	Alter do Chão	Poroso	133	54	65	1,89
	Solimões	Poroso	56	27	21	3,06
Costeira do Norte	Cristalino Norte	Fraturado	58	5	4	0,06
Tocantins	Barreiras	Poroso	25	18	15	5,35
	Pirabas	Cárstico	220	135	97	11,81
Tocantins/Paraguai	Ponta Grossa	Poroso	150	6	9	0,37
	Furnas	Poroso	124	17	13	1,56
Costeira do Nordeste Ocidental	Itapecuru	Poroso	91	12	13	1,86
Parnaíba	Poti-Piauí	Poroso	226	40	35	2,58
	Cabeças	Poroso	284	50	62	8,18
	Serra Grande	Poroso	172	15	14	2,41
Costeira do Nordeste Oriental	Dunas	Poroso	38	7	5	1,77
	Barreiras	Poroso	43	5	3	0,91
	Açu	Poroso	443	37	42	1,96
	Beberibe	Poroso	246	78	53	3,75
Costeira do Nordeste Oriental/ Costeira do Leste/ São Francisco	Cristalino Nordeste	Fraturado	51	2	3	0,10
São Francisco	Urucuia-Areado	Poroso	89	10	8	0,97
	Bambuí	Cárstico-fraturado	85	14	21	0,52
	Cristalino Centro	Fraturado	85	8	9	0,19
Costeira do Leste	Marizal	Poroso	141	15	10	2,00
	São Sebastião	Poroso	170	40	46	2,37
Costeira do Leste/Costeira do Sudeste/Paraná	Cristalino Sudeste	Fraturado	129	9	10	0,14
Paraguai	Cuiabá	Fraturado	136	19	24	0,57*
	Bauru-Caiuá	Poroso	131	24	17	1,34
Paraná/Uruguai/Costeira do Sul	Guarani	Poroso	263	54	59	2,52
	Serra Geral	Fraturado	123	23	24	3,34
Costeira do Sul	Cristalino Sul	Fraturado	83	8	12	0,12

Prof.: Profundidade média; Q: Vazão média; s: desvio padrão da vazão; q: capacidade específica média para aquíferos porosos e capacidade específica mediana para aquífero fraturados e cárstico-fraturados.

Fonte: DNPM/CPRM, 1983.

Tabela 2.1 - Parâmetros hidráulicos dos poços tubulares nos principais sistemas aquíferos

No Brasil, a água subterrânea ainda tem, regra geral, uma boa qualidade para consumo humano, principalmente. Por sua vez, estima-se que a extração de apenas 25% das taxas anuais de recarga daria para ofertar cerca de 4.000m³/ano, per capita, à sua população, estimada em 170 milhões de habitantes, Figura 2.10, (Rebouças, 2002).

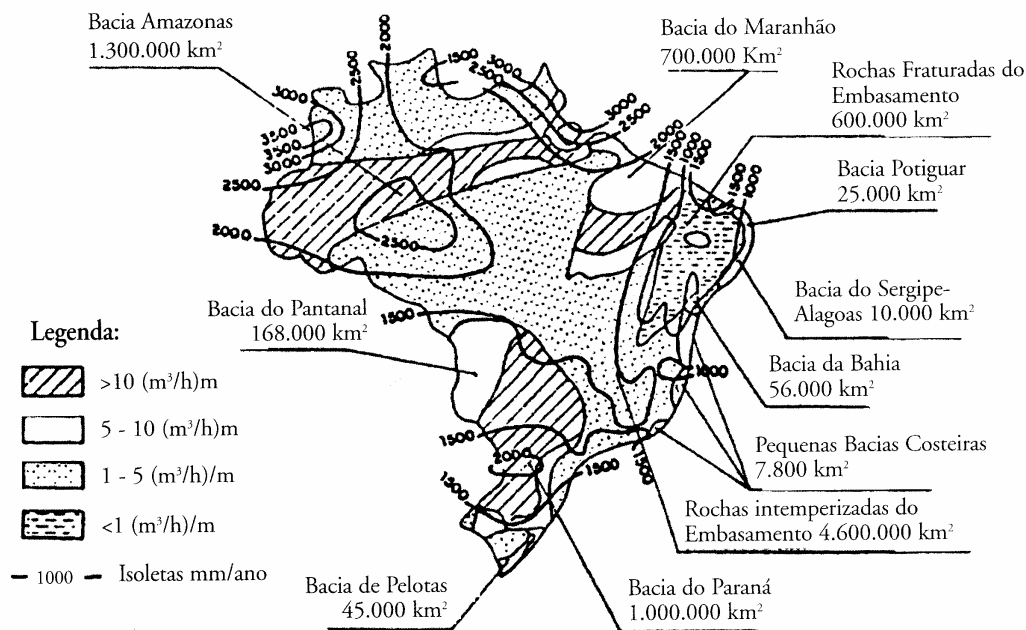


Figura 2.10 - Potenciais de água subterrânea no Brasil (Rebouças, 2002)

A potencialidade de água subterrânea no território nacional varia bastante. Nos aquíferos porosos mais promissores, a capacidade específica pode ser superior a 10m³/h por metro de rebaixamento. Nestas áreas, a possibilidade de obtenção de vazões por poço é entre 250 e mais de 500 m³/h, com o rebaixamento de 50 metros do respectivo nível estático ou nível d'água (NA). O volume produzido por poço, durante 16 horas de operação por dia, seria suficiente para abastecer entre 20 mil e mais de 50 mil pessoas com uma taxa *per capita* de 200 litros/dia.

Nas rochas cristalinas, em regiões úmidas, com espesso manto de alteração, as capacidades específicas variam entre 1 e 5 m³/h.m⁻¹, ou seja, as vazões explotáveis com até 50 metros de rebaixamento do NA do respectivo poço, durante 16 horas/dia de bombeamento, seriam suficientes para abastecer contingentes médios de até 10 mil habitantes.

Apenas no domínio de rochas cristalinas do Nordeste semi-árido, as capacidades específicas são inferiores a 1 m³/h.m⁻¹. Todavia, a produção de 0,5 m³/h, com rebaixamento do nível d'água no poço (NE) de 20 metros e operando 16 horas por dia, daria para abastecer contingentes de até 1.500 pessoas com uma taxa *per capita* de 100 litros/dia.

O Brasil apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos e do seu atual estágio de exploração. Os estudos regionais são escassos e encontram-se defasados. Mais recentemente, a identificação de aquíferos contaminados tem estimulado o desenvolvimento de estudos mais detalhados em áreas freqüentemente pequenas. É imperativo ampliar o conhecimento a respeito das recargas e limites de exploração sustentável dos aquíferos, além das ações necessárias com vistas à proteção dos mesmos. Para subsidiar o desenvolvimento de metodologias adequadas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

3. CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

3.1 O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E A QUALIDADE DA ÁGUA

O desenvolvimento econômico da sociedade moderna tem levado à contaminação das águas superficiais, representada por rios, lagos e reservatórios; águas subterrâneas e o ambiente costeiro. Este processo ocorreu principalmente a partir da metade do século 20, em função do crescimento econômico do pós-guerra. Neste processo mais evidente, observou-se um grande impacto sobre as águas superficiais. Após algum tempo ocorreu a percepção pública que não era possível continuar poluindo as águas superficiais, quando na década de 70 apareceram as primeiras restrições ambientais nos países desenvolvidos, principalmente sobre as águas superficiais. As legislações ambientais passaram a cobrar resultados de tratamento dos efluentes domésticos e industriais (*poluição pontual*) lançada nos rios. Em função destas restrições, parte deste poluente, depois de tratado (muitas vezes sem tratamento) foi lançado nos aquíferos. Como a resposta dos aquíferos à sua contaminação tem um retardo (tabela 3.1) observou-se na década de 80 a 90, nos países desenvolvidos uma crescente avaliação (monitoramento) e busca de mitigação da contaminação na região não-saturada e saturada do solo.

Da mesma forma, o crescente aumento da população urbana tem levado ao somatório de contaminantes, lançado no aquífero, relacionados com o homem urbano, como: fossas sépticas, óleos e graxas de postos de gasolina, depósitos de lixos urbanos, lançamento de resíduos industriais de forma geral. Outra tendência paralela a esta ocorreu na agricultura onde a expansão das fronteiras agrícolas, a produção anual crescentes de novos produtos químicos utilizados na agricultura criaram fontes crescentes e variadas de componentes que contaminam a água superficial e subterrânea. Este novo grupo de contaminados, geralmente de *poluição difusa*, produziu os seguintes problemas para sua avaliação e mitigação:

- Identificação das fontes poluidoras no tempo e no espaço;
- Medidas legais para atribuir ao poluidor a ação de reduzir a emissão de poluição sobre o sistema;
- A identificação da relação causa-efeito para reduzir impactos e atribuir ao culpado as penas e as cobranças devidas;
- A necessidade de transferir para toda a sociedade o ônus de mitigação de grande parte dos custos de avaliação e mitigação dos efeitos.

Na tabela 3.1 pode-se observar a relação temporal e espacial dos efeitos dos impactos ambientais sobre os sistemas hídricos e a capacidade de reversibilidade, de acordo com o tempo. Observa-se que os efeitos sobre a água subterrânea a nível local, nacional e continental ocorrem em períodos de poucos anos até acima de 100 anos, dentro de faixas de reversibilidade (quando em períodos de um a dez anos) e quase irreversibilidade dentro dos cenários de gestão.

A referida tabela mostra uma visão simplificada dos fatos. É verdade que os casos de contaminação são bastante variados e dependem do tipo de contaminante e da geologia da região. Por exemplo, poluição por solventes em aquíferos profundos, mesmo em escala local, não são remediáveis.

Tempo de recuperação \ Escala	Local	Nacional	Continental	Global	Reversibilidade
< 1 ano					Rápida recuperação
1 - 10 anos					Reversível
10 - 100 anos					Reversibilidade limitada
> 100 anos					Irreversível

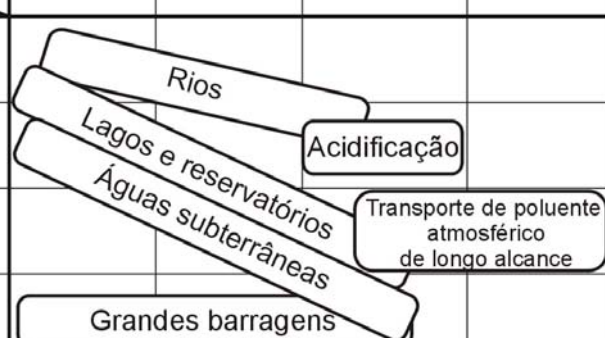


Tabela 3.1 - Representação esquemática da relação entre a escala de espaço dos problemas de qualidade de diferentes sistemas hídricos e o período para a sua recuperação (Chapman, 1996)

Chapman (1996) apresentou quatro fases relacionadas com o problema do desenvolvimento relacionado com a sustentabilidade (figura 3.1). A fase I é representada pela sociedade predominantemente agrícola, em que o nível de poluição cresce quase que linearmente; A fase II apresenta um aumento exponencial da poluição, com aumento do uso industrial e energético (quando a energia é baseada em carvão e óleo); a fase III representa a contenção da poluição por meio de medidas estratégicas (a tendência pode ser insustentável na alternativa de que estas medidas não sejam adotadas); A fase IV redução da poluição, principalmente na fonte, quando entram no foco da poluição difusa.

Neste processo teórico, o Brasil se encontra, infelizmente, na fase III, com tendência pouco sustentável, na medida que praticamente não controla seus efluentes básicos urbanos e industriais. Os efluentes industriais em algumas regiões do país possuem controle, mas para os efluentes urbanos praticamente não existe controle e pouco investimento é realizado na solução deste problema. Portanto, pode-se esperar uma tendência como D1 ou D2 da figura 3.1.

3.2 FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Foi estimado (Pasture, 2003), nos Estados Unidos, que na área rural existem cerca de 181 mil lagoas de resíduos industriais; 16 mil aterros industriais com rejeito perigoso; 18.500 conhecidos aterros municipais; e 20 milhões de sistemas sépticos. Cada ano, 3,5 milhões dos 21 milhões de libras de pesticidas que chega

ao solo chega a água subterrânea ou superficial antes de degradar. Trinta e quatro Estados identificaram a carga agrícola não-pontual como a principal fonte de poluição que impediu atingir os objetivos das metas de qualidade da água estadual. Trinta e nove estados identificaram a carga pontual de água subterrânea como a principal fonte de poluição e os pesticidas e as fossas sépticas como a principal preocupação. Na metade dos anos 70, o elevado nível de nitrato atribuído aos fertilizantes infiltrados começou a ser detectado nas áreas rurais e nas águas subterrâneas. Os nitratos são, especialmente, um problema quando aplicados em solos arenosos e aquíferos não-confinados. Nos anos 80, ocorreram vários incidentes de contaminação de água subterrânea resultante da aplicação de pesticidas. A agricultura tradicional tem produzido 46 diferentes tipos de resíduos de pesticidas na água subterrânea em 26 Estados americanos.

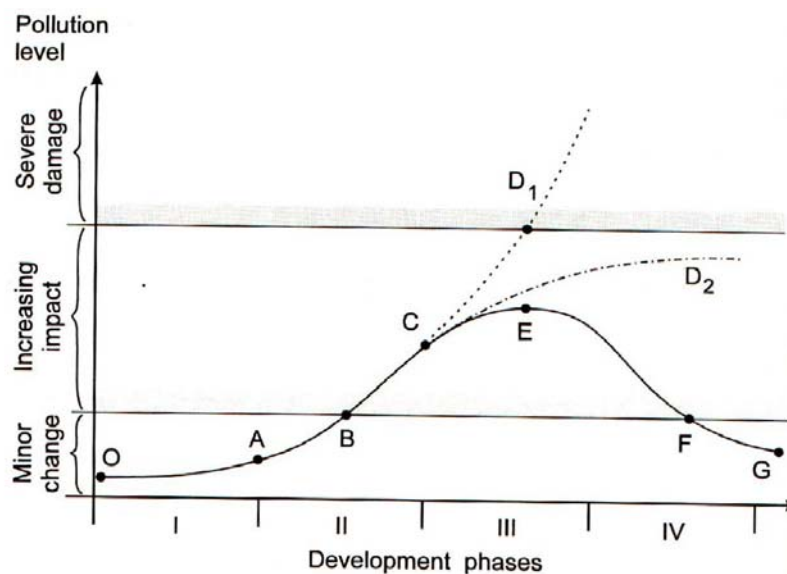


Figura 3.1 - Impacto de longo termo para controle de poluição de sistemas aquáticos (Chapman, 1996)

Dados recentes da EPA indicaram que, dos 45 mil poços, nos Estados Unidos, testados quanto a pesticidas, 5.500 apresentaram níveis acima do recomendado para pelo menos um pesticida, enquanto que 5.500 indicarão traços de 73 diferentes tipos de pesticidas em níveis dentro do recomendável. Destes grupos alguns causam câncer, afetam o nascimento e produzem problemas genéticos. Esta contaminação é mais séria para poços particulares. De acordo com o censo de 1980 sobre fontes de água para a população, mais de 50 milhões de pessoas,

nos Estados Unidos, dependem de água subterrânea para suas necessidades, sendo que 19 milhões retiram água de poços particulares. 65% destas pessoas vivem em áreas onde existe o potencial de contaminação por pesticidas.

Os sistemas de água subterrânea são bem mais resistentes à poluição dos que os de água superficial, pois a camada de solo sobrejacente atua como filtro físico, químico e biológico. No entanto, quando contaminada, tem um custo muito alto de recuperação além de existir também um tempo longo neste processo.

As fontes de contaminação podem ser *pontuais*, quando é possível identificar o local no qual a contaminação está penetrando no aquífero. Alguns exemplos são: fossas de esgotos domésticos, aterros sanitários, vazamentos de depósitos de produtos químicos, reservatórios de efluentes domésticos e industriais. As contaminações *difusas* ocorrem quando a contaminação é distribuída por uma superfície extensa, onde não é possível identificar individualmente cada carga como, por exemplo, a da contaminação por pesticidas na agricultura, os vazamentos que ocorrem na rede cloacal e pluvial de uma cidade, entre outros (figura 3.2).

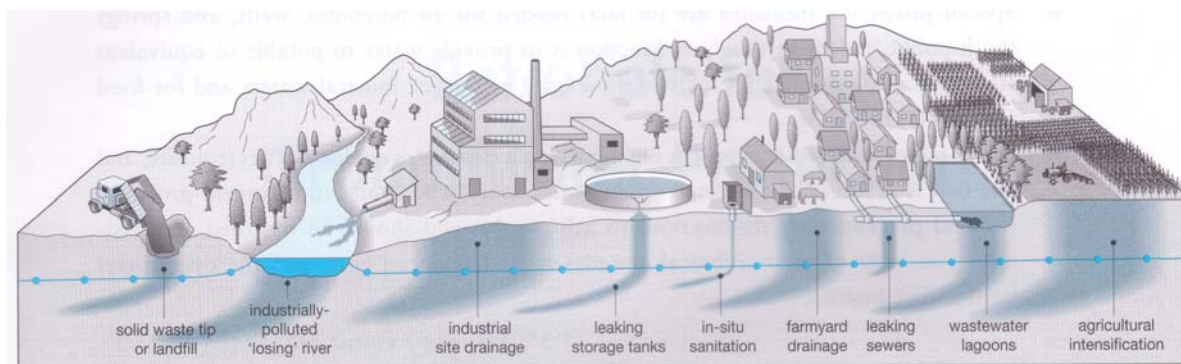


Figura 3.2 - Fontes de poluição (Foster, et al. 2003b)

Na tabela 3.2 são apresentados, de forma geral, as principais fontes de contaminação e o respectivo tipo de contaminante. A sociedade moderna tem cada vez mais se sofisticado na produção de componentes químicos para atendimento de suas necessidades, que geram efluentes. Muitos destes efluentes encontram o caminho dos reservatórios e águas subterrâneas, contaminando-os. Com a evidente poluição dos rios e as medidas mais duras para controle dos

efluentes, as indústrias e a própria sociedade urbana passaram a utilizar os mananciais subterrâneos como alternativa de dispor seus efluentes. O solo é utilizado como filtro dos efluentes *in natura* ou da carga residual resultante de tratamento de efluentes. O resultado deste processo é o retorno dos impactos, com uma defasagem de vários anos, quando o sistema perde sua capacidade de absorver a poluição e passa a transferir para os rios a poluição recebida.

A tabela 3.2 mostra que os principais poluentes são a *agropecuária*, com a poluição difusa do plantio e uso de pesticidas agregado à água que se infiltra no solo, da produção de animais e a industrialização de alimentos; *no meio urbano*, os diferentes tipos de poluentes são transferidos para o subsolo por meio de vazamento no sistema da rede de esgoto, uso das fossas sépticas, depósitos de lixo e/ou rejeitos, postos de gasolina, entre outros. Esta contaminação se distribui por toda a cidade. Muitas cidades brasileiras utilizam a água subterrânea para seu abastecimento em diferentes camadas. Mesmo que a transmissibilidade seja pequena, após alguns anos é possível que a contaminação inviabilize também este manancial.

O desenvolvimento industrial é outra grande fonte de contaminação, mesmo que seu efluente seja tratado, o resíduo é disposto em lagoas ou no solo que contamina, ao longo do tempo, todo o sistema local de águas subterrâneas.

Fonte de poluição	Características	Tipo de contaminante
Agropecuária	<i>Cultivo</i> com: Agroquímicos, irrigação, efluentes de irrigação <i>Criação de animais</i> e produção de alimento: lagoas de efluentes, disposição na terra.	Nitratos, amônia, pesticidas e organismos fecais
Meio urbano	Fossas sépticas e disposição no solo, aterros sanitários, lagoas de tratamento, vazamentos das redes de esgoto e outras, contaminação do escoamento pluvial, perfurações inadequadas de poços, postos de gasolina.	Benzeno, hidrocarbonetos, fenóis, organismos fecais, nitratos, metais.
Desenvolvimento industrial: indústrias de metais, madeira, alimentos, couro, produção de pesticidas, petroquímica	Lagoas de efluentes, infiltração de resíduos, aterros, disposição através de aspersão no solo e por poços, vazamento de sistemas de condutos.	Pentaclorofenol, hidrocarbonetos, benzeno, tricloretileno, tetracloroetileno, zinco, ferro, cobre, fenóis, sulfato, acidez, etc.
Mineração	Efluente da mineração, lagos resultantes da mineração, aterros de rejeitos da mineração.	Acidez, metais, sulfatos, mercúrio, etc.
Manejo da água subterrânea	Intrusão salina, rebaixamento do aquífero com baixa capacidade de diluição, barragem subterrânea.	Sais, aumento da concentração dos poluentes, acidez.

Tabela 3.2 - Fontes e tipos de contaminantes (Foster et al 2003b)

A contaminação industrial e na agropecuária é preocupante em virtude da diversidade e da periculosidade dos contaminantes. Alguns estados brasileiros dispõem de sistemas de fiscalização e monitoramento que ajudam a prevenir e detectar casos de contaminação, mas na maior parte dos Estados, a atuação do órgão ambiental ainda é muito incipiente.

A contaminação de água subterrânea nos centros urbanos ocorre com bastante intensidade em quase todos os Estados brasileiros. A falta de saneamento básico, vazamento de redes de esgoto, lixões e aterros sanitários contribuem para a poluição bacteriológica e físico-química: nitratos, metais e outros compostos. Vazamentos de postos de combustíveis contribuem com hidrocarbonetos em geral e com os chamados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno).

A mineração, apesar de não ser a principal causa, é uma das fontes de impactos das águas superficiais e subterrâneas. A recuperação destes sistemas é um processo lento e de grandes custos. No Sul do Brasil, algumas áreas de

mineração em Santa Catarina, perto de Criciúma, depois de 10 anos de exploradas ainda apresentam alto nível de acidez, inviabilizando o seu uso.

O manejo da água subterrânea em áreas costeiras e no semi-árido são causas freqüentes de aumento de salinização de mananciais. A retirada excessiva de água nos sistemas costeiros permite a salinização por avanço da cunha salina, por transferência vertical, proveniente de aquíferos salinizados, ou por infiltração em mangues e estuários. No semi-árido, a salinidade ocorre principalmente devido às excessivas taxas de evapotranspiração, em que a água, ao se transferir para a atmosfera em forma de vapor, deixa os sais no solo e nas águas subterrâneas, exigindo melhores técnicas de manejo para não intensificar os problemas.

Quando se analisam as condições para a exploração sustentável dos aquíferos, uma outra preocupação é o risco de subsidência dos solos devido às altas taxas de bombeamento e rebaixamento excessivo do lençol. No caso de poços rasos próximos de fundações diretas de edifícios, o bombeamento pode carrear os finos do solo, reduzindo a capacidade de suporte do solo e causando danos estruturais nos prédios. No caso de poços profundos, o rebaixamento excessivo alivia a pressão da água, conseqüentemente aumentando a carga sobre os grãos do subsolo e acarretando um deslocamento vertical. Além disso, se o subsolo for formado de camadas intercaladas de areia e argila, o bombeamento nas camadas aquíferas arenosas acarreta a lenta drenagem das argilas e sua compactação. Neste caso de rebaixamento devido ao bombeamento em poços profundos, a subsidência de solos ocorre lentamente ao longo de muitos anos e pode ocorrer em bairros inteiros. Em alguns países, tem sido observada subsidência de algumas dezenas de centímetros após anos de bombeamento.

3.3 CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO

A combinação das características do meio físico, da biota e do tipo de contaminação e da interdependência entre os meios e processos faz de cada sistema uma realidade única que necessita muitas vezes de soluções combinadas

para a busca de sua sustentabilidade. Portanto, para melhor entender e buscar soluções é necessário conhecer cada um destes componentes.

Os condicionantes dos aquíferos são os seguintes (Poluição, 2003):

(a) Tipo de aquífero: os aquíferos freáticos ou não-confinados são mais vulneráveis do que os confinados ou semi-confinados. Aquíferos porosos são mais resistentes dos que os fissurais, e entre estes os mais vulneráveis são os cársticos;

(b) Profundidade do nível estático (espessura da zona de aeração): como esta zona atua como um reator físico-químico e biológico, sua espessura tem papel importante. Espessuras maiores permitirão maior tempo de filtragem, além do que aumentarão o tempo de exposição do poluente aos agentes oxidantes e adsorventes presentes na zona de aeração;

(c) Permeabilidade da zona de aeração e do aquífero: a permeabilidade da zona de aeração é fundamental quando se pensa em poluição. Uma zona de aeração impermeável ou pouco permeável é uma barreira à penetração de poluentes no aquífero. Aquíferos extensos podem estar parcialmente recobertos por camadas impermeáveis em algumas áreas, enquanto em outras acontece o inverso. Estas áreas de maior permeabilidade atuam como zonas de recarga e têm uma importância fundamental em seu gerenciamento. Por outro lado, a alta permeabilidade permite uma rápida difusão da poluição. O avanço da mancha poluidora poderá ser acelerado pela exploração do aquífero, na medida que aumenta a velocidade do fluxo subterrâneo em direção às áreas onde está havendo a retirada de água. No caso de aquíferos litorâneos, a super exploração poderá levar à ruptura do frágil equilíbrio existente entre água doce e água salgada, produzindo o que se convencionou chamar de intrusão de água salgada;

(d) Componentes do solo e da contaminação: a lista de contaminantes da água subterrânea é longa. Alguns ocorrem naturalmente em algumas áreas, como o arsênico, o sal em grandes concentrações é um contaminante. A água subterrânea tende a ser mais salina que a água

superficial, mas não é necessariamente água salgada. Outros contaminantes naturais são o sódio, boro, nitrato, enxofre, magnésio e cálcio;

(e) *Teor de matéria orgânica existente sobre o solo*: a matéria orgânica tem grande capacidade de adsorver uma gama variada de metais pesados e moléculas orgânicas. O plantio direto, que produz aumento da infiltração e percolação, tem diminuído a quantidade de nitrato e sedimentos carregados para os cursos d'água;

(f) *Tipo dos óxidos e minerais de argila existentes no solo*: sabe-se que estes compostos, por suas cargas químicas superficiais, têm grande capacidade de reter uma série de elementos e compostos. Na contaminação de um solo por nitrato, o manejo de fertilizantes, com adição de gesso ao solo, facilita a reciclagem do nitrogênio pelos vegetais e a penetração do nitrato no solo é menor. Da mesma forma, a mobilidade dos íons nitratos é muito dependente do balanço de cargas. Solos com balanço positivo de cargas suportam mais nitrato;

(g) *Reações químicas e biológicas*: um poluente após atingir o solo, poderá passar por uma série de reações químicas, bioquímicas, fotoquímicas e inter-relações físicas com os constituintes do solo antes de atingir a água subterrânea. Estas reações poderão neutralizar, modificar ou retardar a ação poluente. Em muitas situações, a biotransformação e a decomposição ambiental dos compostos fitossanitários podem conduzir à formação de produtos com uma ação tóxica aguda mais intensa ou, então, possuidores de efeitos injuriosos não caracterizados nas moléculas precursoras. Exemplos: dimetoato, um organofosforado, degrada-se em dimetoxon, cerca de 75 a 100 vezes mais tóxico. O malation produz, por decomposição, o 0,0,0-trimetilfosforotioato, que apresenta uma ação direta extremamente injuriosa no sistema nervoso central e nos pulmões, provocando hipotermia e queda no ritmo respiratório;

(h) *Os processos que agem sobre os poluentes que atingem o solo* podem ser agrupados nas seguintes categorias: adsorção-desorção;

ácido-base, solução-precipitação, oxidação-redução, associação iônica (complexação), síntese celular microbiana, decaimento radioativo.

A poluição capaz de atingir as águas subterrâneas pode ter origem variada. Considerando que os aquíferos são corpos tridimensionais, em geral extensos e profundos, diferentemente, portanto dos cursos d'água, a forma da fonte poluidora tem importância fundamental nos estudos de impacto ambiental.

3.4 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO

O risco ou perigo da contaminação de um aquífero tem sido baseado na vulnerabilidade do aquífero e na existência de carga potencialmente poluidora (Foster, 2003) (vide terminologia apresentada na tabela 3.3). A *vulnerabilidade* é estabelecida pelas condições específicas do aquífero, que poderá ou não estar contaminado. Um aquífero que tenha alta vulnerabilidade deve ser preservado. Portanto, comparando com águas superficiais, a vulnerabilidade de um aquífero é um conceito contrário ao da capacidade de absorção ou diluição de um rio.

Existem diversos métodos para avaliar a vulnerabilidade de um aquífero (EPPNA, DRASTIC, GOD, AVI, SINTACS, IS) (LNEC, 2003). Entre estes métodos, os mais usados no Brasil são o método GOD (Foster, 1987) que se baseia na ocorrência de água subterrânea (Groundwater occurrence), na classificação do aquífero (Qverall aquifer class) e na profundidade do topo do aquífero (Depth to groundwater table) e o método DRASTIC (Aller et al, 1987) que se baseia na profundidade do topo do aquífero (Depth to water), na recarga do aquífero (Net Recharge), no material do aquífero (Aquifer media), no tipo de solo (Soil media), na topografia (Topography), na influência da zona não saturada (Impact of the unsaturated media), e na condutividade hidráulica do aquífero (Hydraulic Conductivity of the aquifer). Nestes métodos, a cada parâmetro é atribuído um valor e o resultado do conjunto representa o índice de vulnerabilidade.

Por exemplo, a figura 3.3 apresenta o método GOD onde o índice de vulnerabilidade pode ser obtido pela análise das características hidráulicas de confinamento, do estrato rochoso e da profundidade do lençol freático, por meio do uso de geoprocessamento.

Em outro exemplo, a figura 3.4 mostra que a infiltração da contaminação da superfície pode transportar pelo aquífero a concentração de poluente. Isto geralmente ocorre em função das condições de difusão e dispersão do fluxo subterrâneo e pode levar muito tempo até que ocorra, dependendo da distância e dos parâmetros das diferentes camadas do solo. Sobre estas áreas perigosas, geralmente, são tomadas medidas de gerenciamento para controle das fontes de poluição e recuperação da contaminação existente, principalmente quando o manancial é uma fonte de abastecimento.

O zoneamento das áreas em função das condições de contaminação e o uso da água correspondente dependem de ferramentas apropriadas para previsão e quantificação dos impactos e do monitoramento dos resultados ao longo do tempo.

Termo	Definição
Vulnerabilidade à poluição	Sensível à contaminação, determinado pelas características naturais do estrato geológico que forma o confinamento ou a zona vadosa do aquífero.
Carga contaminante	Carga de poluição lançada no solo e/ou subsolo que poderá atingir o aquífero.
Risco de poluição da água subterrânea	Probabilidade de que a água subterrânea será poluída com concentrações acima do recomendável, para padrões de água potável, quando a carga de um contaminante é lançada na superfície. O risco de poluição depende da vulnerabilidade do aquífero e da existência de carga contaminante.

Tabela 3.3 - Terminologia de avaliação dos aquíferos (Foster et al, 2003)

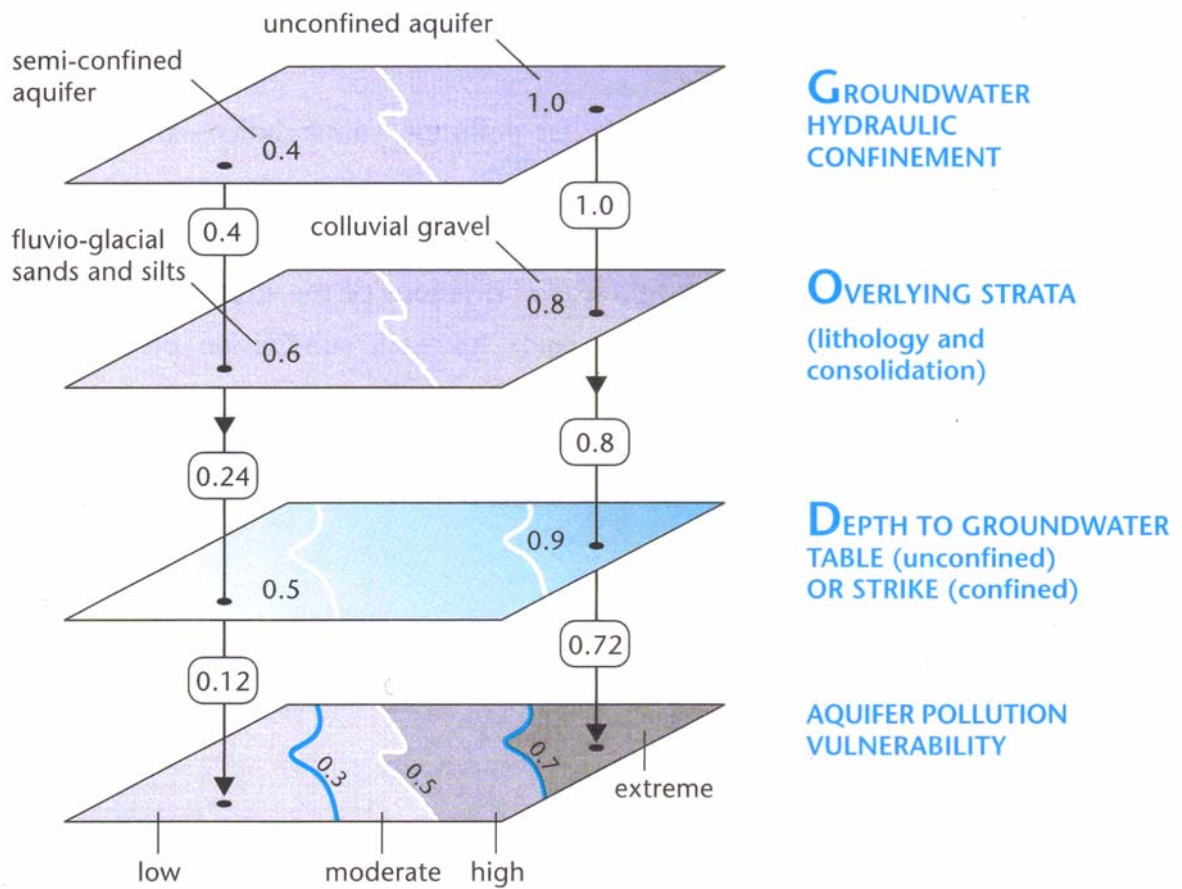


Figura 3.3 - Mapeamento de indicadores de vulnerabilidade (Foster et al 2003b)

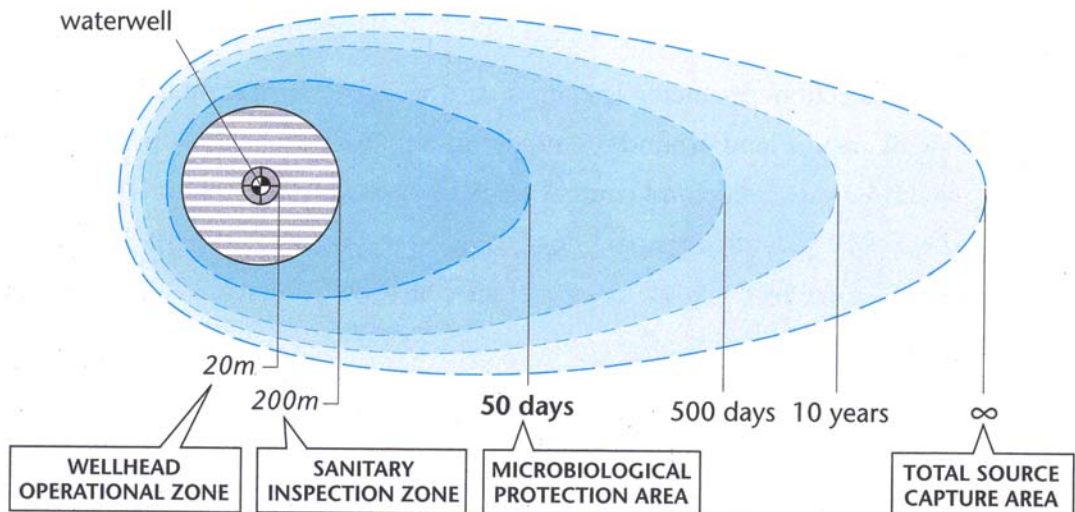


Figura 3.4 - Áreas de influência, monitoramento e controle (Foster et al, 2003b)

Além da proteção do aquífero como um todo, é importante proteger as captações. Os perímetros de proteção das captações são bastante utilizados em todo o mundo, adotando a idéia de evitar os elevados custos e dificuldades associados para a remediação de aquíferos. Existem diversos métodos de delimitação de perímetros de proteção de poços (LNEC, 2003), e os mais usados são os do Raio fixo, Raio fixo calculado, Método de Wyssling, Método de Krijgsman e Lobo Ferreira, Método numérico ASMWIN.

O conceito de perímetro de proteção é delimitar uma área de superfície e subsuperfície envolvendo um poço ou bateria de poços destinados ao abastecimento humano, onde atividades potencialmente perigosas de produzir poluição da água subterrânea são limitadas, proibidas ou regulamentadas de forma progressiva.

3.5 CARACTERÍSTICAS E CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS BRASILEIROS

Para caracterizar a contaminação, pode-se ordenar o tema com base nas fontes de contaminação ou nas características dos aquíferos. No entanto os condicionantes problemáticos estão geralmente nas áreas vulneráveis, sujeitas às principais contaminações identificadas. Alguns dos principais sistemas são:

Aquíferos urbanos: essa classificação, diferentemente das que vêm a seguir, não se refere às características geológicas e climáticas, mas se relaciona ao uso do aquífero. Os aquíferos existentes nas grandes cidades apesar de apresentarem características geológicas diferentes de um lugar para outro, apresentam entre si semelhança em diversos aspectos. O solo, em grande parte das cidades, encontra-se impermeabilizado, o que reduz a recarga direta por infiltração da chuva, mas em compensação ocorre recarga, devido às perdas na rede de distribuição de água, que muitas vezes supera a faixa dos 30% dos volumes aduzidos para as cidades. A super exploração e a interferência dos cones de rebaixamento dos poços são problemas comuns nos bairros de maior densidade demográfica nas cidades. De uma forma generalizada, as camadas superiores dos aquíferos urbanos encontram-se contaminadas por vazamentos de esgotos

domésticos, lixiviados de depósitos de lixo e vazamentos de postos de combustíveis.

Aqüíferos costeiros: são aqueles situados em planícies próximas ao mar ou grandes lagos salgados. Os aquíferos costeiros estão sujeitos a salinização por intrusão da cunha salina ou por outros processos, e a contaminação pela super exploração e pela contaminação das cidades, já que grande parte da população brasileira se encontra próxima da costa.

O escoamento subterrâneo de água doce que vem do continente encontra a água salgada que infiltra a partir do mar ou do lago. Devido à diferença de densidades entre os dois tipos de água, ocorre uma estratificação, ficando a água doce por cima e a salgada por baixo (figura 3.5). O gradiente do continente deve ser suficiente para evitar a penetração da água salgada. Quando sua carga é reduzida ocorre a penetração da água salgada tornando imprópria ao seu uso. Esta carga pode ser reduzida pela retirada excessiva de água por poços urbanos, o que acontece em cidades litorâneas, como Recife, que tem problema de abastecimento de água.

Somado à salinização, os aquíferos costeiros sofrem forte impacto da grande concentração de população no litoral, em função da vulnerabilidade natural destes sistemas e pela pressão sobre o seguinte:

- Forte demanda de água, por perfuração de poços, que permite a intrusão salina, salinizando a água ou a contaminando em função de outras entradas de efluentes;
- Pela excessiva quantidade de cargas de poluição das cidades, tais como fossas sépticas, redes de esgotos, postos de gasolina, aterros sanitários, além da potencial de carga industrial de grandes centros junto ao mar.

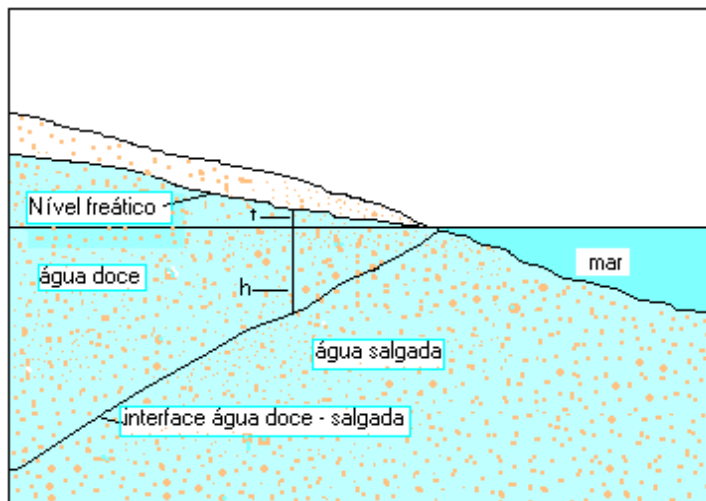


Figura 3.5 - Características dos aquíferos costeiros (Costeiro, 2003)

Estes dois processos exigem uma gestão mais eficiente no controle para evitar que se tenha como manancial uma fonte fortemente contaminada. Várias cidades do litoral, como Maceió, Natal, Aracaju, entre outras, retiram água de mananciais subterrâneos para o seu abastecimento.

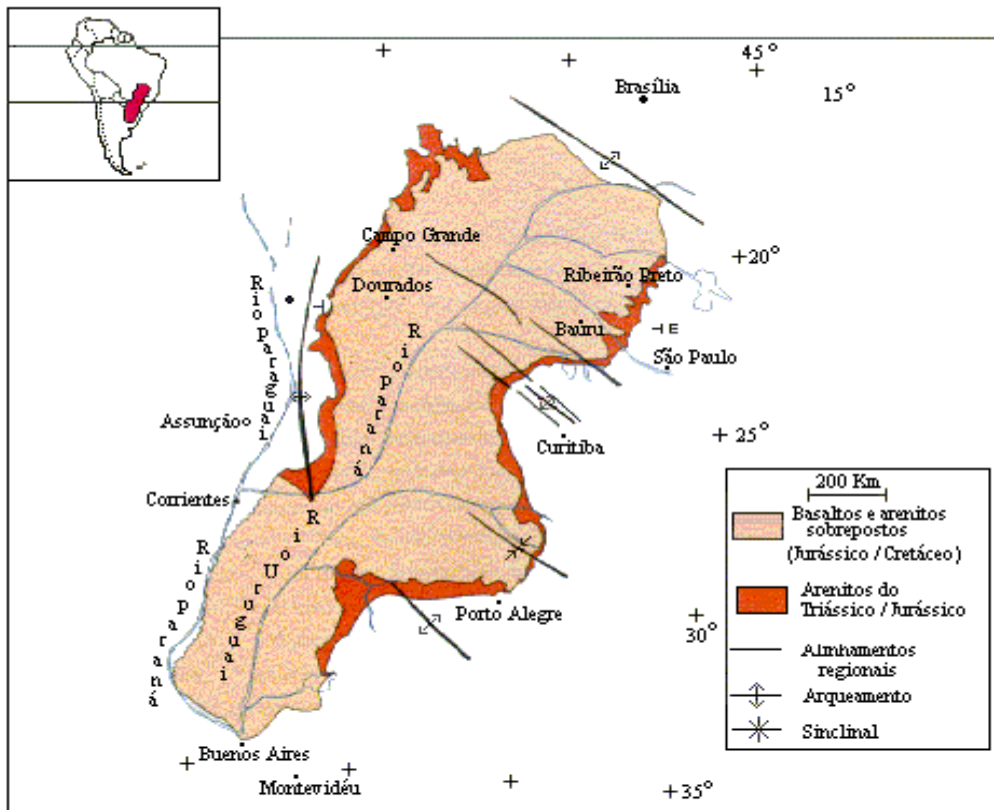
Sistema Aquífero Guarani: O termo aquífero Guarani foi utilizado como uma forma de unificar a nomenclatura de um sistema aquífero comum a parte da América do Sul. O termo utilizado no Brasil era Botucatu e o nome Guarani foi utilizado em homenagem a tribo de índios Guaranis. Na figura 3.6 pode-se observar a distribuição do aquífero que ocupa 1,4 milhões de km², sendo 80% em território brasileiro (Guarani, 2003).

O aquífero é constituído de várias rochas sedimentares pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná. Das rochas que compõem o aquífero, a mais importante é o arenito Botucatu, de idade triássico superior a jurássico inferior (190 milhões de anos atrás). Este arenito foi depositado em ambiente desértico, o que explica as características que fazem dele um ótimo reservatório de água: os grãos sedimentares que o constituem são de uma grande homogeneidade, havendo pouco material fino (matriz) entre os mesmos. Isto confere a este arenito alta porosidade e alta permeabilidade (fonte). Sua espessura média é de cerca de 100 metros, havendo locais onde chega a 130 metros. O arenito Botucatu está exposto à superfície nas regiões marginais da Bacia Sedimentar do Paraná. À

medida que caminhamos para as partes centrais desta Bacia, isto é, para o interior dos Estados do sul, este arenito vai ficando cada vez mais profundo, tendo a lhe recobrir espessas camadas de rochas vulcânicas basálticas, e outras camadas de arenitos mais recentes.

A região onde o arenito Botucatu aflora constitui os locais de recarga do aquífero. Nas regiões onde o mesmo está recoberto pelas rochas vulcânicas, não há recarga e o sistema está confinado, ou seja, é artesiano, chegando a profundidades de até 1500 m. Apesar desta profundidade, como é um sistema confinado, nos poços que alcançam esta profundidade, a água sobe chegando a pouco menos de 100 metros da superfície, havendo locais onde a pressão é suficiente para que a água jorre espontaneamente pela boca do poço.

Este aquífero é responsável por cerca de 80 % do total da água acumulada na Bacia sedimentar do Paraná. Os poços apresentam vazão que pode ultrapassar os 500 m³/h, com um rebaixamento de somente 150 m.

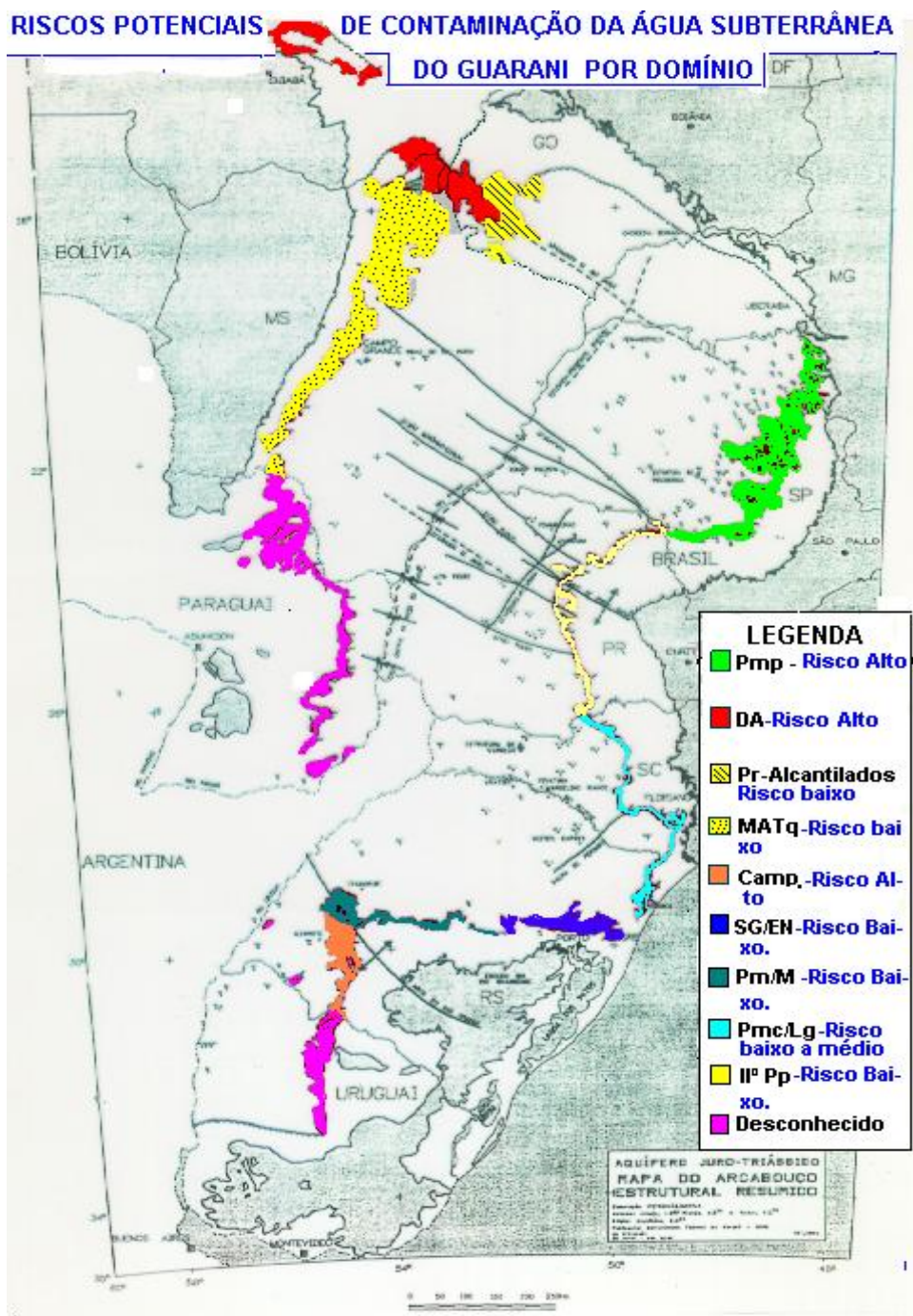


Localização e Geologia do Aquífero Botucatu (Fonte: Rocha, G.A., Mega Reservatório de Água Subterrânea do Cone Sul, Seminário "Aquífero Gigante do Mercosul", Maio / 1996.)

Figura 3.6 - Localização do aquífero Guarani

O teor médio de sólidos totais dissolvidos está ao redor de 200 mg/L, boa para consumo humano. Contudo alguns poços perfurados no Estado do Paraná forneceram água com teor elevado de flúor (12 mg/L) o que a torna inviável para uso humano, mas tudo indica que esta não é a química predominante da água do aquífero. Considerando que a área de recarga coincide com importantes áreas agrícolas brasileiras, onde se tem usado intensamente herbicidas, é de se esperar que são necessárias medidas de controle, monitoramento e redução da carga de agrotóxicos, sob pena de se vir a ter sérios problemas de poluição. Os potenciais impactos são: *uso descontrolado e excessivo, poços abandonados e vedação.*

A Embrapa (2002), a partir de estudos anteriores e da base disponível de informações, desenvolveu um mapa de vulnerabilidade apresentado na figura 3.7.



Pmp - Planalto médio paulista; **DA** - Depressão Araguaia; **Pr Alcantilados** - Planaltos rebaixados Alcantilados; **MATq** - Médio/Alto Taquari; **Camp** - Campanha; **SG/EN** - Serra Gaucha/Encosta Nordeste; **Pm/M** - Planalto médio/Missões; **Pmc/Lg** - Planalto médio catarinense/Litoral gaúcho; **IIº Pp** - Segundo Planalto paranaense.

Figura 3.7 - Mapa de vulnerabilidade do aquífero Guarani (Embrapa, 2002).

Aqüíferos no Semi-Árido Nordeste: é formado por sistemas sedimentares profundos, aluviões e cristalino. O primeiro tipo de aquífero possui boa capacidade de armazenamento e produção de água, como por exemplo, a região de Mossoró (RN) e a região do Vale do Guruguéia (PI). Os aquíferos de aluviões, formados por sedimentos recentes, são de menor potencial e em algumas regiões se encontram salinizados ou podem ser salinizados devido à gestão da água. O aquífero do tipo cristalino possui baixa capacidade de produção de água, que ocorre principalmente no sistema de fratura. Isto limita seu uso e torna muito cara a exploração para a população.

O uso de barragem subterrânea de forma difusa em grande parte desta região permitiu o aumento da disponibilidade e regularização da água distribuída em pequenas quantidades para atendimento da população rural de baixa renda. No entanto, é necessário o manejo adequado deste tipo de sistema para evitar a salinização da reserva e em alguns casos evitar a contaminação a partir da agricultura e outras contaminações como, por exemplo, fossas rurais.

4. GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 CARACTERÍSTICAS DO GERENCIAMENTO

A necessidade de gerenciamento da água subterrânea somente ocorre depois que o problema ocorre, ou seja, devido a um grande rebaixamento do aquífero ou quando a sua água é contaminada. Se este processo continua, o impacto em quantidade e/ou qualidade será evidente (círculo vicioso, figura 4.1a).

O gerenciamento de um aquífero é um processo mais amplo que envolve vários componentes relacionados como: avaliação e prognóstico (tecnológico); legal, gestão pública e privada, participação pública e gerenciamento do risco e avaliação econômica e ambiental (socioeconômico) (figura 4.1b).

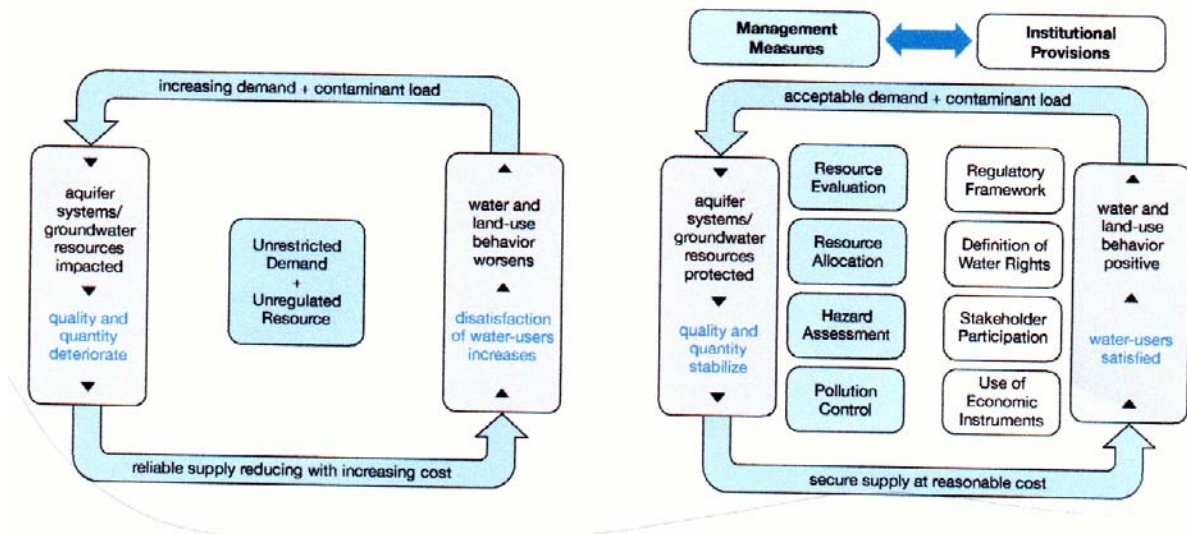


Figura 4.1 - Na figura da esquerda o processo de gestão é insustentável o que requer a gestão sustentável do fluxo da figura da direita.

O gerenciamento deste problema é muito mais o de atuar sobre as pessoas do que, essencialmente, um problema técnico. Os aspectos sócio-econômicos tornam-se fundamentais e devem ter uma forte integração com o conhecimento técnico de água subterrânea (figura 2.6, capítulo 2).

Na tabela 4.1 é apresentado um resumo das ferramentas, instrumentos institucionais e ações de gerenciamento recomendadas para cada um dos estágios observados na figura 2.6.

GROUNDWATER MANAGEMENT TOOLS & INSTRUMENTS	LEVEL OF DEVELOPMENT OF CORRESPONDING TOOL OR INSTRUMENT (according to hydraulic stress stage/see Figure 3)			
	0	1	2	3
TECHNICAL TOOLS				
Resource Assessment	basic knowledge of aquifer	conceptual model based on field data	numerical model(s) operational with simulation of different abstraction scenarios	models linked to decision-support and used for planning and management
Quality Evaluation	no quality constraints experienced	quality variability is issue in allocation	water quality processes understood	quality integrated in allocation plans
Aquifer Monitoring	no regular monitoring program	project monitoring, ad-hoc exchange of data	monitoring routines established	monitoring programs used for management decisions
INSTITUTIONAL INSTRUMENTS				
Water Rights	customary water rights	occasional local clarification of water rights (via court cases)	recognition that societal changes override customary water rights	dynamic rights based on management plans
Regulatory Provisions	only social regulation	restricted regulation (e.g. licensing of new wells, restrictions on drilling)	active regulation and enforcement by dedicated agency	facilitation and control of stakeholder self-regulation
Water Legislation	no water legislation	preparation of groundwater resource law discussed	legal provision for organization of groundwater users	full legal framework for aquifer management
Stakeholder Participation	little interaction between regulator and water users	reactive participation and development of user organizations	stakeholder organizations co-opted into management structure (e.g. aquifer councils)	stakeholders and regulator share responsibility for aquifer management
Awareness and Education	groundwater is considered an infinite and free resource	finite resource (campaigns for water conservation and protection)	economic good and part of an integrated system	effective interaction and communication between stakeholders
Economic Instruments	economic externalities hardly recognized (exploitation is widely subsidized)	only symbolic charges for water abstraction	recognition of economic value (reduction and targeting of fuel subsidies)	economic value recognized (adequate charging and increased possibility of reallocation)
MANAGEMENT ACTIONS				
Prevention of Side Effects	little concerns for side effects	recognition of (short- and long-term) side effects	preventive measures in recognition of <i>in-situ</i> value	mechanism to balance extractive uses and <i>in-situ</i> values
Resource Allocation	limited allocation constraints	competition between users	priorities defined for extractive use	equitable allocation of extractive uses and <i>in-situ</i> values
Pollution Control	few controls over land use and waste disposal	land surface zoning but no proactive controls	control over new point source pollution and/or siting of new wells in safe zones	control of all point and diffuse sources of pollution; mitigation of existing contamination

Tabela 4.1 - Gerenciamento da água subterrânea (Tainhof et. Al, 2003), dentro dos diversos estágios de exploração apresentados na figura 2.6 no capítulo 2.

4.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Definições

Segundo a resolução 15 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos: *águas subterrâneas* são as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo; *águas meteóricas* são as águas encontradas na atmosfera em quaisquer de seus estados físicos; *aqüífero* é o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos; *corpo hídrico subterrâneo* – volume de água armazenado no subsolo.

Legislação federal de águas

A Constituição Federal, art. 26, I, dispendo que são bens dos Estados, entre outros, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósito, exceto as decorrentes de obras da União.

O texto legal básico que criou a Política Nacional de Recursos Hídricos é a Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997. Esta política se baseia nos princípios de Dublin, ou seja: (a) a água é um bem de domínio público; (b) a água é um recurso limitado, dotado de valor econômico; (c) estabelece a prioridade para o consumo humano; (d) prioriza o uso múltiplo dos recursos hídricos; (e) a bacia hidrográfica como a unidade de planejamento; (f) gestão descentralizada.

Os principais instrumentos da Política são os Planos, enquadramento dos rios em classes, outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água. Os Planos devem englobar os Planos Estaduais e os Planos de Bacias. Estes planos devem buscar uma visão de longo prazo, compatibilizando aspectos quantitativos e de qualidade da água. O enquadramento trata da definição da compatibilidade da qualidade da água e os usos da mesma, buscando a minimização dos impactos de qualidade da água. O processo de outorga trata de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. O sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos é composto pelo Conselho

Nacional de Recursos Hídricos, Conselhos Estaduais, Comitê de Bacias e Agências de Água.

A lei também estabelece que o mecanismo de gestão descentralizada ocorrerá por intermédio do Comitê de Bacia com o apoio de agência executiva. A Lei Federal nº 9984, de 17 de julho de 2000, dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), entidade de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Algumas das principais atribuições da ANA são: outorgar o direito de uso dos recursos hídricos em rios de domínio da União; prevenção contra secas e estiagens; fiscalizar os usos de recursos hídricos em rios de domínio da União; estimular a criação de comitês de bacias. No que se refere à energia hidráulica, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) deverá promover junto à ANA, a prévia obtenção de declaração de reserva de disponibilidade hídrica.

A ANA está ligada ao Ministério de Meio Ambiente. Este ministério através da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) estabelece as políticas de recursos hídricos e ações como o Plano Nacional de Recursos Hídricos. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos é o órgão deliberativo do setor em nível federal. Este Conselho é constituído por membros federais (em sua maioria), representantes dos Estados, ONGs, setores usuários da água e entidades de pesquisa.

A resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, legisla sobre águas subterrâneas. A resolução estabelece alguns princípios de associação entre as águas superficiais e subterrâneas e promoção integrada dos recursos superficiais e subterrâneos. Também estabelece que os Planos Estaduais e de bacias devem contemplar alguns aspectos mínimos sobre as águas subterrâneas como: dados, enquadramento dos mananciais, cobrança pelo uso das águas e sobre o sistema de informações. Os planos e sistemas devem buscar a visão integrada, uso racional e normas para fiscalização e controle dos mananciais subterrâneos. Toda e qualquer interferência nestes sistemas deve ser precedido de avaliação ambiental, cadastramento das empresas de exploração de água subterrânea e apresentar informações sistemáticas. Os poços jorrantes deverão ser dotados de dispositivos de controle

para evitar desperdícios, sujeitos a sanções legais e os poços abandonados devem ser protegidos.

Outorga e cobrança

A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos foi estabelecida na Lei 9.433, art. 14, em que se especifica que a mesma será efetivada por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal. No art. 12, a referida lei dispõe que estão sujeitos a outorga: (I) a derivação ou captação de água superficial ou subterrânea para consumo final, ou para insumo de processo produtivo; (II) o lançamento de esgotos resíduos líquidos e gasosos, tratados ou não, para fins de diluição, transporte ou disposição final; (III) o aproveitamento hidrelétrico das águas e qualquer outro uso das mesmas que altere o regime, quantidade ou qualidade das águas de um rio.

A outorga poderá ser suspensa, parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, quando não forem cumpridos pelo outorgado os seus termos. Estas condições são: ausência de uso por três anos consecutivos; necessidade premente de água para atendimento de condições adversas; manter a navegabilidade do rio. Esta outorga não poderá ser concedida por prazo que exceda 35 anos, mas passível de ser renovada. A outorga não implica a alienação das águas, mas o direito de uso.

A cobrança pelo uso da água na outorga foi prevista na Lei 9.433, art. 20. Os recursos resultantes da cobrança devem ser aplicados, prioritariamente, nas bacias hidrográficas em que foram gerados. Neste ano de 2003 o processo de cobrança foi iniciado no rio Paraíba do Sul mediante um processo de declaração dos usuários, quanto ao uso da água, cabendo, à fiscalização da ANA, a comprovação das declarações por meio de amostragem.

No âmbito de meio ambiente, a licença ambiental é definida pelo Estado, quando a parcela da bacia em estudo se encontra dentro do Estado e de outro lado. Quando parte da bacia ou do rio em questão se encontre em mais de um Estado, a licença é concedida pelo Ibama.

Existem tabelas com padrões de potabilidade vigentes no país e no exterior. A Cetesb fez um bom trabalho de compilação da legislação de outros países e elaborou um relatório orientador para análise da poluição de solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo (Cetesb, 2001). Nesse trabalho foram estabelecidos valores de referência, valores de alerta e valores de intervenção para uma série de compostos químicos contaminantes.

Na proteção de solos e águas subterrâneas, a publicação da Cetesb considera como valor de referência os valores de um solo limpo e da qualidade natural das águas subterrâneas. Para valores de alerta foram indicados limites a partir dos quais é necessário fazer monitoramento em caráter preventivo. Para valores de intervenção, foram indicados limites acima dos quais existe risco potencial à saúde humana e torna-se necessário interceptar as vias de exposição e atuar em caráter corretivo. Para valores de intervenção, a Cetesb, considera para as águas subterrâneas, os padrões de potabilidade da Portaria 36 de 1990, atualizados pela Portaria 1469 de 2000, ambas do Ministério da Saúde.

Padrões de qualidade da água

Os padrões de qualidade ambiental das águas visam fundamentalmente a proteção da saúde pública e o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde do homem, como microorganismos patogênicos, substâncias tóxicas ou venenosas e elementos radiativos.

Os exames de controle ambiental das águas são físicos, químicos, microbiológicos e bacteriológicos. Os limites máximos admissíveis para os parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e bacteriológicos, em geral, são aperfeiçoados à medida em que as pesquisas e técnicas analíticas permitam que sejam estabelecidas formas mais precisas de controle ambiental.

A legislação brasileira de controle ambiental da qualidade da água baseia-se em usos da água e seus correspondentes limites de aceitação de poluição e/ou contaminação. Estes limites foram estabelecidos, na sua maioria, em países de características ambientais bem diferentes das nossas, o que pode levar a avaliações equivocadas para alguns elementos em certos casos.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) nº 20, as águas doces, segundo seus usos preponderantes, são classificadas em quatro classes destinadas ao abastecimento doméstico, que é onde as águas subterrâneas podem ser encaixadas.

5. OPORTUNIDADES DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

5.1 LINHAS DE PESQUISA

A contaminação das águas subterrâneas e a sustentabilidade deste manancial é um problema comum da sociedade moderna internacional. A combinação intrínseca entre as fontes de poluição, a vulnerabilidade dos aquíferos e as ações de gestão são os fundamentos necessários para a busca de soluções que conservam estes mananciais. As oportunidades de CT&I se encontram justamente no aumento do conhecimento que melhor fundamente as ações gerenciais para atingir esses objetivos da sociedade.

As oportunidades de CT&I foram identificadas e são analisadas dentro do seguinte escopo:

Capacitação e infra-estrutura: é muito reduzido o número de profissionais que atuam na área de hidrogeologia e contaminação no Brasil. Observa-se que esta é uma área interdisciplinar em que profissionais com formação em geologia, química, biologia e engenharia atuam. O número de programas de pós-graduação que possui linhas de pesquisa dentro deste âmbito é reduzido e normalmente se resume a um professor por instituição. A infra-estrutura de laboratório para análise química e biológica é muito pequena e geralmente exige altos investimentos.

Caracterização e avaliação: o conhecimento do meio físico é essencial na tomada de decisões para o uso e proteção dos aquíferos. É necessário continuar e aprofundar os estudos de caracterização dos aquíferos brasileiros com pesquisas de campo, bem como avaliação de parâmetros hidrogeológicos, elementos

imprescindíveis para a análise quantitativa do comportamento de poluentes no subsolo.

Previsão e mitigação: o conhecimento dos sistemas naturais e antrópicos, relacionado com os sistemas de águas subterrâneas, é fundamental para melhor prever os impactos, gestão da água em quantidade e qualidade e a busca de mitigação dos efeitos. Dentro deste contexto, a busca de metodologias de monitoramento e quantificação dos processos torna-se fundamental.

Gestão integrada de aquíferos: o desenvolvimento do conhecimento pode ser realizado de acordo com as fontes de contaminação, tipo de aquífero, dentro do cenário brasileiro, condição climática como semi-árido e cerrado onde o abastecimento depende muito das reservas, usos dos recursos hídricos, técnicas ou áreas de conhecimento. Analisando, isoladamente, cada um destes componentes, não é possível obter produtos que atuem sobre o conjunto integrado deste tipo de sistema. Desse modo, o desenvolvimento do conhecimento deve buscar obter soluções específicas para uma visão integrada dos problemas da sociedade. A gestão integrada envolve, portanto, a definição legal, sistema de outorga e cobrança, participação pública, gestão pública e privada.

5.2 FOCOS DE PESQUISA

Os conjuntos de focos de pesquisa a seguir destacados procuram buscar objetivar a combinação dos aspectos acima identificados dentro da realidade brasileira:

5.2.1 Regional

- i. *Gestão dos aquíferos no semi-árido:* o sistema sedimentar e cristalino necessita de uma gestão sustentável que envolva: (a) exploração de quantidade; (b) preservação da qualidade quanto a salinização; (c)

recuperação pela dessalinização e disposição do rejeito dentro de um ambiente sustentável; (d) sustentabilidade de qualidade da água dos sistemas de cisternas e fossas das comunidades rurais; (e) desenvolvimento de experiências pilotos de uma visão integrada da água dentro da comunidade. Os elementos científicos e tecnológicos dentro deste componente são de avaliar os processos existentes, propor medidas mitigadoras e criar base de conhecimento para a tomada de decisão.

Alguns dos tópicos inter-relacionados com o tipo de geologia são:

- *Sistema Aquífero Cristalino (fissural)*: Neste sistema, que ocupa cerca de 50% da Região Semi-Árida do Nordeste, o principal problema diz respeito à salinidade natural, que torna a água imprópria para o consumo humano e a irrigação. No âmbito dessa questão alguns dos focos de pesquisa são: (a) investigações sobre a composição química das águas do cristalino, fortemente relacionada à geologia local, de modo a se chegar a classificações regionalizadas, em função dos tipos e teores de sais, de possíveis usos das águas salobras e de tipos de tratamento que possam ser empregados; (b) pesquisa de métodos de atenuação da salinidade natural, seja através do uso de dessalinizadores de menor custo de aquisição e manutenção (pela substituição de componentes importados e diminuição do consumo de energia); seja através do manejo apropriado do aquífero fissural, no que tange à circulação e à recarga (exploração intensiva e indução de recarga); (c) pesquisa sobre métodos para locação de poços, identificando locais mais promissores em termos de quantidade e qualidade de água.

- *Sistema Aquífero Aluvial (poroso)*: A água desse sistema, geralmente apropriada à maioria dos usos, inclusive para o consumo humano, tende a ter sua qualidade afetada pelo manejo do aquífero, principalmente para fins de irrigação. Este problema requer investigações nas seguintes direções: (a) Estudos da influência da construção e do manejo de barragens subterrâneas, no aumento da salinidade natural das águas subterrâneas aluviais; (b) Pesquisa dos efeitos poluidores da prática da agricultura irrigada estabelecida diretamente sobre o aquífero aluvial, empregando ou não adubos e defensivos agrícolas. Estes estudos poderão envolver tanto a propagação de poluentes

no fluxo subterrâneo, métodos de atenuação e eliminação, como a capacidade de auto-depuração do meio.

- *Sistema Aquífero Sedimentar (poroso, profundo)*: Existe mapeamento hidrogeológico das áreas sedimentares no Nordeste. No entanto, é necessário detalhar a ocorrência de rochas sedimentares e avaliar melhor suas potencialidades. Alguns problemas destes aquíferos são o desperdício de água no vale do Gurguéia, rebaixamentos acentuados na região de Mossoró e proteção das áreas de recarga.
- ii. *Aquíferos no cerrado*: A hidrogeologia do Cerrado brasileiro é pouco conhecida, considerando a climatologia regional com seis meses sem precipitação, a expansão econômica principalmente da agropecuária tende a impactar os mananciais superficiais e subterrâneos. A recomendação dentro desta linha é de buscar melhor definir os parâmetros de avaliação dos aquíferos regionais para estimativa da vulnerabilidade e melhor identificar e estabelecer os riscos associados. Este componente está diretamente ligado as linhas de pesquisa para melhor identificar a contaminação dos aquíferos a partir da agricultura.
- iii. *Sistemas costeiros*: as cidades brasileiras na costa apresentam vários exemplos de sistemas vulneráveis e sujeitos a um forte risco de contaminação. Esta linha deve procurar estabelecer alguns projetos pilotos para permitir desenvolver ferramentas de avaliação (modelos de quantidade e qualidade), monitoramento, zoneamento, experiências sobre gestão e mitigação e procedimentos que apoiem a tomada de decisão. Alguns dos aspectos específicos são: (a) desenvolvimento de zoneamento de áreas de risco e vulneráveis para cidades costeiras; (b) desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas para avaliação das condições de intrusão salina e das medidas de mitigação.
- iv. *Aquífero Guarani*: A região na qual se encontra este aquífero é uma das mais desenvolvidas no país, apresenta forte demanda pela água e tem alto potencial de contaminação. Alguns dos aspectos importantes são: (a) a identificação das áreas de recargas e aprimoramento da avaliação de vulnerabilidade; (b) distribuição e potencialidade dentro de uma visão

espacial e sua integração com o desenvolvimento socioeconômico regional por meio de um zoneamento; (c) origem e distribuição do flúor no sistema; (d) outras características da qualidade da água; (e) interação entre seus limites e a Serra Geral; (f) mecanismos legais e institucionais de apoio à gestão de um aquífero transfronteiriço. Existe um projeto internacional do Global Environment Facility (GEF), com a participação da ANA, em que existe um componente científico sobre este sistema hídrico.

- v. *Aquíferos na Região Norte:* Na Região Norte tem sido relatado casos de contaminação por nitratos nos aquíferos em áreas urbanas. Um tema de pesquisa interessante na região são os processos de atenuação natural da poluição por esgotos domésticos, levando em conta a umidade e temperatura local e os microorganismos existentes nos solos e subsolos da região.

5.2.2 Fontes e Contaminação

- i. *Contaminação de fertilizantes e pesticidas na agricultura:* o conhecimento sobre as características dos diferentes tipos de plantios e a contaminação da água subterrânea é ainda muito limitado no país. Desde 1994 existe uma grande expansão da área de plantio através do plantio direto que tem como característica reduzir o escoamento superficial, favorecendo a infiltração e o escoamento sub-superficial e subterrâneo. Em face disto, é razoável supor que os mananciais subterrâneos podem aumentar a sua contaminação a partir deste processo. Portanto, é recomendável que ocorram investimentos em monitoramento experimental, em projetos pilotos, que identifiquem o nível de contaminação, os tipos de compostos químicos, e sua reação com o meio, dentro de diferentes ambientes amostrais da realidade brasileira na agricultura como: tipo de geologia, clima e práticas agrícolas. Devem-se buscar também medidas de práticas agrícolas que busquem minimizar estes impactos dentro de uma visão

gerencial destes mananciais. No caso da indústria sucro-alcooleira, é recomendável analisar os efeitos da vinhaça utilizada na fertirrigação.

- ii. *Contaminação devido à criação de animais* – suínos e aves: parte importante do país (Oeste de Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Goiás) possui criação de animais para o abate, em minifúndios terceirizados pelas indústrias de alimentos. É notório o aumento da poluição difusa resultante destas práticas. O que não se conhece é o grau de contaminação da água subterrânea regional. Dentro dos programas de investimentos, nas práticas de melhoria da qualidade da água superficial, é necessário incorporar o entendimento e a mitigação do impacto sobre as águas subterrâneas.
- iii. *Mineração*: a mineração de carvão no Sul do Brasil tem produzido ambientes degradados que representam fortes passivos ambientais das águas superficiais e subterrâneas. Existe pouco conhecimento sobre a qualidade do sistema superficial-subterrâneo e medidas que permitam recuperar os lagos e os aquíferos.
- iv. *Aterros sanitários*: uma das importantes fontes de contaminação existente nas cidades brasileira é o aterro sanitário. Pesquisas sobre o processo de contaminação dos aquíferos através do chorume e os diferentes níveis de contaminação considerando medidas de contaminação permitirão orientar melhor o projeto destes sistemas em diferentes realidades climáticas, geológicas, entre outros.
- v. *Contaminação de pólos industriais e petroquímicos*: No país já existem vários pólos industriais com idade suficiente para permitir conhecer estas experiências quanto à contaminação das águas subterrâneas ao longo do tempo, considerando que os mesmos possuem monitoramento em função da fiscalização. A avaliação destes resultados poderá permitir aprimorar as ferramentas de previsão e aprimorar as medidas de controle utilizadas. Quais são as medidas de gestão de segurança que devem ser adotadas?
- vi. *Contaminantes orgânicos não miscíveis (e.g. combustíveis)*: transporte, ocorrência, forma de detecção e métodos de remediação desse tipo de

contaminação. Nesta classe estão os problemas de contaminação urbana devido a postos de gasolina, lagoas de rejeito e de tratamento de compostos orgânicos, entre outros.

- vii. *Contaminação dos aquíferos urbanos:* os aquíferos urbanos geralmente são contaminados por fossas sépticas e vazamento de redes de esgoto. Como as cidades apresentam diferentes níveis de desenvolvimento de controle da qualidade da água é necessário conhecer os diferentes graus de contaminação como resultado de gestão dos efluentes urbanos. Da mesma forma estes elementos podem permitir a tomada de decisão de ações de controle que permitam a recuperação ou a mitigação dos efeitos, dentro do uso e conservação do manancial.

5.2.3 Proteção de Recarga e Captações

- i. *Recarga de aquíferos:* o reuso da água ou combinação de água urbana e rural permite a recarga de aquíferos. No entanto, é necessário avaliar de forma adequada este processo para evitar que os mesmos sejam contaminados. Nos Estados da Califórnia, Arizona e Nevada, uma grande parte de esgotos domésticos é reutilizada, após tratamento adequado, para recarregar aquíferos com os objetivos seguintes: (a) evitar a penetração de cunha salina em aquíferos costeiros; (b) evitar a subsidência do solo quando se exerce uma grande demanda de aquíferos com pequena capacidade de recarga natural; c) proporcionar tratamento adicional através da camada não-saturada acima do aquífero e; (d) aumentar a disponibilidade de água. A recarga, muitas vezes, dependendo de condições logísticas locais e poderá eliminar a necessidade de adutoras para o transporte de água para distribuição. Israel, Holanda e França também utilizam recarga artificial para finalidades diversas. A recarga artificial pode ser efetuada através de poços de injeção direta ou por bacias ou quaisquer outros sistemas de infiltração. No caso de poços, os custos são bastante elevados, integrando os do próprio poço, mais o de

tratamento avançado, necessário para evitar a poluição do aquífero. No Brasil, já iniciamos a metodologia de infiltração através de bacias de infiltração, que se beneficia do chamado Tratamento solo-aquífero que utiliza a grande capacidade de remoção de poluentes da camada vadosa. Nesse caso os custos são menores, uma vez que se faz apenas um tratamento secundário permitindo que o solo exerça o tratamento complementar necessário.

- ii. *Proteção de captações:* algumas vezes os próprios poços atuam como caminho de transporte dos poluentes, devido a falhas de projeto, falhas de execução, problemas de manutenção ou abandono dos poços. Temas de pesquisa podem ser: a delimitação de perímetros de proteção de poços adequados à realidade brasileira, melhoramento dos projetos de poços, materiais mais resistentes para o revestimento dos poços para não sofrer rompimento com o tempo.

5.2.4 Ferramentas e Produtos

- Técnicas de monitoramento, análise, avaliação e enquadramento dos aquíferos e o meio não-saturado quanto à contaminação;
- Desenvolvimento de dessalinizadores econômicos, de uso local e fácil manutenção, especialmente em áreas de rochas cristalinas fraturadas;
- Aprimoramento e desenvolvimento de modelos matemáticos para simulação dos processos de quantidade e qualidade que permitam avaliar os cenários com e sem contaminação, com as medidas mitigadoras e permitam a tomada de decisão na gestão;
- Desenvolvimento, aprimoramento e avaliação de procedimentos para recuperação de aquíferos;
- Uso e desenvolvimento de ferramentas de avaliação do impacto ambiental de aquífero com base em análise de risco, dentro do mecanismo de tomada de decisão e gestão do sistema;

- Desenvolvimento de técnicas para avaliação da recarga natural, e para indução de recarga artificial;
- Desenvolvimento de técnicas para detecção, monitoramento e prevenção da subsidência de solos devido à exploração de água subterrânea.

5.2.5 Gestão

- Avaliação dos mecanismos legais de gestão pelo estado das águas subterrâneas que apóiem o sistema de outorga da água subterrânea;
- Avaliação dos elementos econômicos e de exploração das águas subterrâneas dentro do sistema de gestão quanto ao financiamento da gestão, monitoramento e cobrança pela poluição;
- Avaliação dos padrões de enquadramentos e medidas legais relacionadas, propostas alternativas de desenvolvimento de controle da qualidade da água e identificação de fontes e fiscalização;
- Mecanismos de gestão para proteção das áreas de recargas.

5.3 MECANISMOS DE INVESTIMENTOS

Considerando as limitações existentes quanto ao reduzido número de pesquisadores, infra-estrutura de laboratório na maioria do país recomenda-se o investimento nos seguintes mecanismos de financiamento:

- Redes de pesquisa voltadas para experiências pilotos em diferentes aquíferos brasileiros em que existam pelo menos dois tipos principais de fontes contaminações. Os condicionantes básicos são: o grupo ser interdisciplinar, implementar laboratório e monitoramento associado ao experimento, mais de um centro de pesquisa com pelo menos um grupo

emergente, deve obrigatoriamente incorporar a formação de pesquisadores, deve possuir pelo menos uma contra-partida internacional.

- Editais sobre tópicos selecionados de pesquisa, dentro da priorização definida. Ao longo do tempo os editais devem cobrir os focos de pesquisa identificados. Este conjunto de investimento deve ser avaliado comparativamente ao primeiro grupo na forma de workshops especiais, onde poderão ser redefinidas as prioridades;
- Editais específicos sobre mecanismos de gestão com projetos definidos de interesse das agências de governo federal e estadual Estes produtos devem procurar atender o componente tecnológico das agências governamentais.

5.4 QUESTÕES UTILIZADAS NA DISCUSSÃO

As seguintes questões foram utilizadas na discussão:

1. Existem outros aspectos que no seu entender são importantes para a pesquisa em contaminação das águas subterrâneas e que não foram abordados neste documento? Quais?
2. Entre os tópicos abordados neste documento, em quais você considera que existem abordagens inadequadas que devem ser alteradas ou que não estão suficientemente aprofundadas?
3. Quais são os cinco principais tópicos que você considera fundamentais para o investimento em pesquisa dos relacionados e dos que foram complementados pelo grupo? Favor comentar
4. Como você observa a capacitação e a infra-estrutura de pesquisa nacional e as necessidades de investimentos?
5. Quais os mecanismos que você considera mais importantes para serem utilizados no investimento de pesquisa deste componente?

6. CONCLUSÕES

Este documento, atualmente na versão 2.0, tem a finalidade de promover a discussão sobre o tema de qualidade das águas subterrâneas. É possível que não tenha abordado todos os aspectos relacionados com a contaminação de águas subterrâneas, com os quais os pesquisadores brasileiros estão preocupados. Esta análise procurou partir da visão dos problemas de sociedade para a busca de focos principais de pesquisa e desenvolvimento, como se baseou o documento de diretrizes estratégicas do CT-Hidro.

Os sistemas hídricos, que envolve as águas subterrâneas, tem sido uma das áreas de pouco investimento em pesquisa apesar do reconhecido impacto provocado pelo desenvolvimento econômico e social do país sobre este sistema. As dificuldades de priorizar os aspectos de contaminação deste sistema se devem ao seguinte: (a) os impactos não ficam evidentes para o decisor na medida que não são visíveis como nas águas superficiais; (b) o impacto tem um período de retardo e a determinação das relações causa-efeito muitas vezes é difícil pela forma difusa das fontes e fica sujeita a controvérsias. Estas dificuldades somente alimentam mais ainda a necessidade de desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico para obter ferramentas, meios de monitoramento e processos de gestão que tornem possível conservar esse sistema tão necessário à sustentabilidade humana.

Observa-se no cenário brasileiro que um dos grandes desafios está relacionado com a capacitação e a interdisciplinaridade do conhecimento. É marcante o reduzido número de pesquisadores nesta área em todas as regiões do país e a falta de uma gestão de pesquisa que permita elevar o conhecimento e a quantidade de pesquisadores qualificados através de parcerias nacionais e internacionais e entre centros de pesquisa. Também é necessário equipar laboratórios com equipamentos e recursos que permitam desenvolver, com permanência no tempo, uma pesquisa consistente com as necessidades levantadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H., PETTY, R. J. E HACKETT, G. (1987) – DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, Environmental Protection Agency, Report EPA/600/2-85/018.

CETESB, 2001, Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo, Cetesb.

CHAPMAN, Deborah. 1996. Water Quality Assessments. WHO UNEP 628p.

CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M.R., 1983, Hidrologia Subterrânea, Barcelona, Ed Omega.

EMBRAPA, 2002. Uso agrícola das áreas de recarga do Aquífero Botucatu (Guarani) e implicações na qualidade da água subterrânea. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, 2002. 38p. (Relatório Final).

FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J., 1997, Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, CPRM.

FOSTER, S. S. D. (1987), Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy, vulnerability of soil and groundwater to pollution, TNO Committee on hydrological research, Delft.

FOSTER, S.; TUINHOF. A; KEMPER, K; GARDUÑO, H.; NANNI, M. 2003a. Groundwater Management Strategies: facets of the integrated approach. GW-MATE Briefing Note n.3.

FOSTER, S.; GARDUÑO, H.; KEMPER, K; TUINHOF. A; NANNI, M.; DUNCAN, C. 2003b. Groundwater Quality Protection: defining strategy and setting priorities GW-MATE Briefing Note n.8.

LNEC, 2003, Valorização e proteção da zona costeira portuguesa: Avaliação e estudo da vulnerabilidade de sistemas aquíferos costeiros, Lnecc, Lisboa.

MMA, 2002. Plano Nacional de Recursos Hídricos. ANA SRH MMA.

REBOUÇAS, 2002. Águas Subterrâneas. In Águas Doces do Brasil. Escrituras.

TUINHOF. A.; DUMARS, C; FOSTER, S.; KEMPER, K; GARDUÑO, H.; NANNI, M. 2003. Groundwater Resource Management: an introduction to its scope and practice. GW-MATE Briefing Note n.1.

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/poluicao.html>, consultada em Novembro de 2003.

<http://pasture.ecn.purdue.edu/~agenthtml/agen521/epadir/grndwtr/contamination.html>, consultada em Novembro de 2003.

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/guarani.html>, consultada em Novembro de 2003.

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/costeiro.html>, consultada em Novembro de 2003.



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Anexo II-c



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Saneamento

Documento Final

Nilo de Oliveira Nascimento
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos
Universidade Federal de Minas Gerais

Dezembro, 2003

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. AS MÚLTIPLAS DIMENSÕES DO TEMA	7
2.1 Recursos hídricos.....	7
2.2 Saneamento	10
3.1 A questão da demanda	19
3.1.1 Oportunidades de inovação: a questão da demanda.....	21
3.2 O problema dos impactos da urbanização sobre os meios receptores	26
3.2.1 Oportunidades de inovação: controle de escoamentos e redução da poluição difusa de origem pluvial	30
Processos hidrológicos em meio urbano.....	36
3.2.2 Oportunidades de inovação: esgotamento sanitário	43
3.3 Gestão de resíduos sólidos	46
4. AS INTERFACES EM CIDADES DE PORTE MÉDIO E PEQUENO NÃO INSERIDAS EM AREAS METROPOLITANAS.....	47
5. AS INTERFACES EM ZONAS RURAIS E REGIÕES SEMI-ARIDAS	49
6. CONCLUSÕES	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

O apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico e à inovação (CT&I) por parte das agências federais de fomento à pesquisa sofreu uma significativa mudança com a criação dos fundos setoriais de CT&I. Dois aspectos principais a caracterizam:

- os fundos setoriais são temáticos, tendo suas áreas de foco definidas como estratégicas para o desenvolvimento de CT&I do país;
- o financiamento das diferentes atividades e ações de CT&I por intermédio dos fundos setoriais faz-se com recursos captados no setor produtivo afeito às áreas temáticas de interesse dos fundos.

Estas características têm revelado um elevado potencial de impacto sobre atividades de desenvolvimento científico e tecnológico por assegurarem a **temas específicos recursos perenes, com fontes de aprovisionamento previamente definidas**, cujo **fluxo anual** pode ser **estimado**, tornando possível desenvolver programas de pesquisa de médio e de longo prazos com base em objetivos, diretrizes e planejamento detalhado de ações. Há mudanças no fazer pesquisa e desenvolvimento, em primeiro plano, pelo efeito imediato de uma maior disponibilidade de recursos financeiros, como o aumento da oferta de bolsas de estudo, a renovação e a ampliação de equipamentos, a consolidação de grupos emergentes, o aumento de atividades de pesquisa desenvolvidas em rede, a difusão do conhecimento em diferentes níveis. Sem desconhecer esses relevantes benefícios, deve-se ressaltar a importância dos aportes dos fundos setoriais como indutores de novos problemas de CT&I e de novas metodologias de investigação que não estariam em pauta não fosse a confiança dos grupos de pesquisa na disponibilidade e continuidade dos meios materiais para desenvolvê-los. Ficam igualmente facilitados a constituição e o emprego de mecanismos de avaliação e controle tanto das ações dos fundos, em seu conjunto, quanto de metas e produtos de cada projeto individual de CT&I apoiado pelos mesmos.

A Lei nº 9993, de 24 de julho de 2000, criou o Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-Hidro) cujo propósito é o financiamento “de projetos científicos e de desenvolvimento tecnológico destinados a aperfeiçoar os diversos usos da água, de modo a garantir à atual e às futuras gerações alto padrão de qualidade, utilização racional e integrada com vistas ao desenvolvimento sustentável e à prevenção e defesa contra fenômenos hidrológicos críticos ou devido ao uso inadequado de recursos naturais”.

Os diferentes usos da água como insumo ou substrato a atividades produtivas organizam-se em setores como os de navegação, irrigação, energia e saneamento, dentro dos quais diferentes ações de CT&I certamente têm potencial de contribuir para que se atinjam os objetivos e propósitos do CT-Hidro. No mesmo sentido, há em cada um desses setores problemas específicos de CT&I que, a rigor, não se constituem em objeto temático coincidente com a problemática de pesquisa e desenvolvimento da área de recursos hídricos.

O estabelecimento de diretrizes e a formatação de ações induzidas em CT&I, no contexto do CT-Hidro requerem, assim, uma reflexão continuada que congregue e combine objetivos finais de preservação da água, enquanto recurso natural e bem essencial à vida, com requisitos específicos relacionados ao aperfeiçoamento dos diversos usos da água. A área de recursos hídricos requer, naturalmente, enfoques multidisciplinares e transdisciplinares, multisetoriais e intersetoriais.

O presente texto tem o propósito de buscar identificar interfaces bem como linhas integradas prioritárias de pesquisa, desenvolvimento e inovação científicas e tecnológicas entre as áreas de recursos hídricos, saneamento, meio ambiente e saúde pública. Trata-se, em uma primeira leitura, de um problema de demarcação cujo principal interesse é o de orientar esforços de CT&I que possibilitem atingir objetivos em comum entre essas áreas. Os aspectos multidisciplinares, interdisciplinares e transdisciplinares da questão certamente farão emergir temas e problemas de CT&I que só adquirem sentido justamente nesse contexto de interfaces.

Por outro lado, a reflexão sobre os principais temas na interface dessas áreas poderá orientar a eventual ampliação dos setores que contribuem para aprovisionar o CT-Hidro de recursos financeiros, caso tal iniciativa revele-se pertinente, necessária e possível, respeitada a base de recursos para compensação financeira pela exploração de recursos hídricos definida em lei.

Uma ressalva importante refere-se ao fato de que, sendo o objeto do texto a identificação de interfaces saneamento-recursos hídricos, é necessário e, ademais, inevitável que interfaces destas duas áreas com aquelas de saúde e meio ambiente manifestem as suas opiniões, se não em uma exaustiva discussão de todas as combinações possíveis entre tais setores, pelo menos como problemáticas derivadas e associadas à particularidade da reflexão em foco.

2. As múltiplas dimensões do tema

2.1 Recursos hídricos

Um dos conceitos de desenvolvimento sustentável fundamentado na racionalidade econômica de tradição neoclássica afirma que a sustentabilidade é assegurada desde que não haja, entre sucessivas gerações, a redução no estoque total de capital, natural ou artificial. Isso significa que a perda de capital natural pode ser compensada ou substituída pela geração de capital artificial. Por capital artificial entende-se o conjunto de bens e fatores de produção feitos pelo homem. O capital natural é composto pelos recursos naturais renováveis e não-renováveis encontrados no Planeta, entre eles a água.

A água, enquanto recurso natural, realiza três funções ambientais básicas (Pearce e Warford, 1993):

- fornece insumo ao sistema produtivo;
- assimila resíduos gerados por diferentes atividades de origem antrópica;
- provê utilidades estéticas e de lazer.

Ademais, a água é recurso essencial à vida humana, desempenha um papel fundamental de suporte e substrato à vida em diferentes ecossistemas e, por intermédio do ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global, é elemento essencial da regulação climática do Planeta.

A multifuncionalidade da água como recurso e como suporte e substrato à vida torna impossível a sua substituição por qualquer capital artificial, resultando igualmente impossível a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável de inspiração neoclássica, como acima enunciado, ao caso dos recursos hídricos (Nascimento, Baptista e Cordeiro Netto, 1996).

A preservação dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, enquanto patrimônio natural e cultural da humanidade torna-se, portanto, imperativa. As

ações de gestão dos recursos hídricos devem ainda assegurar:

- sua adequada alocação segundo critérios diversos – econômicos que resultem no uso otimizado do recurso, de equidade entre usuários presentes e as futuras gerações, de proteção do recurso e do meio ambiente como um todo;
- a redução de riscos decorrentes da aleatoriedade dos processos naturais como os riscos de inundação, de escassez prolongada de água ou de poluição accidental, bem como riscos à saúde, freqüentemente agravados por impactos de atividades antrópicas ou de falhas em sistemas de uso e controle de recursos hídricos.

Trata-se de um problema complexo quando se tem em conta suas particularidades, tais como a não uniformidade da distribuição espacial da água no Planeta, a sazonalidade de sua distribuição temporal e sua aleatoriedade. Se os recursos hídricos são, em grande parte, renováveis, tal característica assumiria a estabilidade física, química e biológica do meio e a estacionariedade climática. Os recursos hídricos são vulneráveis às formas pelas quais outros recursos naturais são explorados, em particular o solo, e apresentam elevada sensibilidade a flutuações climáticas, podendo vir a ser bastante impactados por diversas ações antrópicas e por mudanças climáticas. A gestão de recursos hídricos faz-se em um ambiente de múltiplos usuários e de conflitos de uso, requerendo complexos sistemas tecnológicos e gerenciais de regulação e uma base legal adequada a lhe dar suporte.

Recentemente, foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) com a promulgação da Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. O Singreh reúne os instrumentos para a execução da Política Nacional de Recursos Hídricos cujos objetivos são os de assegurar disponibilidade hídrica adequada a diferentes usos, à atual e às futuras gerações, o uso racional e integrado dos recursos hídricos e a defesa contra eventos hidrológicos críticos, tendo eles origem em processos naturais ou resultantes de usos inadequados de recursos naturais.

Os princípios que fundamentam a Política Nacional de Recursos Hídricos e os instrumentos para sua execução por intermédio do Singreh produzem reflexos importantes também sobre outras políticas, tais como políticas de desenvolvimento e de ordenamento territorial e a política ambiental.

Instrumentos de gestão de recursos hídricos como a outorga de direito de uso da água, destinada a disciplinar a utilização dos corpos d'água para a captação de água tanto quanto para o lançamento de efluentes, e a cobrança pelo uso da água, com vistas a incitar o uso racional do recurso e prover o sistema de gestão de recursos financeiros que assegurem a realização de seus objetivos, devem sinalizar aos diferentes setores usuários da água dos limites da disponibilidade hídrica e dos custos dos impactos gerados por suas ações sobre os recursos hídricos e o meio ambiente. Estes sinais serão incorporados pelos setores usuários como critérios de decisão sobre novos empreendimentos bem como poderão promover o aprimoramento tecnológico de sistemas com o fim de reduzir os volumes captados e as emissões de poluentes.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e de gestão e o princípio de que a gestão de recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público e dos usuários favorecem a integração de ações de diferentes setores. A territorialidade da gestão de recursos hídricos, associada aos instrumentos de outorga e cobrança, torna operacional o conceito de que a água é um indicador de qualidade ambiental e ampliam o foco do controle de poluição para a escala espacial da bacia hidrográfica. Isso significa que a eficiência de sistemas de tratamento e a conformidade com normas de emissão devem ser consideradas tanto na microescala do usuário individual de recursos ambientais como em termos dos benefícios gerados pela redução combinada de emissões de diferentes fontes de poluição, quando avaliados na macroescala da bacia hidrográfica.

O enquadramento dos corpos d'água em classes de uso preponderantes, instrumento em comum presente no Singreh e no Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), o planejamento de recursos hídricos e a cobrança pelo uso

da água são instrumentos importantes para orientar os investimentos em controle de poluição e de usos dos recursos hídricos, tendo por base a efetividade das ações, em face de recursos financeiros limitados.

É evidente que a implantação do Singreh implica em desafios importantes de desenvolvimento institucional, entre eles sua efetiva integração com o Sisnama, sua adequada articulação com os diferentes setores usuários de recursos hídricos, entre eles o de saneamento, bem como necessidades de desenvolvimento científico e tecnológico, de inovação, de formação e treinamento de recursos humanos.

2.2 SANEAMENTO

Entre os diversos setores usuários da água, o setor de saneamento é provavelmente o que apresenta maior interação e interfaces com o de recursos hídricos. Embora definições tradicionais do saneamento, como a da Organização Mundial de Saúde, reforcem uma visão antropocêntrica de seus propósitos – “controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu bem-estar físico, mental ou social” – os reflexos das ações de saneamento ou de sua carência são notórios sobre o meio ambiente, e em particular os recursos hídricos.

A questão das interfaces entre saneamento e recursos hídricos coloca-se exatamente na dualidade do saneamento como usuário de água e como instrumento de controle de poluição, em conseqüência, de preservação dos recursos hídricos.

Assim, é de se esperar que apareçam, na interface saneamento e recursos hídricos, problemas de CT&I relacionados com aspectos tais como o controle de perdas, a gestão da demanda, a implementação de sistemas de reúso de água, a melhoria da eficiência de coleta de esgotos domésticos e da eficiência de sistemas de tratamento de esgotos, a minimização do lançamento de resíduos sólidos em cursos d'água, o controle da contaminação da água subterrânea, o

controle da poluição difusa de origem pluvial, o aprimoramento da gestão de resíduos sólidos entre outros. Estes temas reforçam o imperativo da integração das dimensões de quantidade e de qualidade de água na gestão de recursos hídricos tanto quanto nas ações de saneamento, no Singreh tanto quanto no de Sisnama.

Porém, o saneamento é também um serviço de caráter público com responsabilidade por responder a objetivos de atendimento e cobertura, como os de universalidade, equidade, integralidade e qualidade, discutidos por Heller (2003). Um dos principais desafios para o setor de saneamento é o atendimento a populações pobres concentradas em áreas faveladas, no meio urbano, ou dispersas pelo meio rural. Esses desafios são de natureza econômico-financeira como também tecnológica e gerencial e devem ser encarados no conjunto de políticas integrativas destinadas a combater a exclusão social. Devem ser políticas coordenadas que igualmente contemplem a habitação, a saúde, a educação, a geração de emprego e a melhoria da qualidade ambiental (Heller, Nascimento e Paiva, 2002).

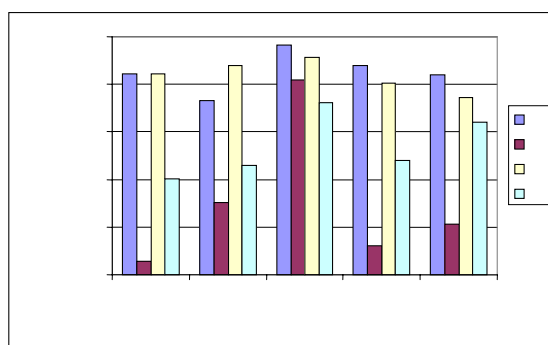
Também enquanto serviço, colocam-se para o setor de saneamento problemas de financiamento para fazer face às necessidades de expansão de sistemas, de recuperação e renovação de sistemas existentes e de modernização da infraestrutura e da gestão, de forma a atender aos objetivos de cobertura acima enumerados, a requisitos de qualidade dos serviços e de conformidade com normas ambientais progressivamente mais exigentes. Os serviços de abastecimento e esgotamento sanitário, em particular, têm operado segundo uma lógica de auto-sustentação financeira que incorpora tanto a amortização de valores financiados para investimentos quanto o ressarcimento de custos de operação e manutenção de sistemas. Os serviços de drenagem urbana e de limpeza pública, no mais das vezes, têm sido financiados com recursos do tesouro municipal, eventualmente complementados, particularmente os investimentos em infra-estrutura, por aportes de linhas de crédito nacionais e, algumas vezes, internacionais.

O desenvolvimento de políticas integrativas entre setores como os de recursos hídricos, saneamento, meio ambiente, saúde, desenvolvimento urbano, habitação e transportes, apresenta desafios de natureza institucional, gerencial e técnico não negligenciáveis. Por outro lado, notam-se ainda, no Brasil, carências significativas de infra-estrutura de saneamento e de adequada gestão dos sistemas existentes. São muitos os fatores que possibilitam compreender as razões desses fatos, entre eles podendo-se enumerar:

- as elevadas taxas de crescimento populacional urbano criaram um descompasso entre a expansão urbana e a implantação de infra-estrutura;
- o agravamento de desigualdades sociais de distribuição de renda e de oportunidades;
- a fragmentação de políticas públicas de prestação de serviços de saneamento, com múltiplos agentes e baixo nível de integração de ações;
- problemas relacionados com a concessão e a regulação de serviços de saneamento, envolvendo o poder concedente e o concessionário;
- a baixa capacidade de investimento dos municípios, em implantação e manutenção de infra-estrutura urbana;
- a falta de atualização tecnológica e a carência de recursos humanos adequadamente treinados nos serviços técnicos municipais;
- a falta de atualização gerencial, a carência de instrumentos de regulamentação e de regulação, a precária base de informações e a falta de mecanismos de suporte à decisão;
- a ausência de continuidade administrativa e de mecanismos que assegurem a implantação de ações e regulamentos oriundos de planejamento, quando existente, de procedimentos de avaliação da efetividade de ações empreendidas e de dinâmicas de correção dessas ações quando isso se mostra necessário.

A despeito dos progressos realizados em abastecimento de água e, em menor monta, em implantação de sistemas coletores de esgotos sanitários, são notórias as carências de atendimento e cobertura dos serviços de saneamento. Ao se buscar qualificar essas carências, notam-se nítidas distinções entre níveis de cobertura por tipos de serviço (abastecimento de água, esgotamento sanitário e pluvial, gestão de resíduos sólidos), entre territórios (regiões brasileiras, espaços urbano e rural), bem como em função do nível de renda das populações atendidas.

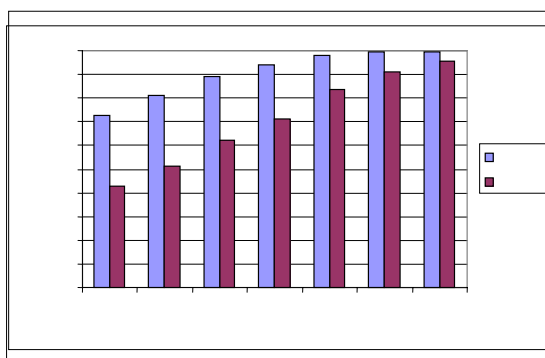
A fragmentação territorial e por tipos de serviço com respeito à disponibilidade de serviços de saneamento nos distritos brasileiros é ilustrada por meio da figura 1. Trata-se de uma estatística simples que informa apenas sobre a disponibilidade do serviço no distrito, não incorporando dados complementares sobre cobertura e indicadores de qualidade de atendimento, porém, suficiente para indicar as discrepâncias mencionadas. A relação entre nível de renda e cobertura é mostrada por intermédio da figura 2 para o abastecimento de água por rede de distribuição e para o esgotamento sanitário por rede coletora.



AA: rede geral de distribuição de água
 ES: rede coletora de esgoto
 LU: limpeza urbana e coleta de lixo
 NT: Norte; NE: Nordeste
 SE: Sudeste
 CO: Centro-Oeste; SU: Sul

Fonte:PNSB, 2000

Figura 1 - Percentual de distritos, por regiões brasileiras, com algum serviço de saneamento, por tipo de serviço.



SM: salário mínimo

Fonte: Costa, 2003

Figura 2 - Cobertura de serviços de abastecimento de água por rede geral e esgotamento sanitário, por rede coletora, em percentual de população atendida, por faixa de renda.

Cumprir entender as razões dessas discrepâncias e refletir sobre as formas de superar tais limites em termos de desenvolvimento científico, tecnológico e institucional, ampliação da capacidade de financiamento e criação e implementação de instrumentos de regulação do setor, um esforço que tem sido feito pela comunidade técnica e responsáveis políticos, porém que necessita ser intensificado.

A discussão que se segue procura focar a questão das interfaces em CT&I entre os setores de recursos hídricos e de saneamento, tendo em conta suas dimensões próprias e alguns recortes auxiliares. Tais recortes procuram evidenciar questões de conhecimento e de tecnologia com especificidades regionais (e.g.: semi-árido), de escala (e.g. bacias hidrográficas urbanas, grandes bacias hidrográficas), de tipo e de intensidade do uso do solo (e.g. grandes áreas urbanas, áreas rurais).

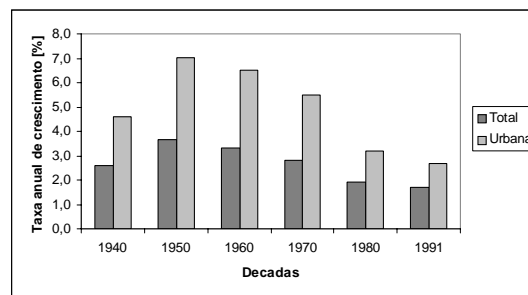
3. AS INTERFACES EM GRANDES CIDADES E REGIÕES METROPOLITANAS

Grandes áreas urbanas exercem fortes pressões sobre os recursos naturais e o meio ambiente. No Brasil, um fator que, certamente, agravou os impactos ambientais desse tipo foi a rápida transição de uma sociedade predominantemente rural para uma sociedade essencialmente urbana.

A figura 3 mostra a evolução das taxas médias anuais de crescimento da população total e da população urbana, no Brasil, calculadas a partir de dados censitários de 1940 a 2000. Em 1940, a população total do país era, em dados redondos, de 41,2 milhões de habitantes, vivendo no campo 28,4 milhões de pessoas. O censo de 2000 revela 169,6 milhões de habitantes, sendo de 137,8 milhões a população urbana e de 31,8 milhões a população rural. Ou seja, em 60 anos a população total do país quadruplicou, porém, a população rural permaneceu praticamente igual à de 1940. Assim, como mostra a figura 3, as taxas médias anuais de crescimento da população urbana, nesse período,

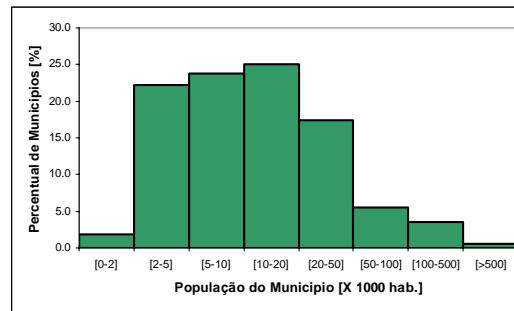
sempre foram bem superiores às da população total do país, ainda que se note uma tendência declinante para ambas.

Tão elevadas taxas de crescimento da urbanização, agravadas pelos bem conhecidos problemas de distribuição de riqueza no país, resultaram em graves carências de infra-estrutura urbana. A falta de habitação conduziu ao aumento significativo da população favelada, que passou a ocupar áreas menos valorizadas ou mais desprotegidas contra invasão, como as áreas de preservação ambiental, as áreas públicas e as zonas de risco de inundação ou geologicamente instáveis. Da mesma forma, notaram-se problemas graves de saneamento, que, em zonas faveladas ainda perduram, a despeito dos progressos já realizados em algumas grandes cidades do país.



Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br

Figura 3 - Taxa anual de crescimento da população total e da população urbana no Brasil



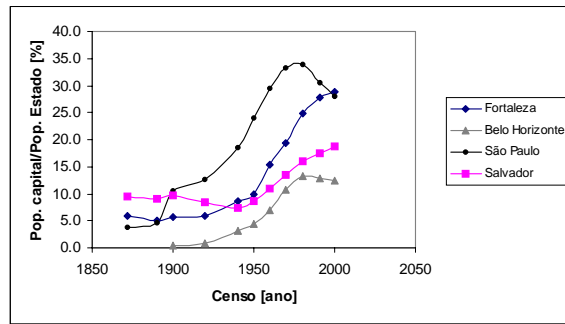
Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br

Figura 4 - Distribuição percentual do número de municípios por faixa de população

O acelerado crescimento da urbanização tornou obsoletos projetos urbanos e planos setoriais, onde existiam. A insuficiência de meios técnicos e de recursos humanos e financeiros dos municípios, em face do rápido crescimento em complexidade dos problemas a gerir, fez com que instrumentos de ordenação do desenvolvimento urbano, como diretrizes de uso do solo, sua implementação e fiscalização, se distanciassem muito da realidade.

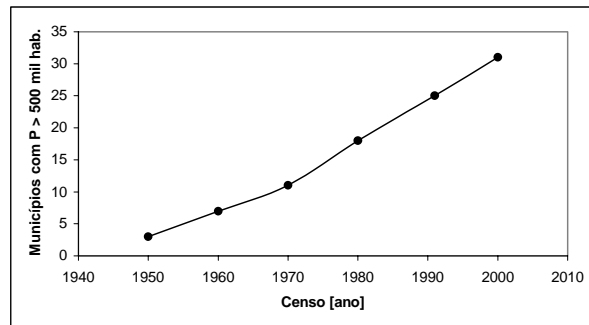
Além do crescimento populacional e da urbanização, dois outros aspectos demográficos brasileiros são relevantes para a discussão de questões institucionais e financeiras ligadas à gestão das águas em meio urbano. O primeiro deles, ilustrado pela figura 4, mostra o expressivo número de municípios com população inferior a 50 mil habitantes que representam 90% do total de municípios. São 70% do total os municípios que, por possuírem população inferior a 20 mil habitantes, não são legalmente obrigados a elaborar planos diretores. Porém, a maior parte da população urbana brasileira vive nas grandes cidades.

O segundo aspecto, ilustrado pelas figuras 5 e 6, mostra uma diminuição do peso populacional dos municípios de algumas capitais brasileiras, como São Paulo e Belo Horizonte, mas também Porto Alegre, Rio de Janeiro, Recife e Belém, em relação à população de seus respectivos estados, ao mesmo tempo em que se observa o crescimento do número de municípios com população superior a 500 mil habitantes.



Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br

Figura 5 - Percentual da população residente na capital versus população residente no Estado



Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br

Figura 6 - Crescimento do número de municípios com mais de 500 mil habitantes

Há em curso um conjunto de mudanças complexas que sugerem, por um lado, a saturação populacional nas grandes cidades, porém não nos municípios menores que compõem suas regiões metropolitanas e, por outro lado, o aumento do número de municípios populosos também no interior dos Estados. Esses fenômenos combinados de expansão territorial urbana sugerem que as necessidades em equipamentos urbanos e aprimoramento dos meios de planejamento e gestão permanecem atuais. Ao mesmo tempo, há o risco de perda de eficiência econômica de algumas áreas urbanas quando essas sofrem redução de população ou modificam-se suas funções no contexto urbano, como já acontece em áreas centrais de algumas das grandes cidades brasileiras. As exceções ficam para algumas capitais que ainda mostram tendências de

crescimento populacional em relação a seus estados respectivos, como Fortaleza e Salvador, mas também Curitiba, Florianópolis, São Luiz, Natal, entre outras.

As pressões exercidas por grandes conglomerados urbanos sobre o meio são, entre outras, pressões de demanda por água, solo e fontes de energia bem como aquelas relacionadas à absorção de resíduos e à alteração física de processos naturais geradas pela atividade urbana.

3.1 A QUESTÃO DA DEMANDA

A demanda por água de abastecimento é gênese de conflitos pelo uso de recursos naturais. Com o crescimento populacional e a industrialização, mananciais de abastecimento de água mais próximos à zona urbana tornam-se insuficientes ou têm a qualidade das águas deterioradas pela própria expansão urbana. É necessário buscar água em maior volume, mais distante da zona urbana, por vezes implicando em transferência de água entre bacias hidrográficas.

Surgem, em conseqüência, conflitos pelo uso da água e restrições de uso do solo e de outros recursos naturais em áreas externas e, por vezes, relativamente distantes da área urbana. Os conflitos muitas vezes são gerados pela própria influência econômica da cidade em sua região, como no caso de desenvolvimento de áreas de agricultura intensiva para a produção de frutas e hortaliças ou a implantação de eixos rodoviários em áreas de mananciais. Nas regiões metropolitanas, a expansão urbana, freqüentemente não planejada, muitas vezes ilegal, encontra-se na origem de sérios comprometimentos de qualidade de água de mananciais de abastecimento urbano.

Uma das perspectivas de CT&I em saneamento, com nítida interface com a área de recursos hídricos, decorre de um propósito geral de redução da demanda por água de abastecimento. Algumas das alternativas tecnológicas a desenvolver são: o controle de perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água, o reúso intensivo de água, técnicas de coleta de água de chuva e a adoção de

procedimentos para a economia do consumo de água, podendo envolver a utilização de peças sanitárias econômicas em uso de água, ações de caráter educativo e o uso de instrumentos econômicos de incitação à redução de consumo.

O Singreh dispõe do instrumento de cobrança pelo uso da água que, uma vez implantado, deverá conduzir a mudanças de comportamento de operadores de sistema de abastecimento de água, no tocante ao controle de perdas nos sistemas, e de usuários industriais e domésticos. Estas mudanças de comportamento dependem, por um lado, dos valores estabelecidos pela cobrança por volumes captados e, por outro lado, da elasticidade da demanda dos diferentes usuários. A implantação da regulação do setor de abastecimento de água deverá contribuir para que se obtenham ganhos de efetividade em programas como o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA – www.pncda.gov.br).

Deve-se, ainda, ressaltar que benefícios marginais de adoção de certas alternativas tecnológicas de redução da demanda poderão ser, igualmente, auferidos em termos redução de lançamentos¹.

Uma outra questão relevante relacionada com a demanda por água de abastecimento em grandes cidades é a de proteção de mananciais. Esta questão possui forte base institucional por envolver a harmonização de políticas setoriais em contexto urbano, como políticas de saneamento, de habitação, de transportes e sistema viário, de legalização da propriedade, de urbanização de zonas faveladas, entre outras. Ela envolve, igualmente, a harmonização de políticas em diferentes escalas espaciais, da bacia urbana à grande bacia hidrográfica. Esses aspectos e suas possíveis implicações para CT&I serão brevemente tratados junto ao item 3.2.

¹ A ressalva é válida, por exemplo, no caso do controle de perdas no sistema de abastecimento, o que não reduz lançamentos. Por outro lado, a adoção de instalações hidráulicas econômicas em uso de água (e.g.: vasos de descarga reduzida – VDR) não reduz a carga de poluição gerada, mas pode contribuir para a efetividade do tratamento de esgotos pela maior concentração de cargas.

3.1.1 Oportunidades de Inovação: A Questão da Demanda

Controle de perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água

As perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água, nas etapas de adução, tratamento e, sobretudo, na distribuição, são estimadas em cerca de 18% dos volumes captados (Costa, 2003). As perdas de faturamento global, incluindo-se aí as perdas físicas, as perdas por conexões clandestinas e aquelas decorrentes de falta de micromedição, variam entre 25 e 65% dos volumes captados.

A convivência com perdas físicas elevadas explica-se, entre outros fatores, pela falta de regulação do serviço que, se existente, poderia levar os operadores de sistemas a desenvolverem programas de redução progressiva de perdas. É possível que análises estritamente econômico-financeiras e disponibilidade de linhas de crédito levem o operador a crer ser mais vantajoso investir na expansão de sistemas existentes ou em implantação de novos sistemas do que em controle de perdas.

Desenvolvimentos tecnológicos são necessários em temas como recuperação de redes envelhecidas e a micro e a macromedição. Há, em recuperação de redes, oportunidades de inovação em desenvolvimento de materiais e de métodos de recuperação que podem apresentar vantagens econômicas e operacionais significativas. Desenvolvimentos em micro e em macromedição para fins de controle de perdas envolvem o aprimoramento da instrumentação, da certificação bem como esforços em modernização, como o emprego de telemetria em macromedição. A micromedição tem efeitos mais diretos sobre as perdas de faturamento, podendo levar o usuário a uma redução do consumo de água pelas economias, o que contribui para a racionalização do uso da água.

Um outro campo de investimento em CT&I com potencial para contribuir para a operação de sistemas de abastecimento com vistas à redução de perdas físicas é o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão que orientem as práticas de manutenção de sistemas e controle de perdas com base em uma ampla variedade de critérios relacionados à idade dos sistemas de distribuição e a variáveis hidráulicas ligadas à operação dos sistemas. O benefício é o de

contribuir para o aprimoramento da gestão dos sistemas de abastecimento, um dos fatores de maior importância para assegurar a efetividade de ações de controle de perdas.

Ações de economia em uso da água

Ações de economia de uso da água operam em duas vertentes principais. A primeira delas é de caráter predominantemente tecnológico e envolve a substituição ou a adoção, no caso de novas construções, de equipamentos de instalações hidráulicas prediais de baixo consumo de água. A tecnologia desse tipo de equipamento encontra-se bastante desenvolvida, em parte por iniciativa dos próprios fabricantes. Ações de aprimoramento tecnológico situam-se, por exemplo, em avaliação e em certificação de desempenho, em aprimoramento de normas técnicas, entre outras.

Nota-se a adoção predominante de equipamentos em estabelecimentos comerciais e de serviços e em instalações industriais. A generalização de seu emprego, incluindo-se, igualmente, o uso doméstico, depende de fatores de natureza cultural e econômico-financeira. É possível que um programa de substituição de peças sanitárias só se viabilize a partir da adoção de mecanismos incitativos como subsídios e programas de financiamento de baixo custo.

A segunda vertente é a da educação para a economia de água, conduzindo a mudanças de comportamento no uso cotidiano da água. A combinação de medidas desse tipo com mecanismos incitativos como o que poderá se manifestar com a cobrança pelo uso da água ou com a ampliação de ações de micromedição, têm potencial para reduzir padrões de consumo.

Ações de CT&I que poderão contribuir para a economia do uso da água estão relacionadas a avaliações prospectivas sobre a identificação das dificuldades, das possibilidades, das estratégias e dos meios para a ampliação do emprego de instalações hidráulicas prediais de baixo consumo de água, bem como para a difusão de práticas de economia de uso de água em contexto doméstico como também nos setores comercial, de serviços e industrial.

Reúso da água

O reúso da água tem sido empregado com maior intensidade em regiões áridas e semi-áridas, onde o problema de escassez revelou-se há mais tempo, com a ocupação humana e a ampliação de práticas de agricultura irrigada. Porém, problemas de escassez de água têm se manifestado, igualmente, em regiões de maior abundância de recursos hídricos tendo por origem a concentração urbana em regiões metropolitanas, combinada ou não com outros usos intensivos, como a agricultura irrigada ou usos industriais. Na indústria, o custo da água de abastecimento já tem sido fator de implantação de iniciativas de controle de perdas e de reúso.

Há diversas formas potenciais de reúso da água segundo a origem industrial ou doméstica do esgoto. Os esgotos domésticos, após tratamento, podem ser reutilizados em contexto urbano, para fins potáveis ou não-potáveis. Há fortes restrições para o uso potável, relacionadas com riscos sanitários e epidemiológicos, restrições culturais e custos de tratamento que raramente justificam a iniciativa. Usos não-potáveis, em contexto urbano, incluem a irrigação de parques e jardins públicos ou privados, alimentação de fontes e espelhos d'água, reserva de proteção contra incêndio, descargas sanitárias, lavagem de veículos. Na indústria, os usos concernem processos industriais diversos, torres de resfriamento, produção de vapor, construção civil, entre outros. Em meio rural, o reúso é empregado em irrigação e aquicultura. Os esgotos industriais podem ser reutilizados, após tratamento, na agricultura e na própria indústria (Hespanhol, 2002).

No Brasil, o reúso é solução ainda pouco utilizada e sistematizada, não havendo políticas públicas nesse sentido, mesmo em caráter regional. As questões de CT&I que se colocam como requisito a um maior emprego do reúso no Brasil relacionam-se, inicialmente, com uma avaliação sistematizada de seu potencial de emprego, na forma de um trabalho de avaliação prospectiva, com base em cenários estruturados segundo as distintas realidades regionais caracterizadas

por diferenças climáticas, de disponibilidade de recursos hídricos, de desenvolvimento econômico e de características socioculturais.

Um estudo dessa natureza deverá englobar fatores como:

- a caracterização das demandas por água de abastecimento em meio urbano, em meio rural e para a indústria, especificando-se os requisitos de qualidade e confrontando-se com as características de esgotos disponíveis;
- análises de riscos à saúde e de riscos ambientais tendo em conta as características de esgotos e as alternativas de reúso;
- identificação e sistematização de requisitos operacionais e de manutenção de sistemas segundo distintas formas de reúso;
- identificação e sistematização de requisitos de monitoramento e de prevenção de riscos à saúde para distintas formas de reúso;
- análises econômico-financeiras que evidenciem os custos e benefícios de ações de reúso para distintas formas de reúso;
- identificação de necessidades de desenvolvimento institucional e regulamentar para a implementação de políticas de reúso.

Há necessidades de desenvolvimento de tecnologia de reúso em vários domínios. Alguns exemplos são:

- concepção e projeto de redes distintas de abastecimento de água, diferenciando o uso potável de usos não-potáveis, atendendo a requisitos de segurança para os usuários;
- alternativas de tratamento de esgotos que atendam aos requisitos de qualidade de diferentes tipos de reúso da água, e proteção ambiental e de redução de riscos à saúde de usuários – a título de exemplo, usos industriais usualmente requerem águas com baixo potencial de corrosão, desenvolvimento de microrganismos ou formação de deposições; em usos

agrícolas a presença de nutrientes pode proporcionar racionalização em uso de fertilizantes.

Coleta de águas de chuva

A coleta de águas de chuva para fins de abastecimento de água, inclusive consumo humano, é técnica conhecida em regiões áridas e semi-áridas. Em áreas com disponibilidade de recursos hídricos, a coleta de águas de chuva pode significar economia para o usuário e diminuição da pressão de demanda sobre recursos hídricos locais e regionais. Em alguns países europeus, a captação de águas de chuva para uso residencial tem se disseminado menos como resultado de políticas públicas e mais por ação de fabricantes de reservatórios domiciliares. Os usos potenciais incluem a irrigação de jardins, a alimentação de descargas sanitárias e a lavação de veículos.

Em áreas urbanas, um benefício marginal da captação de águas pluviais para abastecimento é a redução de escoamentos superficiais decorrentes da impermeabilização do solo. Deve-se ressaltar que há uma certa incompatibilidade de objetivos de projeto entre sistemas de armazenamento de águas pluviais para abastecimento (reservar água) e para controle de escoamentos (manter volumes de espera). Esta incompatibilidade pode ser tecnicamente resolvida, mas isso implica em custos de investimento mais elevados.

No Brasil, a coleta de águas de chuva para usos que tolerem águas de qualidade inferior, em contexto urbano, tem sido considerada em nível de pesquisa, por meio de ensaios de simulação que avaliam o balanço disponibilidade-demanda, aspectos técnicos de dimensionamento e concepção de instalações, e estimativas de custos (e.g.: Ferreira, 2003).

Aspectos relacionados com a avaliação de riscos sanitários, com a definição de padrões e o estabelecimento de normas técnicas, com requisitos de operação e manutenção e com a apropriação de soluções dessa natureza pelos usuários devem ser objetos de investigação.

3.2 O PROBLEMA DOS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE OS MEIOS RECEPTORES

A urbanização produz impactos distintos de natureza física e química sobre os meios receptores, no contexto da própria área urbana e a jusante dela.

Os impactos físicos são, por exemplo, alterações locais de microclima causadas por mudanças no balanço de energia e na circulação atmosférica com reflexos sobre processos de evaporação e precipitação. A emissão de gases de efeito estufa em áreas urbanas pode resultar em impactos sobre o clima em escala global.

Os impactos físicos de maior monta estão relacionados com aumentos em volumes e velocidades de escoamento e com redução de recarga de aquíferos decorrentes da impermeabilização de superfícies, implantação de canais artificiais (sarjetas, redes subterrâneas de drenagem pluvial), canalizações de cursos d'água, entre outras ações vistas como estruturantes da urbanização.

Os impactos de natureza física têm resultado em aumentos de frequência e gravidade de inundações, intensificação de processos erosivos com aumento da produção, transporte e deposição de sedimentos, mudanças de morfologia fluvial e, impactos sobre os ecossistemas aquáticos causados por alterações em variáveis hidráulicas que caracterizam os escoamentos (velocidades, profundidades, vazões) e da própria morfologia fluvial.

Os impactos de natureza química têm origem em poluição difusa mobilizada por eventos de precipitação e poluição pontual causada, sobretudo, por lançamentos indevidos de esgotos sanitários e, em alguns casos, esgotos industriais, sem tratamento ou com tratamento insuficiente, nos sistemas de drenagem pluvial ou diretamente nos meios receptores. Na atualidade, seus impactos ambientais são bem conhecidos: poluição visual por corpos flutuantes, poluição microbiológica de praias e lagos urbanos, efeitos crônicos e acumulativos, como a eutrofização dos meios receptores ou sua contaminação por metais pesados, efeitos de choque de poluição, como os resultantes de depleção de oxigênio na água. Esses impactos

repercutem sobre os usos da água, impondo restrições e riscos ou majorando custos ao abastecimento de água potável, à piscicultura, ao turismo e ao lazer, entre outros.

Esforços de monitoramento da qualidade de água de origem pluvial em meio urbano têm sido desenvolvidos com maior intensidade nos últimos 20 anos, tendo-se gerado uma rica base de dados, embora com significativa concentração de estudos de caso em países desenvolvidos. Um exemplo de caráter ilustrativo, no presente texto, é o estudo de Cottet (Cottet , 1980, *apud* Valiron e Tabuchi, 1992), no qual compara cargas de poluição de origem pluvial (DP) com cargas de poluição de esgotos sanitários (ES) em duas bacias urbanas da região metropolitana parisiense, Ullis e Maurepas, utilizando bases de tempo anual, diária e horária (tabela 1).

Parâmetros	DP/ES ^a	DP/ES	DP/ES
	[ano]	[dia]	[hora]
Sólidos totais	0,50	0,50	50,00
DBO ₅	0,04	0,17	4,00
DQO	0,11	0,50	12,00
NTK	0,04	0,14	3,50
Pb	27,00	80,00	2000,00
Zn	1,00	4,00	100,00
Hg	1,00	7,00	-
Cd	1,00	5,00	-

a. DP/ES: relação entre carga de origem pluvial (DP) e carga de origem no esgoto sanitário (ES)

Tabela 1 - Comparação de cargas de poluentes de origem pluvial e sanitária em sistemas separadores absolutos

Os resultados de monitoramento de Cottet, usualmente corroborados por experimentos similares em diferentes bacias urbanas, sugerem algumas características desse tipo de poluição, importantes para um melhor conhecimento sobre o fenômeno e para a concepção e implementação de medidas de controle:

- as cargas médias anuais do esgoto sanitário são, em geral, superiores às do esgoto pluvial nos casos dos parâmetros sólidos totais, DBO₅, DQO e NTK;
- no caso de metais pesados, as cargas médias anuais do esgoto pluvial são praticamente iguais às do esgoto sanitário;
- na base de tempo horária, as cargas de poluentes de origem pluvial são superiores às do esgoto sanitário, particularmente nos casos de sólidos totais e metais pesados;
- as cargas de poluentes em águas pluviais, quando analisadas por evento, são superiores às cargas de efluentes de estações de tratamento de esgoto sanitário com eficiência de remoção corrente (80%) para SS, DQO e DBO₅.

Está bem estabelecido na literatura o conceito de que a poluição de origem pluvial é rapidamente mobilizada em superfícies impermeáveis, particularmente por eventos de precipitação intensos e de pequena duração, resultando em efeitos de choque de poluição nos meios receptores (Nascimento *et al*, 1999). Grande parte dessa poluição encontra-se fixada em sedimentos, com exceção dos nitratos, fosfatos, e alguns metais solúveis como o Zn e o Cd que são encontrados na forma solúvel (STU, 1994).

Resultados de medições de qualidade de água realizadas no período de 1985 a 1991 no córrego Mandaqui, na cidade de São Paulo, cuja bacia, com área de drenagem de 15,7 km², encontra-se urbanizada em 96% (Martins *et al.*, 1991, *apud* Porto, 1995) revelam, por um lado, a grande variabilidade das concentrações de poluentes mobilizados pelos eventos chuva-vazão em meio urbano e, por outro lado, a presença de contagens elevadas de coliformes termotolerantes nas águas de escoamento no curso d'água. Os níveis atingidos em coliformes termotolerantes sugerem a contaminação de águas pluviais por águas de esgotamento sanitário.

Esse tipo de contaminação tem por origem tanto as ligações clandestinas entre os sistemas de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário, quanto as carências em infra-estrutura para a coleta e o tratamento do esgoto sanitário. A tabela 2 traz estatísticas sobre a infra-estrutura de esgotamento sanitário no Brasil com respeito à rede coletora e outras formas de destino final. Do esgoto que é coletado, uma parcela muito pequena sofre tratamento, a maior parte sendo lançada, diretamente, nos meios receptores.

RM	VAAD	VESC/VAAD	VEST/VAAD	VEST/VESC
	(m ³ /dia)	(%)	(%)	(%)
Rio de Janeiro	7.048.882	25,4	10,7	42,1
São Paulo	5.489.270	33,6	17,1	51,0
Porto Alegre	1.120.019	17,2	02,0	11,9
Belo Horizonte	1.056.354	49,4	5,1	10,3
Distrito Federal	733.787	51,7	23,8	60,3

VAAD: volume de água de abastecimento distribuída, por dia; VESC: volume de esgoto sanitário coletado, por dia; VEST: volume de esgoto sanitário tratado, por dia. Fonte: PNSB (2000)

Tabela 2 - Estatísticas de volumes de esgoto sanitário coletado e tratado em relação ao volume de água de abastecimento distribuída para algumas regiões metropolitanas brasileiras

Segundo dados do IBGE para a década passada (www.ibge.gov.br), cerca de 18% dos domicílios brasileiros não são atendidos por serviços de coleta de resíduos sólidos, A média referente às 10 principais regiões metropolitanas do país é de 13% dos domicílios não atendidos, com limites entre 2% e 23% dos domicílios sem esse tipo de serviço. Parte dos resíduos que não é coletada é lançada diretamente em talvegues e outros pontos inadequados para disposição

dos mesmos, facilitando sua mobilização e transporte por escoamentos de origem pluvial, quando não se faz lançamento direto nos fundos de vale e leitos fluviais.

Os sedimentos constituem poluição estreitamente associada aos processos de urbanização. Apesar da carência de dados sobre o tema (Ramos, 1995), a literatura técnica concorda quanto à correlação positiva entre a fase de urbanização e o aumento da produção de sedimentos de uma área (e.g. Leopold, 1968; Tucci e Collischonn, 2000). A título de exemplo, em um estudo recente realizado na bacia hidrográfica do ribeirão Pampulha, em Belo Horizonte, Oliveira e Baptista (1997) estimaram aumentos de produção de sedimentos entre 50 a 100%, para sub-bacias em fase de urbanização, considerando-se eventos de precipitação com tempo de retorno de 2 anos. Algumas experiências de implantação de bacias de retenção em meio urbano, em razão de seu rápido assoreamento e contaminação das águas, revelaram as cargas consideráveis de sedimentos, outros poluentes, orgânicos ou não, e resíduos sólidos, produzidas por áreas urbanas ou em processo de urbanização.

3.2.1 Oportunidades de Inovação: Controle de Escoamentos e Redução da Poluição Difusa de Origem Pluvial

A partir dos anos 70 tem-se observado em países da Europa e da América do Norte a construção de novos modelos e concepções para tratar os problemas de gestão das águas na cidade. No que se refere ao controle de escoamentos e de poluição difusa de origem pluvial, bem como à valorização das águas em meio urbano, esses modelos têm se distinguido de modelos de inspiração higienista por forte e nítido antagonismo. Da mesma forma, no Brasil mudanças importantes de concepção, planejamento e gestão das águas em contexto urbano têm sido observadas nos últimos anos.

O quadro 1 apresenta uma síntese da evolução histórica das estratégias de gestão e do desenvolvimento e aplicação de soluções técnicas de drenagem pluvial urbana, em particular em países desenvolvidos. O quadro 2 sintetiza o contraponto entre as concepções de base higienista e as concepções inovadoras

para a gestão dos sistemas de drenagem pluvial em meio urbano. Essas mudanças conceituais refletiram-se em algumas vias de inovação, como as chamadas técnicas alternativas de drenagem pluvial, a integração de requisitos de gestão das águas no zoneamento urbano e a gestão do risco de inundação.

Os objetivos fundamentais das chamadas soluções alternativas de drenagem pluvial são a redução ou controle de excedentes de água gerados pela impermeabilização e da poluição de origem pluvial, em diferentes escalas espaciais e, sempre que possível, próximo às fontes geradoras (e.g. CERTU, 1998; Schueller, 1987; Urbonas e Stahre, 1993; Azzout, *et al.*, 1994; Revitt, Shutes e Scholes, 1999; Ellis, 1999; Herson-Jones, Heraty e Jordan, 1995).

Experimentos controlados de técnicas alternativas em laboratório ou sobre sistemas de drenagem, algumas em funcionamento há vários anos, têm demonstrado sua eficiência (e.g. Valiron e Tabuchi, 1992; Baptista, Barraud e Alfakih, 2001; Cruz, Tucci e Silveira, 2000; Nascimento *et al.*, 1999; Araújo, Tucci e Goldenfum, 2000; Balades e Petitnicolas, 2001; Goldenfum e Souza, 2001, entre outros).

Soluções alternativas de tratamento de fundos de vale e de recuperação de cursos d'água também têm sido adotadas (e.g. Riley, 1998; Waal, Large e Wade, 2000; Jefferies, Govier e Bradshaw, 1999; Binder, 1999). No Brasil, um exemplo recente é o do Programa Drenurbs em execução pela Sudecap, autarquia da Prefeitura de Belo Horizonte, que visa elaborar projetos de recuperação e tratamento de fundos de vale de todos os cursos d'água perenes não canalizados do município (Sudecap, 2001).

Naturalmente, tais objetivos dependem de um diagnóstico adequado dos principais problemas de ocupação do vale relacionados com o controle de cheias e da poluição hídrica, com o patrimônio ambiental, paisagístico e cultural a ser preservado ou recuperado, bem como com os próprios padrões locais de uso do solo. Nos itens seguintes, questões de pesquisa relacionadas ao tema, em áreas de interface entre saneamento e recursos hídricos, são listadas e brevemente discutidas.

Estratégia	Conceituação dos problemas	Princípios de ação
Higienista	<p>Esgotos sanitário e pluvial são responsáveis por inundações e epidemias.</p> <p>Água na cidade representa distúrbios estéticos, causa maus odores e prejudica a circulação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coleta sistemática de águas pluviais e águas servidas em sistemas unitários. ▪ Redes de drenagem subterrâneas. ▪ Evacuação rápida de águas pluviais e águas de esgotamento sanitário. ▪ Lançamento nos meios receptores, geralmente sem tratamento.
Hidráulica	<p>Aumento de vazões a drenar em razão do crescimento urbano.</p> <p>Saturação progressiva das redes de drenagem mais antigas localizadas em áreas centrais.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento e codificação de metodologias de dimensionamento. ▪ Implantação predominante do sistema separador absoluto. ▪ Início de implantação de medidas de controle de cheias por armazenamento ▪ temporário: as bacias de detenção.
Ambientalista	<p>Poluição dos meios receptores.</p> <p>Custos elevados para a inserção de soluções estruturais de drenagem em áreas densamente urbanizadas.</p> <p>Problemas ambientais diversos da inserção de soluções estruturais de drenagem em novas áreas de urbanização.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoramento da qualidade de águas pluviais em sistemas separadores e em sistemas unitários em períodos secos e chuvosos. ▪ Avaliação de impactos sobre os meios receptores de lançamentos de esgotos sanitário e pluvial. ▪ Investimentos em infra-estrutura de coleta e tratamento de esgoto sanitário. ▪ Busca de integração de soluções de drenagem pluvial ao meio: concepção de bacias de detenção multifuncionais (amortecimento de cheias, parque, terreno de esporte),

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ implantação de parques lineares (tratamentos de fundos de vale).
Integrada	<p>Poluição dos meios receptores sofre redução, porém objetivos de recuperação não são atingidos de forma satisfatória.</p> <p>Insuficiência do controle dos impactos decorrentes da impermeabilização sobre a relação chuva vazão.</p> <p>Requisitos mais exigentes de eficiência global dos sistemas de drenagem (inundação + poluição).</p> <p>Requisitos mais exigentes para a gestão do risco de inundação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestão da água nas cidades deve fundamentar-se em objetivos claros de proteção dos recursos hídricos e do meio aquático. ▪ Tais objetivos devem ser traduzidos em imposições legais e em medidas gerenciais de avaliação de eficiência no atendimento aos objetivos. ▪ Política de limitação da poluição de origem pluvial: exigência de implantação de medidas de controle distribuídas na bacia (source control) ou em estações de tratamento ▪ Integração das soluções de coleta e de tratamento de águas pluviais. ▪ Zoneamento urbano deve integrar as diretrizes de drenagem pluvial: reservas de áreas para a implantação de estruturas de controle, restrição de lançamento em sistemas de drenagem pré-existentes (vazão de restrição), zoneamento de áreas inundáveis. ▪ Adaptação do espaço urbano para a gestão de crise e redução de perdas em caso de inundações excepcionais

Quadro 1 - Evolução dos conceitos de gestão de águas em meio urbano (adaptado de CERTU, 1998)

Higienismo	Conceitos inovadores
Drenagem rápida das águas pluviais; transferência para jusante.	Favorecimento à infiltração, ao armazenamento e ao aumento do tempo de percurso do escoamento.
Redes subterrâneas, canalização de cursos d'água naturais.	Valorização da presença da água na cidade, busca de menor interferência sobre o sistema natural de drenagem.
Associação do sistema de drenagem ao sistema viário.	Desenvolvimento de soluções técnicas multifuncionais, combinando o sistema de drenagem com a implantação de áreas verdes, terrenos de esporte, parques lineares, e outros.
Sistema de drenagem gravitacional, não controlado, configuração fixa da rede de drenagem .	Sistema de drenagem controlado, possibilidade de alteração na configuração da rede de drenagem em tempo atual: objetivos de controle de inundação e de poluição (são relativamente raros).
Concepção e dimensionamento de cada estrutura hidráulica segundo um nível único de risco de inundação pré-estabelecido, para atender a um único objetivo.	Concepção e dimensionamento segundo diferentes níveis de risco de inundação, para atender a objetivos diferenciados.
Não previsão e inoperância em face de eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto.	Avaliação do funcionamento do sistema para eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto, gestão do risco de inundação.
Ênfase na garantia de condições de saúde pública e de conforto no meio urbano;	Preocupação com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano e de redução dos impactos da urbanização sobre os meios receptores.
despreocupação com os impactos da urbanização sobre os meios receptores.	

Quadro 2 - Síntese das mudanças conceituais entre conceitos higienistas e conceitos inovadores de gestão de águas em meio urbano (Nascimento, Baptista e von Sperling, 1998).

Processos hidrológicos em meio urbano

O tema que emerge como **pesquisa básica ou aplicada** nesse domínio é o da melhoria dos conhecimentos sobre processos hidrológicos em meio urbano. Deve incluir como enfoques principais, os seguintes aspectos:

- relação chuva-vazão com respeito a diferentes padrões de uso do solo;
- poluição difusa de origem pluvial e seus impactos sobre os meios receptores;
- poluição de meios receptores em tempo seco (poluição por esgoto sanitário);
- presença de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem pluvial e meios receptores, caracterização do fenômeno e identificação e quantificação de seus impactos físicos, químicos e biológicos.

Como **justificativa**, trata-se de um dos principais requisitos para:

- aprimorar a qualidade da modelagem matemática em hidrologia urbana, contribuindo para a redução de incertezas em etapas de diagnóstico de funcionamento de sistemas existentes, de concepção e de dimensionamento de soluções de controle de escoamentos e de redução da poluição de origem pluvial em contexto urbano;
- permitir a construção de relações entre diferentes padrões de ocupação urbana e alterações de processos hidrológicos (relação chuva-vazão, poluição difusa de origem pluvial), possibilitando o estabelecimento de indicadores que orientem decisões sobre o uso do solo urbano em função da suscetibilidade do meio a impactos potenciais.

Vários temas, na modalidade de **desenvolvimento tecnológico**, encontram-se associados ao domínio, nas áreas de monitoramento e modelagem e do estabelecimento de indicadores e critérios para a gestão das águas em meio urbano.

O **monitoramento hidrológico e de qualidade de água** em contexto urbano apresenta especificidades e dificuldades não desprezíveis que justificam esforços de desenvolvimento tecnológico sobre temas tais como:

- o desenvolvimento de tecnologia associada a equipamentos de medição e de transmissão de dados;
- o aprimoramento de procedimentos de concepção, projeto e operação de redes de monitoramento;
- o desenvolvimento de técnicas para o processamento de dados: tratamento de dados e análise de incertezas, base de dados, interfaces com modelos hidrológicos e hidráulicos e com sistemas de informação geográfica, políticas, procedimentos e meios de difusão de dados.

Em **modelagem matemática hidrológica e hidráulica** em meio urbano, um dos temas emergentes é o da interface entre os modelos, bases de dados de monitoramento e sistemas de informação geográfica. Nesse aspecto, desenvolvimentos com elevado potencial de inovação encontram-se relacionados às interfaces entre modelos hidrológicos e técnicas modernas de monitoramento, como o uso de radar para a medição de campos de precipitação e a teletransmissão de dados.

A modelagem dos escoamentos em áreas urbanas é complexa em razão da diversidade da ocupação urbana, de interfaces entre o escoamento à superfície e escoamentos em redes de canais subterrâneos de drenagem, de mudanças sucessivas de regimes de escoamento, da presença de resíduos sólidos e de sedimentos no escoamento. A modelagem matemática de qualidade de água permanece um tema que requer esforços significativos de desenvolvimento. O aprimoramento de técnicas de modelagem e esforços para a quantificação e a redução de incertezas nesse campo constitui-se, portanto, em objetos relevantes de desenvolvimento tecnológico.

Finalmente, dentro do domínio em foco, a construção de indicadores que permitam avaliar a efetividade de medidas de controle de inundação e de poluição

de origem pluvial ou que orientem a decisão sobre o uso do solo tendo em vista impactos potenciais sobre os processos hidrológicos em contexto urbano são temas com potencial significativo para contribuir para o aprimoramento da gestão urbana, em geral, e da **gestão de águas urbanas**, em particular.

Desenvolvimento de tecnologias compensatórias em drenagem pluvial

Conforme evidenciado no quadro 2, tecnologias compensatórias em drenagem pluvial mudam paradigmas de gestão de águas pluviais em meio urbano estabelecidos e empregados há mais de um século. Essas soluções têm impacto positivo sobre os escoamentos e a poluição difusa de origem pluvial, porém, ao mesmo tempo colocam problemas de conhecimentos fundamentais e de desenvolvimento de tecnologia como requisitos para sua difusão e adequado emprego.

O aprofundamento dos conhecimentos sobre os riscos sanitários e epidemiológicos relacionados com o emprego de técnicas de infiltração e armazenamento de águas originárias de escoamento pluvial é um dos temas de **pesquisa aplicada** nesse domínio. Outra questão igualmente relevante em pesquisa básica é a avaliação dos riscos de poluição do solo e de aquíferos que podem decorrer do emprego dessas técnicas.

Aqui, deve-se enfatizar o controle de escoamentos como o principal propósito de emprego de soluções compensatórias. A redução da poluição difusa é um benefício complementar desejável. Porém, ações visando a redução de poluição difusa na bacia hidrográfica como medidas para reduzir as fontes difusas de resíduos sólidos são necessárias, entre outros benefícios, para assegurar o adequado funcionamento dos sistemas de drenagem pluvial, incluam eles soluções compensatórias ou não.

Um amplo campo abre-se, na atualidade, para o **desenvolvimento de tecnologias** compensatórias de drenagem pluvial, podendo-se enumerar, entre outros, os seguintes tópicos:

- materiais construtivos: escolha de materiais adequados, avaliação de desempenho e de durabilidade tendo em vista as características físicas, químicas e biológicas das águas afluentes;
- concepção e projeto: desenvolvimento de critérios, indicadores e métodos de suporte à decisão sobre a escolha de soluções compensatórias, desenvolvimento de critérios hidrológicos, hidráulicos e operacionais de projeto desse tipo de solução;
- operação: avaliação de eficiência das soluções compensatórias em termos de controle de escoamentos e de redução da poluição difusa de origem pluvial; avaliação de impactos sobre o funcionamento dessas soluções de poluição por esgotos sanitários e por resíduos sólidos; avaliação global de requisitos de manutenção segundo o tipo de tecnologia empregada;
- identificação de áreas de interesse para a implantação de soluções compensatórias, com base em estudos geotécnicos, ambientais, modelagem hidrológica e hidráulica e emprego de sistemas de informação geográfica;
- avaliação de custos de implantação, operação e manutenção para os diversos tipos de solução tecnológica.

Tratamentos de fundo de vale – renaturalização de cursos d'água

Como no caso das tecnologias compensatórias em drenagem pluvial, tratamentos de fundo de vale alternativos às soluções estruturais mudam paradigmas correntes de gestão de águas pluviais em meio urbano. Essas soluções podem, igualmente, apresentar impactos positivos sobre o risco de inundação, além de criarem oportunidades para a valorização da presença da água em meio urbano, permitirem a criação de espaços de lazer associados à medidas de redução de impactos de inundações e contribuírem para a proteção ou a recuperação de ecossistemas aquáticos em meio urbano.

De forma similar ao caso do emprego de soluções compensatórias, o aprofundamento dos conhecimentos sobre os riscos sanitários e epidemiológicos relacionados com alternativas de tratamento de fundos de vale é um tema relevante de **pesquisa aplicada** nesse domínio. Outras questões importantes de pesquisa básica estão relacionadas com o conhecimento sobre o funcionamento de ecossistemas ribeirinhos e fluviais, em meio urbano, bem como sobre os impactos de mudanças de regime hidrológico e de poluição difusa e concentrada sobre esses ecossistemas.

Tratamentos alternativos de fundos de vale requerem **desenvolvimento tecnológico** sobre tópicos tais como:

- materiais de revestimento e estabilização de leito e margens: escolha de materiais adequados, avaliação de desempenho e de durabilidade tendo em vista as características físicas, químicas e biológicas das águas afluentes;
- concepção e projeto: desenvolvimento de critérios, indicadores e métodos de suporte à decisão sobre as escolhas alternativas de tratamento de fundos de vale tendo em vista objetivos múltiplos de redução de riscos de inundação, proteção de ecossistemas e integração no projeto urbano, desenvolvimento de critérios hidrológicos, hidráulicos e operacionais de projeto;
- identificação de áreas de restrição de ocupação para fins de proteção de fundos de vale com base em estudos geotécnicos, ambientais, modelagem hidrológica e hidráulica e emprego de sistemas de informação geográfica para a delimitação de zonas inundáveis segundo riscos distintos de inundação;
- operação: avaliação global de requisitos de manutenção segundo o tipo de tecnologia empregada;
- avaliação de custos de implantação, operação e manutenção.

Desenvolvimento legal, institucional e de gestão

O Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, define e estabelece instrumentos importantes e inovadores com elevado potencial para o aprimoramento da gestão urbana, para a preservação ambiental e a redução de riscos naturais em contexto urbano, aí incluídas a preservação de áreas de mananciais, a redução de impactos da urbanização sobre meios receptores e o controle da ocupação de áreas de risco geotécnico e de inundação.

São exemplos os instrumentos que promovem a densificação de áreas com adequada infra-estrutura urbana e menos susceptíveis a danos ambientais ou a riscos naturais, procurando controlar a excessiva expansão urbana e a pressão sobre áreas de proteção ambiental. Os instrumentos de regularização fundiária previstos na lei contribuem para a urbanização de favelas, podendo melhorar as condições sanitárias dessas ocupações de baixa renda; reduzir riscos naturais e impactos sobre o meio ambiente. Outros instrumentos como o direito de preempção, as operações urbanas consorciadas e a transferência do direito de construir podem ser empregados pela administração pública municipal com base em objetivos de proteção e valorização ambientais. O Plano Diretor é o instrumento básico de política urbana, de orientação do desenvolvimento urbano e da expansão urbana, valendo-se de instrumentos como os acima mencionados².

As implicações para a CT&I dos requisitos de desenvolvimento institucional em gestão urbana, em geral, e em gestão das águas em meio urbano, em particular, são mais afeitas à necessidade de aprimoramento de mecanismos e de instrumentos de gestão, de transferência de tecnologias e de treinamento de recursos humanos.

São alguns exemplos de temas a tratar, em termos do desenvolvimento de mecanismos e instrumentos de planejamento e gestão:

- Desenvolvimento de metodologias de planejamento urbano integrado e de planejamento setorial de saneamento e de recursos hídricos;

² O texto da lei e artigos de interpretação da mesma podem ser encontrados em Saule Jr e Rolnik, 2001.

- Desenvolvimento de base de dados, informações e indicadores de uso do solo, de vulnerabilidade de espaços construídos a riscos sanitários e naturais, de nível de degradação ambiental, de vetores de desenvolvimento urbano, e outros que possam orientar a gestão urbana;
- Desenvolvimento de base legal e regulamentar para adoção de soluções compensatórias de drenagem pluvial e para o tratamento de fundos de vale, como a adoção de vazões de restrição, o zoneamento urbano para fins de drenagem pluvial, com restrição de ocupação de áreas destinadas à implantação de equipamentos como bacias de retenção, plano de infiltração e outros, ou sujeitas a riscos de inundação;
- Inserção em documentos de urbanismo, como o zoneamento urbano e a lei de uso e ocupação de solo, da delimitação e do controle de ocupação de zonas de risco de inundação e de risco geotécnico;
- Desenvolvimento de instruções normativas e regulamentares para a realização de estudos e de projetos.

O emprego de instrumentos econômicos como a cobrança pela alteração de regime hídrico e pela geração de poluição difusa associada à urbanização na forma, por exemplo, de uma taxa de drenagem pluvial, apresenta aspectos técnicos, operacionais e legais que requerem aprofundamento por meio da realização de pesquisa aplicada.

A gestão do risco de inundação e o emprego de metodologias como a análise custo-benefício para a avaliação de medidas de redução deste tipo de risco requer desenvolvimento metodológico em avaliação de prejuízos diretos e indiretos causados por inundações, em análise de vulnerabilidade de espaços construídos a inundações e em estimativa de custos de diferentes alternativas de controle, particularmente aquelas que envolvem a participação ativa das comunidades concernidas.

Avaliações de percepção de risco de inundação e de formas de organização social para fazer face à crise durante eventos de inundação são temas de

pesquisa importantes para subsidiar a escolha de alternativas de controle de inundação, etapa na qual, a participação social é indispensável. São também relevantes para a concepção e implementação de planos de contingência.

A cooperação intermunicipal é indispensável em regiões metropolitanas, por razões intrinsecamente técnicas dos sistemas hidráulicos de infra-estrutura urbana, e em decorrência da necessidade de harmonização de políticas de desenvolvimento urbano, de habitação, ambiental e de recursos hídricos na escala espacial de grandes conglomerados urbanos. A definição da bacia hidrográfica como unidade territorial de gerenciamento de recursos hídricos no contexto do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sua repercussão sobre o uso dos recursos hídricos e sobre a própria ocupação do território, estabelece uma nova base territorial que incita à cooperação intermunicipal.

Do ponto de vista institucional e de gerenciamento, torna-se necessário o desenvolvimento de procedimentos, métodos e indicadores que dêem suporte à decisão sobre os usos de recursos hídricos e de outros recursos naturais, que promovam a cooperação, a solução de conflitos e facilitem a harmonização de políticas a serem desenvolvidas em diferentes escalas territoriais e dependentes da ação de diferentes atores com interesses diversos.

O emprego de instrumentos tecnológicos, gerenciais e regulamentares inovadores requer uma evolução significativa das estruturas de gestão urbana, em geral, e da gestão das águas em espaço urbano, em particular. Um grande esforço de treinamento e atualização tecnológica e gerencial de recursos humanos para atuação em níveis diversos da administração pública municipal deve ser empreendido, no que o Fundo CT-Hidro tem um papel relevante a desempenhar.

3.2.2 Oportunidades de Inovação: Esgotamento Sanitário

Do ponto de vista dos sistemas hídricos, as carências em infra-estrutura de esgotamento sanitário representam fontes de poluição concentrada que podem

resultar em redução da disponibilidade hídrica por deterioração de qualidade de água dos meios receptores. Nesse sentido, as ações de CT&I na interface entre saneamento e recursos hídricos devem orientar-se segundo objetivos de redução de impactos de lançamentos de efluentes de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sobre os meios receptores ao nível que assegure a disponibilidade do recurso hídrico segundo metas de qualidade estabelecidas, por exemplo, por meio do instrumento de enquadramento de corpos d'água.

Supondo que se mantenham os atuais conceitos tecnológicos de esgotamento sanitário, ou seja, o uso de sistema separador absoluto com estações de tratamento de esgotos localizadas nas extremidades de redes coletoras, os esforços de redução da poluição pontual de meios receptores devem concentrar-se em fazer os sistemas reais de infra-estrutura de coleta aproximarem-se do sistema conceitual. Isso significa desenvolver ações no sentido de:

- reduzir as interconexões indevidas entre as redes pluvial e de esgotos sanitários;
- realizar os investimentos necessários em implantação de sistemas de coleta de esgotos (redes coletoras e interceptores) e assegurar-se da adequada conexão entre as redes coletoras e os interceptores;
- realizar os investimentos necessários em implantação de estações de tratamento de esgotos;
- garantir a adequada operação e manutenção dos sistemas.

Mudanças de paradigma de sistemas de esgotamento sanitário, por exemplo, tendo por referência conceitos de tratamento dos esgotos o mais próximo possível das fontes geradoras³ requerem investimentos consideráveis em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico e institucional. Entre essas alternativas encontra-se a opção pela implantação de ETE's por micro-bacia de coleta, dispersando-se a infra-estrutura de tratamento pela área urbana. Ainda no campo de inovações encontram-se opções de redes coletoras, tratamento e disposição

³ Geralmente referenciadas na literatura em língua inglesa como mudança de conceitos de *end of pipe* para *source control*.

diferenciados, para águas servidas e esgoto fecal, potencializando, para determinados usos da água, a adoção do reúso (ver item 3.1.1).

Alternativas inovadoras como essas certamente requerem investimentos em pesquisa aplicada, como a relacionada com a avaliação de riscos sanitários, epidemiológicos e ambientais. Colocam-se, igualmente, questões afeitas à operação e manutenção de sistemas dispersos, em seus aspectos organizacionais, de recursos humanos e de custos.

Avanços significativos em CT&I com potencial efetivo a contribuir para a implementação de ações como as acima listadas, porém mais afeitas a sistemas do tipo *end of pipe*, foram realizados nos últimos anos, notadamente por intermédio de programas de pesquisa de longa duração desenvolvidos por redes de instituições de pesquisa. Estes avanços se deram, por exemplo, em processos de tratamento de esgotos como também em avaliação de condições operacionais de sistemas existentes⁴ e em desenvolvimento de instrumentos de suporte à decisão para a escolha de técnicas de tratamento segundo diferentes critérios.

Restam questões de **pesquisa tecnológica** e de **desenvolvimento institucional** nesse domínio que ainda requerem desenvolvimento, tais como:

- o desenvolvimento de critérios para a escolha de modalidades de tratamento de esgotos e seu dimensionamento segundo requisitos de lançamento compatíveis com padrões de qualidade de água definidos pelo enquadramento de corpos receptores (e.g. eficiência de modalidades de tratamento em remoção de DBO, SS, organismos patogênicos, nutrientes, compostos tóxicos ...);
- o desenvolvimento de metodologias de suporte à decisão para a priorização de investimentos em sistemas de coleta e tratamento de esgotos compatíveis com requisitos de qualidade dos meios receptores

⁴ A título de exemplo, um projeto de pesquisa desenvolvido em parceria por equipes da USP e da UFMG, com financiamento do CT-Hidro, avaliou o desempenho de diversas modalidades de tratamento de esgotos em operação nos Estados de São Paulo e Minas Gerais e sua conformidade com padrões de eficiência para tratamento de esgotos estabelecidos pela ANA – Programa Prodes. Foram avaliadas 206 ETEs tendo-se identificado problemas operacionais que reduzem a eficiência em tratamento de forma bastante significativa (www.usp.br/fau/pesquisa/infurb/urbagua/).

definidos pelo instrumento de enquadramento e com os recursos financeiros disponíveis;

- o desenvolvimento de metodologias para a avaliação de efetividade e atendimento a padrões de qualidade nos meios receptores de implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos;
- a modelagem matemática de qualidade de água em corpos receptores como uma ferramenta importante para avaliar a efetividade de diferentes estratégias de tratamento de esgotos bem como para permitir priorizar investimentos em sistemas de coleta e tratamento de esgotos com base no atendimento a padrões de enquadramento de corpos d'água;
- o desenvolvimento de técnicas para a detecção e correção de interconexões indevidas entre redes pluvial e de esgotamento sanitário;
- o estabelecimento de padrões de monitoramento de estações de tratamento de esgotos segundo as diferentes modalidades de tratamento e dimensões dos sistemas;
- a formação e o treinamento de profissionais técnicos para a operação e manutenção de sistemas de esgotamento sanitário.

3.3 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Em grandes áreas urbanas, os principais problemas de interface entre saneamento e recursos hídricos relacionados com a gestão de resíduos sólidos são os seguintes:

- resíduos sólidos não coletados que permanecem depositados em encostas, talvegues e áreas úmidas, representando riscos de poluição física e química e produzindo distúrbio ao funcionamento hidráulico de estruturas de drenagem quando mobilizados e transportados por águas de escoamento pluvial;

- a presença de lixões e aterros não controlados que representam risco de contaminação de recursos hídricos, em particular, de águas subterrâneas.

As principais iniciativas em CT&I nesse domínio são:

- a avaliação de requisitos técnicos, organizacionais, operacionais e econômico-financeiros para a intensificação da reciclagem de resíduos sólidos;
- o desenvolvimento de técnicas de coleta de resíduos sólidos em regiões faveladas, vilas e outras ocupações urbanas com precária infra-estrutura viária, o que torna inviável a utilização de veículos motorizados;
- o desenvolvimento de técnicas para a retirada parcial ou totalmente automatizada de resíduos sólidos de sistemas de macrodrenagem como canais e bacias de retenção.

4. AS INTERFACES EM CIDADES DE PORTE MEDIO E PEQUENO NÃO INSERIDAS EM AREAS METROPOLITANAS

Uma parte significativa dos problemas e questões de CT&I de interface saneamento e recursos hídricos discutidos no contexto de grandes cidades reproduzem-se, igualmente, em cidades de porte médio, com população entre 50 mil e 500 mil habitantes e, mesmo, para cidades de pequeno porte, com população inferior a 50 mil habitantes.

Entretanto, há mudanças de escala dos problemas e, são fatores relevantes para a proteção dos recursos hídricos, a dispersão das áreas urbanas na bacia hidrográfica e o nível de desenvolvimento regional. Essas variáveis podem determinar pressões de demanda ou efeitos combinados de poluição da água em corpos receptores decorrentes de lançamentos em pontos distintos da bacia hidrográfica que não são evidentes quando se toma por base cada área urbana de forma individualizada.

De uma forma geral, as necessidades de desenvolvimento em CT&I em cidades de porte médio e pequeno são em grande parte semelhantes àquelas definidas para grandes áreas urbanas. Deve-se reconhecer que soluções tecnológicas aplicadas com sucesso em grandes cidades tendem a se repercutir para áreas urbanas de menor porte. Problemas surgem, entretanto, quando essas transferências são feitas de forma incompleta, com simplificações indevidas em concepção, projeto e operação, bem como quando são adotadas na ausência de uma avaliação crítica de pertinência e adequação. Especificidades devem ser reconhecidas, como por exemplo, o maior potencial para o emprego de soluções estáticas de esgotamento sanitário em cidades de pequeno porte.

Portanto, há nesse domínio esforços consideráveis a desenvolver nos campos de transferência de tecnologia, formação e treinamento de recursos humanos. Nesse aspecto, a cooperação intermunicipal pode ser um meio de se obter economia de escala para constituírem-se equipes de profissionais competentes a atender a demanda de serviços tais como a formulação de políticas, a análise de concepção de sistemas e de projetos, o controle operacional de sistemas, a gestão de contratos, a atualização tecnológica e outros que, em uma palavra, define a expertise em planejamento e gestão de ações de saneamento. Uma discussão sobre diferentes arranjos institucionais visando a constituição de uma organização intermunicipal de expertise em saneamento encontra-se em Baptista e Nascimento (2002).

Conforme já mencionado para áreas metropolitanas, a definição da bacia hidrográfica como unidade territorial de gerenciamento de recursos hídricos no contexto do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sua repercussão sobre o uso dos recursos hídricos e sobre a própria ocupação do território, estabelece uma nova base territorial que incita à cooperação intermunicipal mesmo entre cidades que não se encontram associadas a regiões metropolitanas.

5. AS INTERFACES EM ZONAS RURAIS E REGIÕES SEMI-ARIDAS

Para as ações de saneamento, as zonas rurais apresentam problemas específicos de dispersão e de baixa densidade populacional. Existem soluções tecnológicas bem conhecidas para tratar esse tipo de problema, como por exemplo, os sistemas estáticos para o tratamento de esgotos. Os maiores problemas de saneamento, nesse contexto, estão relacionados com a apropriação das soluções de saneamento pela população e com a prestação de serviços técnicos de operação e manutenção de sistemas.

A prestação de serviços técnicos de operação e manutenção de sistemas representa dificuldades organizacionais e de custos justamente em razão da dispersão de um grande número de pequenos sistemas por áreas extensas. Deve-se ressaltar que a frequência necessária para as atividades de operação e manutenção é pequena e que essas tarefas não são de elevada complexidade, portanto, os custos operacionais são relativamente baixos. Porém, um dos limitadores da prestação dos serviços é o baixo nível de renda da maioria da população de zonas rurais.

Portanto, um dos problemas que se colocam para a CT&I é de conceber e avaliar alternativas de prestação de serviços de apoio técnico à concepção, projeto, instalação e operação de sistemas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de disposição de resíduos sólidos para usuários individuais e pequenas comunidades, em meio rural.

Além dos aspectos organizacionais e gerenciais desse tipo de serviço, alguns aspectos de desenvolvimento de tecnologia requerem ações de CT&I, tais como:

- avaliação das técnicas de coleta de águas pluviais para fins de abastecimento de água: materiais, processos construtivos, apropriação pelos usuários, qualidade da água estocada e sua evolução durante longos períodos de estocagem, riscos de contaminação, riscos à saúde, custos de implantação e operação;

- avaliação de técnicas estáticas de esgotamento sanitário – há uma vasta literatura brasileira e internacional sobre o tema, porém cabem ainda questões relacionadas com: materiais, processos construtivos, apropriação pelos usuários, requisitos de manutenção, riscos à saúde e riscos ambientais, custos de implantação e operação.

6. CONCLUSÕES

O presente texto procurou avaliar oportunidades de pesquisa aplicada e de desenvolvimento de tecnologia nas áreas de interface entre recursos hídricos e saneamento. Esse exercício de prospecção foi realizado com o propósito de fornecer, em caráter preliminar, subsídios à identificação de áreas temáticas nessa região de interface, como parte do processo de decisão sobre investimentos em CT&I, no âmbito do Fundo Setorial CT-Hidro.

O esforço realizado procurou, sobretudo, identificar temas que representem potencial de inovação, de uma forma geral, como também de solução de problemas atuais típicos do contexto brasileiro que se expliquem por gargalos de conhecimento básico, de desenvolvimento tecnológico e de desenvolvimento institucional.

Não se elaborou, nessa etapa, um ensaio de priorização de ações a partir dos temas enumerados, uma vez que o texto faz parte de uma das primeiras etapas metodológicas do trabalho de prospecção desenvolvido pelo CGEE. Esse documento será, ainda, objeto de análise, discussão e complementação, por grupos de especialistas, antes que se chegue à fase de recomendações. Procurou-se, entretanto, apresentar, para cada tema sugerido, uma argumentação justificativa que evidencie sua pertinência e de sua relevância, no contexto atual de conhecimento científico e de estágio tecnológico, no Brasil, na área foco do trabalho.

Finalizando, corrobora-se a proposta presente em Heller (2003) de que se desenvolva um plano diretor de pesquisas em saneamento, com a participação de diferentes segmentos relacionados à pesquisa nessa área. O plano diretor de pesquisas teria por objetivo central fornecer bases e respaldo a uma futura política de pesquisas na área de saneamento, para o que a presente reflexão sobre temas de interface com a área de recursos hídricos poderá fornecer subsídios preliminares de discussão e avaliação.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Araújo, P.R., Tucci, C.E.M., Goldenfum, J.A. Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, In Tucci, C.E.M. e Marques, D.M.L.M. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000, pp. 351-362.

Azzout, Y., Barraud, S., Cres, F.N., Alfakih, E. Techniques alternatives en assainissement pluvial. Paris: Lavoisier, 1994, 371 p.

Balades, J.D., Petitnicolas, F. Les strategies de reduction des flux polluants par temps de pluie à la source: approche technico-économique, In: 4th International conference on innovative technologies in urban drainage, NOVATECH, Lyon, França, 2001, p. 299-306.

Baptista, M., Barraud, S., Alfakih, E. Analyse de données pour l'élaboration d'indicateurs technico-économique de systèmes alternatifs en assainissement pluvial, In: 4th International conference on innovative technologies in urban drainage, NOVATECH, Lyon, França, 2001, p. 299-306.

Baptista, M. B., Nascimento, N. O., Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n.1, 2002, p. 29-49.

CERTU: Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. Techniques alternatives: aux réseaux d'assainissement pluvial. Lyon: CERTU, 1998, 155 p.

Costa, F.J.L., Estratégias de Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Brasil: áreas de cooperação com o Banco Mundial, série Água Brasil, vol. 1, Brasília: Banco Mundial, 2003, 177 p.

Cruz, M.A.S., Tucci, C.E.M., Silveira, A.I.I. Controle de escoamentos em lotes urbanos com retenção, In Tucci, C.E.M. e Marques, D.M.L.M. Avaliação e

controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000, pp. 363-382.

Ellis, J.B. Design consideration for the use of vegetative controls for the treatment of highway discharges, in Ellis, B. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Proceedings of the IAHS at IUGC XXII General Assembly of the International Quality, Birmingham: IAHS, 1999, pp. 349-356.

Ferreira, M.E.M.V., Análise técnica e econômica do reúso de águas pluviais: estudo de caso na RMBH, Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Belo Horizonte, 2003, 278 p.

Goldenfum, J.A., Souza, V.C.B. Infiltration trenches in urban runoff control: an experimental study, In: 4th International conference on innovative technologies in urban drainage, NOVATECH, Lyon, França, 2001, p. 1039-1046.

Heller, L., Nascimento, N.O. e Paiva, J.E.M. Saneamento, In: Minas Gerais do século XXI. V. 3 – Infra-Estrutura: sustentando o desenvolvimento. Belo Horizonte: Roma Editora, 2002.

Heller, L. Pesquisa e desenvolvimento na área de saneamento no Brasil: necessidades e tendências, (mimeo), 2003,

Hespanhol, I., Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n.4, 2002, p. 75-95.

Herson-Jones, L.; Heralty, M.; Jordan; B. Riparian buffer strategies for urban watersheds. Washington: Water Ressources Publications, LLC, 127 p.

Jefferies, C., Govier, A., Bradshw, K. Improving degraded urban water courses in eastern Scotland: a case study, in Ellis, B. Impacts of Urban Growth on Surface

Water and Groundwater Proceedings of the IAHS at IUGC XXII General Assembly of the International Quality, Birmingham: IAHS, 1999, pp. 373-379.

Leopold, L. B. Hydrology for urban land planning - a guidebook on the hydrologic effects of urban land use. Washington: Geological Survey Circular 554, 1968, 19 p.

Nascimento, N.O., Baptista, M.B. e Cordeiro Netto, O. Sustainable Development of Water Resources in the Context of a Developing Country - the case of Brazil. Anais da International Conference on Water Resources & Environmental Research, Kyoto, Vol. II, 1996, p. 627 a 634.

Nascimento, N.O., Baptista, M.B., von Sperling, E., Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999 – anais eletrônicos.

Nascimento, N.O., Ellis, J.B., Baptista, M.B. e Deutsch, J.-C., Using detention basins: operational experience and lessons, Urban Water, n. 1, v.1, 1999, p. 113-124.

Oliveira, M. G. B. e Baptista, M. B. Avaliação da produção de sedimentos por evento na bacia hidrográfica da Pampulha, em Belo Horizonte, in Anais da III Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de língua oficial Portuguesa, APRH, ABRH e AMCT, Maputo, Moçambique, 1997, v. 3, pp. 224-233.

Pearce, D.W. e Warford, J.J., World Without End: economics, environment, and Sustainable development, Oxford: Oxford University Press, 1993, 440 p.

PNSB: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2000, Rio de Janeiro: IBGE, 2000, 431 p.

Porto, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. in Tucci, C. E. M., Porto, R. L. e Barros, M. T. (Ed.), Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH - Editora da Universidade UFRGS, 1995, p. 387-428

Ramos, M. H. D. Drenagem Urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1998 (Dissertação, Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos).

Revitt, M., Shutes, B., Scholes, L. The use of constructed wetlands for reducing the impacts of urban surface runoff on receiving water quality, in Ellis, B. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Proceedings of the IAHS at IUGC XXII General Assembly of the International Quality, Birmingham: IAHS, 1999, pp. 349-356.

Riley, A.L. Restoring streams in cities : a guide for planners, policymakers and citizens. Washington : Island Press, 1998, 423 p.

Schueller, T. R. Controlling urban runoff. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987, 275 p.

STU, Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales. Paris: Technique et Documentation-Lavoisier, 1994, 276 p.

SUDECAP. DRENURBS-BH: Programa de recuperação ambiental e saneamento dos fundos de vale e dos córregos em leito natural de Belo Horizonte – Termo de Referência, Belo Horizonte, 2001, 39 p.

Tucci, C.E.M. e Collishonn, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In Tucci, C.E.M. e Marques, D.M.L.M. Avaliação e controle da drenagem urbana – Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000, pp. 119 – 127.

Urbonas, B.; Stahre P. Stormwater - Best management, practices and detention for water quality, drainage, and CSO management. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993, 449 p.

Valiron F. e Tabuchi J.-P., Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie. Paris: Technique et Documentation-Lavoisier, 1992, 564 p.

Waal, L. C.; Large, A.R.G.; Wade, P.M. (ed.). Rehabilitation of rivers. Principles and implementation. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2000, 331 p.



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Anexo II-d

Saneamento

Documento Final

Léo Heller

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade Federal de Minas Gerais

Dezembro, 2003

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. ANTECEDENTES	6
3. PESQUISA EM SANEAMENTO: POR QUE E PARA QUE(M)	8
4. PESQUISA EM SANEAMENTO: O QUE PESQUISAR? (OS OBJETOS)	17
5. PESQUISA EM SANEAMENTO: COMO PESQUISAR? (OS CAMPOS CIENTÍFICOS, A NATUREZA DA INVESTIGAÇÃO, OS MÉTODOS)	26
CATEGORIAS DOS SUB-PROJETOS, SEGUNDO A NATUREZA DAS PESQUISAS.....	27
OBSERVAÇÃO	27
6. TÓPICOS ADICIONAIS ENVOLVIDOS	31
7. UM POSSÍVEL PROTOCOLO PARA A CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM SANEAMENTO	33
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	35
9. ANEXOS	37
9.1 DOCUMENTO BASE PARA CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM SANEAMENTO	37
9.2 RESPOSTA AO PROTOCOLO PARA A CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM SANEAMENTO.....	45

“O saneamento tem sua história, sua arqueologia, sua literatura e sua ciência. A maior parte das religiões interessa-se por ele. A sociologia o inclui em sua esfera. Seu estudo é imperativo na ética social. É necessário algum conhecimento de psicologia para compreender seu desenvolvimento e seus reveses. É requerido um sentido estético para se alcançar sua plena apreciação e a economia determina, em alto grau, seu crescimento e sua extensão... Com efeito, quem decide estudar essa matéria com um crescimento digno de sua magnitude, deve considerá-la em todos os seus aspectos e com ... riqueza de detalhes.”

(Reynolds, 1943¹)

1. INTRODUÇÃO

Discussões ampliadas e qualificadas sobre as desejáveis prioridades nacionais no campo da ciência e tecnologia, que efetivamente subsidiem políticas setoriais, são lamentavelmente escassas no país, ainda que esforços recentes mais gerais tenham sido desenvolvidos^{2,3,4}. Se essa assertiva é verdadeira para a Ciência e Tecnologia em seu âmbito global, mais do que em outros campos do conhecimento é, certamente, aplicável ao setor de saneamento especificamente. É claro, para os que se ocupam em avaliá-lo, que o campo do saneamento vem se encontrando imerso em um ambiente de rarefeitos debates sobre o papel social que tem a cumprir e sobre a sua mais adequada moldura regulatória, legal e institucional, ainda que alguns meritórios esforços recentes possam ser percebidos. Evidentemente, tal ambiente colabora com a dificuldade em se localizar os rumos da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico que pudessem se alinhar a uma perspectiva de contribuição com a sociedade.

Mesmo se compreendendo que a pesquisa, básica ou aplicada, deve se constituir em um espaço de liberdade e criatividade, a partir de onde novas perspectivas possam emergir, o presente documento parte do pressuposto de que a existência

¹ REYNOLDS, R. *Cleanliness and godliness*. Londres: George Allen and Unwin, 1943, apud FAIR, G.M., GEYER, J.C., OKUN, D.A. *Ingeniería sanitaria y de aguas residuales*. V. I: Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales. México: Limusa, 1980.

² SILVA, C.G., MELO, L.C.P. *Ciência, tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira* (Livro verde). Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia/Academia Brasileira de Ciências, 2001. 278p.

³ Ministério da Ciência e Tecnologia. *Programa de ciência e tecnologia para o desenvolvimento social*. Brasília: MCT, 2002. 76p.

⁴ Programa Prospectar do Ministério de Ciência e Tecnologia (<http://www.mct.gov.br/cct/prospectar/>, consultado em 25/06/2003).

de elementos norteadores é essencial para uma consistente e convergente política na área. Não se trata de contrapor pesquisa induzida com iniciativas espontâneas, uma vez que se deve buscar o adequado balanceamento entre ambas as estratégias. Mas, o princípio orientador destas reflexões assenta-se na convicção de que a pesquisa e o desenvolvimento na área de saneamento, particularmente em um país com a nossa realidade, estará tanto mais contribuindo para o desenvolvimento nacional, quanto mais atentos estiverem com o estágio tecnológico do setor e suas necessidades, face às demandas presentes e futuras do atendimento à população. Obviamente, tal perspectiva reconhece a inteira pertinência de a pesquisa nacional, em compasso com o referencial da nossa realidade, manter-se absolutamente sintonizada com as tendências internacionais, mesmo com aquelas reflexões científicas que prognosticam futuras mudanças dos paradigmas que vêm orientando as atuais opções tecnológicas dominantes.

Em vista deste marco referencial, mas não desconhecendo a sexagenária advertência de Reynolds, quanto à complexidade e os múltiplos tentáculos característicos da relevante área do saneamento, estruturou-se o presente documento, visando subsidiar uma discussão a respeito do espaço institucional da pesquisa e desenvolvimento em saneamento e buscando também agregar reflexões como uma base referencial para a indispensável construção de uma política de mais largo prazo.

A estrutura adotada para o documento consta da breve descrição histórica dos antecedentes da pesquisa em saneamento no país; uma discussão a respeito de seus objetivos (porquês e para quês), dos objetos de pesquisa (o que pesquisar), dos métodos (como?); além de se pontuarem tópicos adicionais, a exemplo da disseminação de conhecimentos e da transferência dos resultados da pesquisa. Por fim, visando subsidiar uma discussão sobre prospecção, propõe-se um protocolo específico que foi aplicado junto a grupos de pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais, das áreas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, buscando testá-lo e realizar uma primeira prospecção sobre temas prioritários de pesquisa na área. Assume-se que um protocolo como o aplicado pode se constituir em

instrumento para classificação, priorização e posterior avaliação de uma política de P&D na área de saneamento.

2. ANTECEDENTES

A gênese da pesquisa em saneamento no Brasil guarda raízes comuns com outras iniciativas de investigação de natureza aplicada. Foi certamente no âmbito das instituições responsáveis pela provisão dos serviços que se iniciaram, ainda que não sistematicamente, investigações, testes, desenvolvimentos e avaliações na área, motivados, sobretudo pela transferência de técnicas e processos desenvolvidos nos países ricos e sua necessária adaptação à nossa realidade. Nesse particular, destaca-se a atuação pioneira da FSESP e do DNERU até a década de 1960, inclusive com iniciativas pioneiras, sobretudo no campo do desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao abastecimento de água e o esgotamento sanitário.

Com o advento do Planasa, na década de 1970, ao lado da implementação de um novo arranjo financeiro, político e institucional, localizam-se alguns esforços de incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento na área. Por um lado em decorrência de necessidades impostas pelo próprio aquecimento econômico do setor, e por outro por iniciativas específicas de fomento da pesquisa, localizam-se naquela década alguns esforços de investigação. Estes, certamente muito isolados e sem qualquer perspectiva de maior articulação nacional, distribuíram-se por algumas companhias estaduais de saneamento, pelos órgãos federais como a FSESP e por algumas universidades, e, em alguns casos, contaram com o apoio financeiro do então Banco Nacional de Habitação (BNH), organismo financiador das obras de saneamento. Naturalmente, a própria lógica conceitual do Planasa restringiu o investimento em pesquisa aos campos do abastecimento de água e do esgotamento sanitário.

Porém, apenas a partir da década de 1980, identifica-se uma atuação mais sistemática e consistente de organização da pesquisa nas universidades, com o apoio à formação de doutores, à estruturação de laboratórios de pesquisa, ao

fomento a projetos de investigação e à criação/consolidação da pós-graduação na área. Tal fato é essencial para a análise da evolução da pesquisa na área de saneamento, considerando ser a universidade - especialmente a pública - a instituição que concentra a quase totalidade da pesquisa no país⁵, embora não se deva desconhecer a existência de pesquisa e desenvolvimento, mesmo que em caráter disperso, em entidades prestadoras de serviço.

Nessa década, porém, talvez mais se tenha trabalhado para construir um ambiente de pesquisa que propriamente em sua realização. Ilustrativo depoimento do quadro ainda incipiente e desfocado que prevalecia até o final da década de 1980 é o artigo publicado por Ennes em 1991⁶, conhecido militante da área de saneamento, que advertia para “distorções ocorridas na Universidade Brasileira, ao se transpor, para o País, o modelo de pesquisa e pós-graduação das nações desenvolvidas”, defendendo a luta “pela pesquisa de ponta, sem nos esquecermos de que em certas áreas, como o saneamento e a saúde pública, estamos atrasados, às vezes, mais de 40 anos; [...] em tais casos, a tecnologia apropriada pressupõe uma boa dose de criatividade e outra, maior ainda, de humildade” (grifos deste autor).

Tal evolução propiciou que as décadas de 1990 e a presente se revelassem relativamente férteis no incentivo à pesquisa no País, de forma ampla e no setor especificamente. No primeiro caso, além dos programas tradicionais de fomento à pesquisa espontânea praticada pelas agências federais e algumas estaduais, foram lançados programas visando à consolidação de grupos de excelência, a exemplo do Pronex e dos Institutos do Milênio. No caso específico do setor ambiental e de saneamento, implementaram-se programas como o PADCT/CIAMB, a indução ao doutorado no exterior nas áreas de engenharia sanitária e engenharia ambiental pelo CNPq e, sobretudo, o Prosab - mais consistente e contínuo programa de apoio induzido à pesquisa e desenvolvimento na área -, além de programas de pesquisa do Cenepi/Funasa e do DENSP/Funasa e, no âmbito dos Fundos Setoriais, sobretudo o CT-Hidro, além

⁵ Segundo o Diretório dos Grupos de Pesquisa 2002 do CNPq (http://lattes.cnpq.br/censo2002/sumula/index_sumula.htm, acessado em 28/10/2003), cerca de 85% dos grupos de pesquisa concentram-se nas universidades públicas e segundo estatísticas da CAPES (<http://www.capes.gov.br/>, acessado em 28/10/2003), 82% dos matriculados em cursos de mestrado e 96% dos matriculados em doutorados o são em instituições públicas.

⁶ ENNES, Y.M. *A pesquisa universitária e suas interfaces: entre o faz-de-conta e o vamos ver!* Revista BIO, v.3, n.4, p.19-25. 1991.

de outros que vêm tangenciando o tema. É fundamental destacar que essa profusão de iniciativas, ainda que importantes e bem recebidas pela comunidade de pesquisadores, não significa necessariamente uma política de incentivo à pesquisa na magnitude e, especialmente, na melhor direção. Nesse último caso, ao contrário,

pela diversidade e variedade de enfoques, pode estar representando uma fragmentação de visão e uma não-convergência de objetivos.

3. PESQUISA EM SANEAMENTO: POR QUE E PARA QUE(m)

A relevância da área de saneamento para o desenvolvimento do país encontra um reconhecimento quase consensual pelos diversos segmentos sociais, o que não tem guardado correspondência com a (baixa) prioridade tradicionalmente reservada ao setor. As inaceitáveis carências de atendimento populacional, as iniquidades acumuladas, a insuficiente articulação intra e extra-setorial têm sido objeto de reiteradas constatações e de repetidas reivindicações visando à sua superação. Interessante observar que, mesmo autoridades governamentais de Ciência e Tecnologia vêm chamando a atenção para a essencialidade do setor⁷.

Contudo, limitar-se à constatação da importância da área de saneamento para o país e a sociedade, sem qualificar seu papel e, sobretudo o benefício potencialmente dela esperado, pode ser insuficiente. Em especial, quando não lastreada em evidências, cientificamente sólidas, caso freqüente no setor.

Assim, tem sido usual se recorrer a tais constatações para validar financiamentos, programas e mesmo o fomento à pesquisa na área. Trata-se, em geral, de um diálogo de dentro para fora, dos agentes do setor com aqueles externos a ele, mas que detêm os recursos para impulsioná-lo.

⁷O MCT, em sua publicação *Programa de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Social* (2002) afirma que “para os países em desenvolvimento, as inovações nos campos do saneamento, despoluição de bacias hidrográficas, tratamento de resíduos sólidos, métodos de produção mais limpa, entre outros, significarão avanço considerável na preservação do meio ambiente, combate às doenças de veiculação hídrica e elevação da qualidade de vida das populações que habitam as periferias dos grandes centros urbanos”.

Nessa perspectiva, questões raramente debatidas são: a implantação de obras e instalações de saneamento, intrinsecamente, conduz a benefícios à população? A seleção tecnológica é independente da identificação e qualificação dos benefícios? Diante da reconhecida necessidade de ampliação da cobertura por saneamento, seria supérfluo discutir e comparar alternativas tecnológicas, diferentes modelos de gestão ou avaliar o impacto das soluções espontaneamente adotadas pela população? Seria também supérfluo avaliar a efetividade de programas e intervenções, visando retroalimentar concepções futuras?

O presente documento defende que a resposta a essas questões deveria ser negativa. e que seria obrigação e responsabilidade do setor discutir-se; quanto às suas práticas, aos resultados de suas ações, às conveniências entre as diversas opções que se apresentam para resolver um problema técnico, à decisão por um dado modelo de gestão, à validação de uma experiência empírica. Tal discussão tem pertinência também no campo da pesquisa e desenvolvimento, já que, dado o quadro de carências e necessidades do setor, este também tem opções a realizar e rumos a tomar, diante de um leque de possibilidades.

Em suma, por que a pesquisa em saneamento? Com que sentido realizá-la? Para que realizá-la? Visando ao quê? Para quem realizá-la? Existiriam, em situações específicas, populações alvo específicas? Assume-se que o debate acerca dessas indagações cumpriria papel essencial em uma perspectiva de organizar o arcabouço conceitual da pesquisa na área, vislumbrando seu sentido, seus fins e seus cenários prospectivos. E se indagando permanentemente sobre a contribuição dela esperada. Tarefa de responsabilidade dos dirigentes do setor e das agências de fomento à pesquisa, mas também de todos os militantes do cotidiano das pesquisas que, nessa qualidade, tomam decisões, mesmo não explicitamente, decisões essas que influem na direção – esta também não necessariamente explícita – que a política científica segue.

Em uma primeira aproximação, podem se discutir os fins a serem buscados com as ações de saneamento no país, desde a formulação das políticas mais gerais até as ações operacionais e administrativas mais específicas. Nesse particular, dentre as formulações construídas sobre um possível paradigma a ser perseguido

pelas ações setoriais, as seguintes podem ser mencionadas, podendo representar uma de suas sínteses na atual conjuntura política do setor⁸:

- *Universalidade: atendimento universal da população alvo das intervenções.*
- *Equidade: equivalência na qualidade sanitária dos serviços, independente das condições socioeconômicas do usuário e da realidade urbanística onde vive.*
- *Integralidade: atendimento pelos serviços de saneamento com uma visão integral, que entenda o saneamento como um conjunto de ações, envolvendo, pelo menos, o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a limpeza pública, a drenagem pluvial e o controle de vetores.*
- *Titularidade municipal: reconhecimento e respeito à autonomia municipal, em coerência com o preceito constitucional.*
- *Gestão pública: a compreensão de que os serviços de saneamento são, por definição, públicos, prestados sob regime de monopólio, essenciais e vitais para o funcionamento das cidades, para a determinação das condições de vida da população urbana e rural, para a preservação do meio ambiente e para o desenvolvimento da economia.*
- *Participação e controle social: como requisito indispensável para tornar visível e legitimada a diversidade de interesses, bem como para a apropriação dos equipamentos de saneamento pela população.*
- *Intersetorialidade: integração com o desenvolvimento urbano, a saúde pública e com as áreas ambiental e de recursos hídricos entendida como indispensável para se atingir o pleno êxito das ações, por natureza complexas.*
- *Qualidade dos serviços: incluindo a regularidade, a continuidade, a eficiência, a segurança, a atualidade, a cortesia e a modicidade dos custos.*
- *Acesso: compatibilização da política tarifária com o poder aquisitivo do usuário, mediante a prática da modicidade dos preços.*

⁸ Projeto de avaliação das ações de saneamento do Projeto Alvorada. (Funasa, 2002).

Além dos nove atributos defendidos como resultantes das políticas e programas de saneamento, a mesma referência propõe que devam ser avaliados os seguintes efeitos da ausência ou inadequação dos serviços: (i) efeitos sobre a saúde – morbi-mortalidade ampliada devido à inadequação de saneamento ambiental, (ii) efeitos de natureza ambiental – ecossistemas comprometidos; (iii) efeitos de natureza sócio-política - exclusão social e redução dos níveis de cidadania. Trata-se de abordagem fundamental: “É por meio da identificação dos efeitos possíveis e desejáveis das ações de saneamento que efetivamente se poderão balizar escolhas e realizar avaliações, com implicações claras nas opções de pesquisa na área”.

Logo, a partir de um referencial tal como o apresentado, uma vez assumido como um padrão para os serviços, é possível se desencadear um debate sobre a distância entre a atual realidade do setor e tal padrão, identificando lacunas e necessidades e, como decorrência, estabelecendo diretrizes de pesquisa e desenvolvimento.

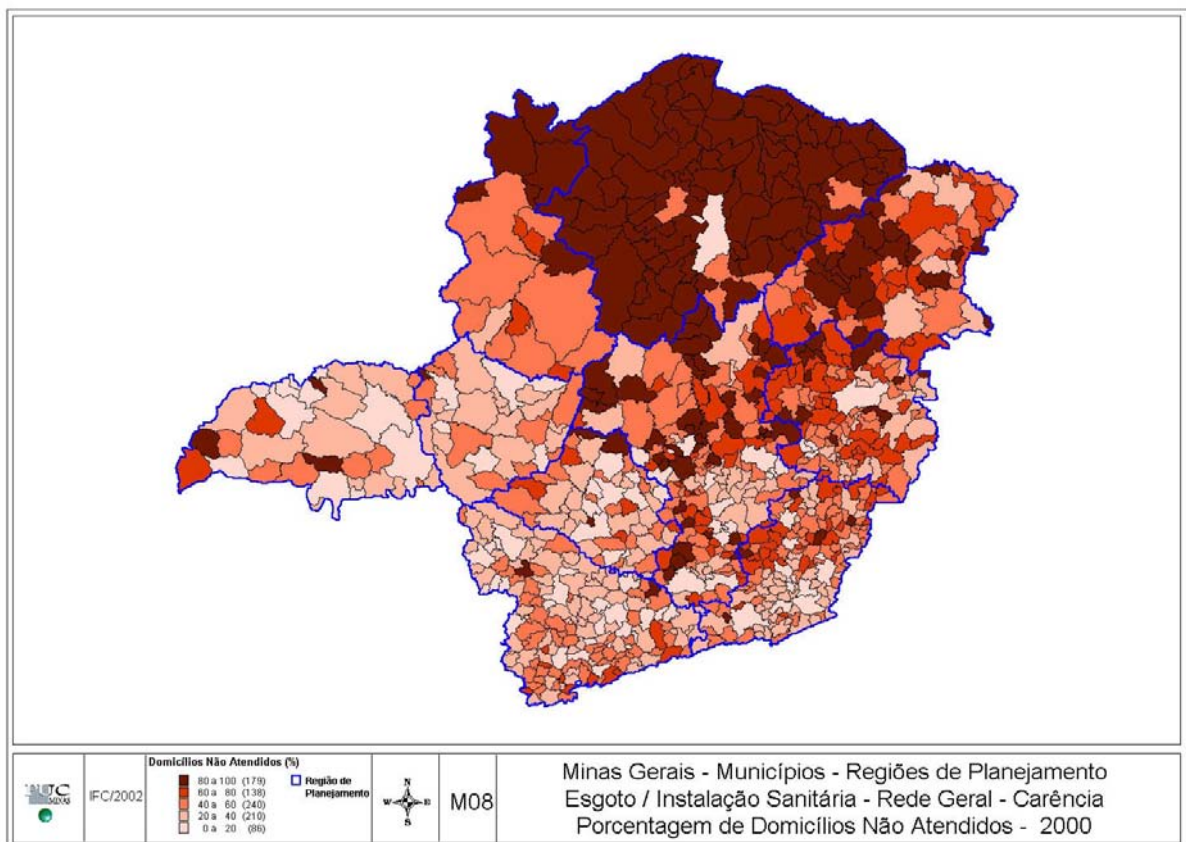
Outro importante aspecto é que a resposta às indagações, objeto desta seção, deve, necessariamente, considerar a realidade sócio-econômico-cultural do país, realidade sobre a qual os potenciais benefícios das ações e da pesquisa se aplicarão. Nesse particular, temas como o grau de desenvolvimento econômico do país, seus desequilíbrios sociais e ambientais e a maturidade das práticas políticas, vis-à-vis com cenários prospectivos que se desenham nos planos político, econômico e social, são relevantes para situar a área de saneamento e pautar a pesquisa setorial.

Em paralelo, e por sua especificidade mais impactante, a realidade sanitária decorrente das ações do próprio setor, deve se constituir em uma obrigatória moldura de referência para esse exercício. Aí, em primeiro lugar, uma visão analítica, a mais completa possível, do quadro de atendimento e de carências pelos serviços deve procurar ser traçado, à luz das informações atualmente disponíveis⁹, verificando a distribuição temporal e espacial dos diferentes

⁹ Dispõem-se, atualmente, de um importante e reconhecido conjunto de pesquisas sobre o quadro de saneamento no país, carente de uma análise mais pormenorizada e crítica. Destaquem-se os seguintes documentos recentemente publicados (e em geral disponibilizados eletronicamente): o Censo Demográfico 2000 do IBGE; a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB – do IBGE (2002), o Sistema Nacional de Informações em Saneamento – SNIS (2002) e a Pesquisa Nacional de Amostras Domiciliares – PNAD (IBGE).

serviços, bem como sua associação com variáveis demográficas, ambientais, socioeconômicas e de saúde pública. A título

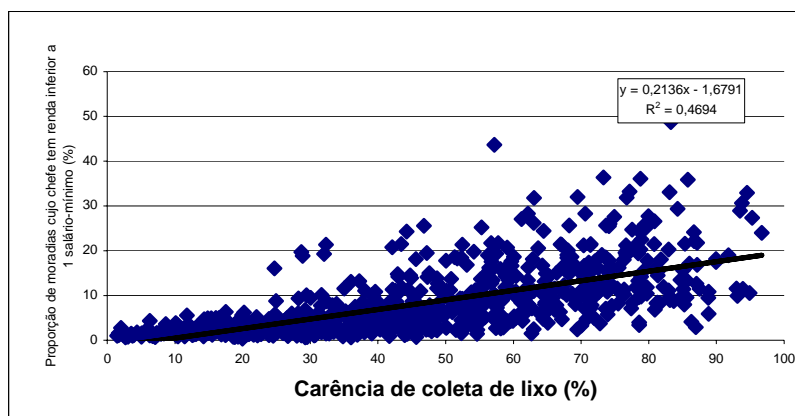
de ilustração, apresentam-se a seguir algumas possibilidades de análise a partir das referidas bases de informação¹⁰.



Fonte: IBGE. Censo demográfico (2000).

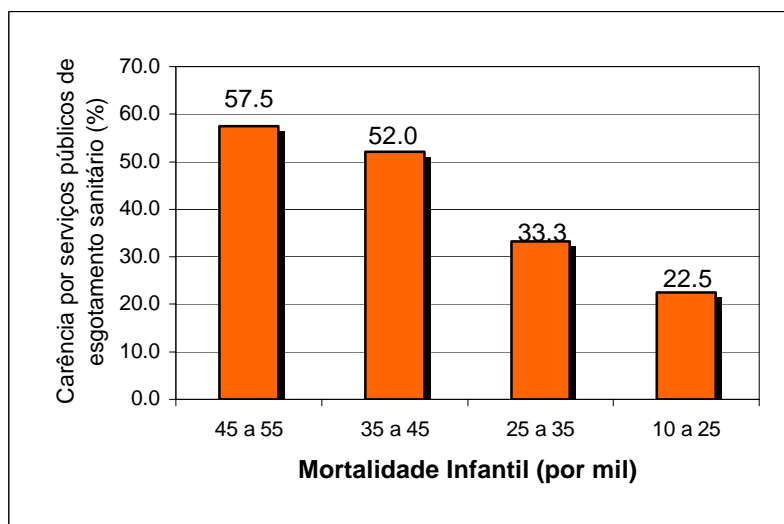
Figura 1- Municípios do Estado de Minas Gerais. Distribuição espacial dos níveis de carência de cobertura por esgotamento sanitário.

10 Figuras publicadas em HELLER, L.; NASCIMENTO, N. O.; PAIVA, J. E. M. *Saneamento* In: Minas Gerais do século XXI. V. 3 - Infra-estrutura: sustentando o desenvolvimento. Belo Horizonte : Rona Editora, 2002.



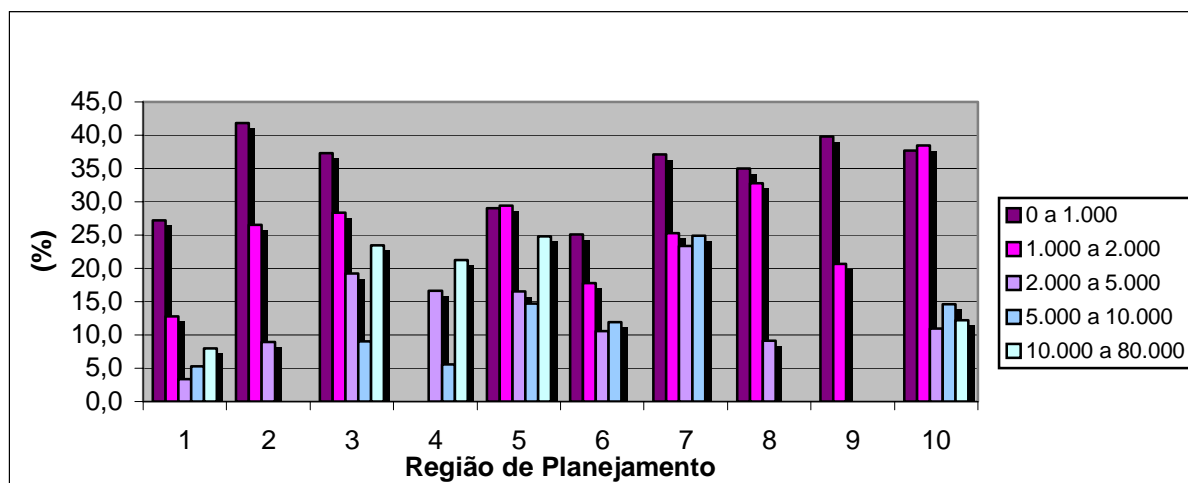
Fonte: Ministério das Cidades. SNIU - Sistema nacional de indicadores urbanos (2002)

Figura 2 - Municípios do Estado de Minas Gerais. Associação entre pobreza e carência de cobertura por coleta de lixo. 2000.



Fontes: IBGE. Censo demográfico (2000). IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico (2000).

Figura 3 - Municípios do Estado de Minas Gerais. Associação entre carência por esgotamento sanitário e classe de taxa de mortalidade infantil. 2000.



Fontes: IBGE. Censo demográfico (2000). Secretaria Estadual da Fazenda do Estado de Minas Gerais (2002).

Figura 4 - Municípios de Minas Gerais. Associação entre carência por abastecimento de água e Valor Adicional Fiscal (VAF) per capita.

Avaliando esses exemplos singelos, pode-se inferir onde se localizam as carências em saneamento nos municípios mineiros: na porção Norte-Nordeste de seu território, nos municípios com maior proporção de pobres e com menor arrecadação e naqueles em que é maior a mortalidade infantil. Obviamente, análises dessa natureza devem ser interpretadas com a cautela de que, se permitem vislumbrar a concentração dos déficits, as mesmas não possibilitam informação quanto à relação causa-efeito entre a carência de saneamento e os atributos analisados.

Outra categoria de análise, possibilitada pelas bases mencionadas, destacando-se a PNSB, corresponde à distribuição da utilização de diferentes soluções técnicas, podem fornecer indícios sobre o padrão tecnológico dominante. Assim, o estágio atual do desenvolvimento tecnológico do setor pode ser avaliado, cotejando o conhecimento dominado pelas universidades, institutos de pesquisa e profissionais, com seu estágio atual de aplicação. A Tabela 1 ilustra uma das possibilidades de análise, revelando a proporção de sistemas no país que empregam a denominada técnica convencional de tratamento de água, inferior ao número de sistemas que captam água em mananciais superficiais (43%), sugerindo imperfeições no condicionamento da água para consumo humano.

Região/país	Número total de distritos	Sem rede geral de água		Com tratamento de água		Com tratamento convencional de água	
		n	%	n	%	n	%
Norte	607	95	15,65	219	36,08	86	14,17
Nordeste	3084	534	17,32	1925	62,42	847	27,46
Sudeste	3115	107	3,43	2163	69,44	1586	50,91
Sul	2342	375	16,01	1210	51,67	645	27,54
Centro-Oeste	700	81	11,57	529	75,57	249	35,57
Brasil	9848	1192	12,10	6046	61,39	3413	34,66

Fonte: PNSB – 2000

(<http://www.ibge.gov.br/>)

Tabela 1 - Percentual de distritos segundo a característica do sistema de água.

A dimensão que necessita ser recuperada nessa discussão tecnológica refere-se ao grau em que as técnicas pesquisadas, desenvolvidas e aperfeiçoadas promovem, quando aplicadas em condições reais de campo, o benefício potencialmente idealizado, tanto em termos de seu funcionamento mais direto (e.g.: capacidade de um determinado processo de tratamento remover determinada substância), quanto em termos de seu benefício à população ou ao ambiente (e.g.: redução da ocorrência de dengue em população decorrente da implantação de sistema de drenagem urbana). Obviamente, entre a solução técnica testada em condições experimentais controladas e a sua aplicação prática, atuam *mediadores* de diversas naturezas – operacionais, gerenciais, administrativos, econômicos, culturais – que determinam a maior ou menor efetividade¹¹ do dispositivo ou do processo.

Entre esses mediadores, relevante e crucial influência é exercida pela gestão dos serviços, podendo tanto potencializar quanto restringir os benefícios. Igualmente, tema fundamental nessa discussão é o da apropriação dos serviços pela população, na medida em que, dependendo das características socioculturais da comunidade objeto das intervenções, freqüentemente não é curta a distância entre as soluções concebidas

¹¹ Entendida como extensão em que uma intervenção, procedimento, ou serviço, quando empregados em campo em circunstâncias rotineiras, realiza o que se pretende que realize em uma população específica e diferencia-se de **eficácia**, entendida como extensão em que uma intervenção, procedimento, ou serviço, em condições ideais, produz um resultado benéfico (LAST, J.M. A Dictionary of Epidemiology. 4ed. Oxford: International Epidemiological Association, 2001).

pelos técnicos e a aderência a elas pelos pretensos beneficiários. Nesse particular, o impacto sobre a saúde de uma dada solução tecnológica em muitos casos dependerá, entre outros aspectos:

- *do diálogo com a população, durante a concepção das soluções;*
- *da proximidade entre gestores e população;*
- *de um processo continuado de avaliação do serviço;*
- *da integração entre a área de saneamento e outras áreas afins, sobretudo a de saúde;*
- *da retroalimentação pela vigilância epidemiológica;*
- *da facilitação de mecanismos para a participação popular e o controle social;*
- *da prática de uma política tarifária inclusiva.*

Para assegurar um enfoque científico e menos passional à discussão, cabe um esforço de avaliação das experiências já vivenciadas, bem como de perspectivas inovadoras de gestão dos serviços. Nesse ponto, é fundamental considerar o conceito de sustentabilidade dos sistemas, como atributo a ser buscado.

Ainda no contexto da gestão, necessidade incompletamente satisfeita no setor de saneamento refere-se ao tema do planejamento, especialmente incorporando dimensões relacionadas à saúde pública. Embora o setor realize cotidianas opções sobre como e onde investir, em uma verdadeira definição de prioridades em tempos de recursos escassos, tais decisões raramente são lastreadas em critérios que considerem de forma objetiva os interesses da população beneficiada. Felizmente, algumas exceções recentes têm sido observadas, como as de iniciativa da Funasa¹². A despeito disto, verifica-se uma carência de instrumentos metodologicamente bem elaborados, que suportem tais decisões.¹³

¹² O critério de seleção de municípios a serem contemplados pelo Projeto Alvorada, que inclui diversas e importantes ações de saneamento, foi o de apresentarem IDH inferior a 0,50. Além disso, a Portaria 176/2000 da FUNASA, estabelece critérios epidemiológicos para aplicação de recursos financeiros.

¹³ Exemplos de esforço no desenvolvimento de instrumentos operacionais podem ser encontrados em TEIXEIRA, J.C.; HELLER, L. Modelo de priorização de investimentos em saneamento com ênfase em indicadores de saúde: desenvolvimento e aplicação em uma companhia estadual. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.6, n.3-4, p. 138-146, jul.-dez/2001 e TEIXEIRA, J.C.; HELLER, L. Priorização de investimentos em saneamento baseada em indicadores

4. PESQUISA EM SANEAMENTO: O QUE PESQUISAR? (OS OBJETOS)

Evidentemente, discussões sobre os porquês e para que(m) pesquisar em saneamento, tais como foram desenvolvidas na seção anterior do documento constituem determinantes de base para a definição dos objetos da pesquisa. Nas diversas situações em que se efetuam escolhas sobre temas ou objetos de investigação - a definição de uma linha de pesquisa, o temário de um programa de pesquisa induzida, os objetivos de uma dissertação ou tese, o projeto submetido em atendimento a um edital – é fundamental a articulação de tal escolha com a visão de fundo desenvolvida anteriormente. O referido suporte conceitual propicia vislumbrar a direção com a qual a pesquisa se alinha, garante coerência interna para um conjunto de investigações e, em síntese, proporciona organicidade e impede fragmentação de objetivos.

Independente da visão dos fins mais gerais a serem atingidos, a escolha dos objetos também se relaciona com a concepção particular sobre a sua posição na escala dos avanços científicos e tecnológicos exibidos pela área, conforme ilustrado pela figura a seguir, onde se modelam perspectivas científicas a partir de duas visões extremas sobre o grau de evolução do campo de conhecimento.

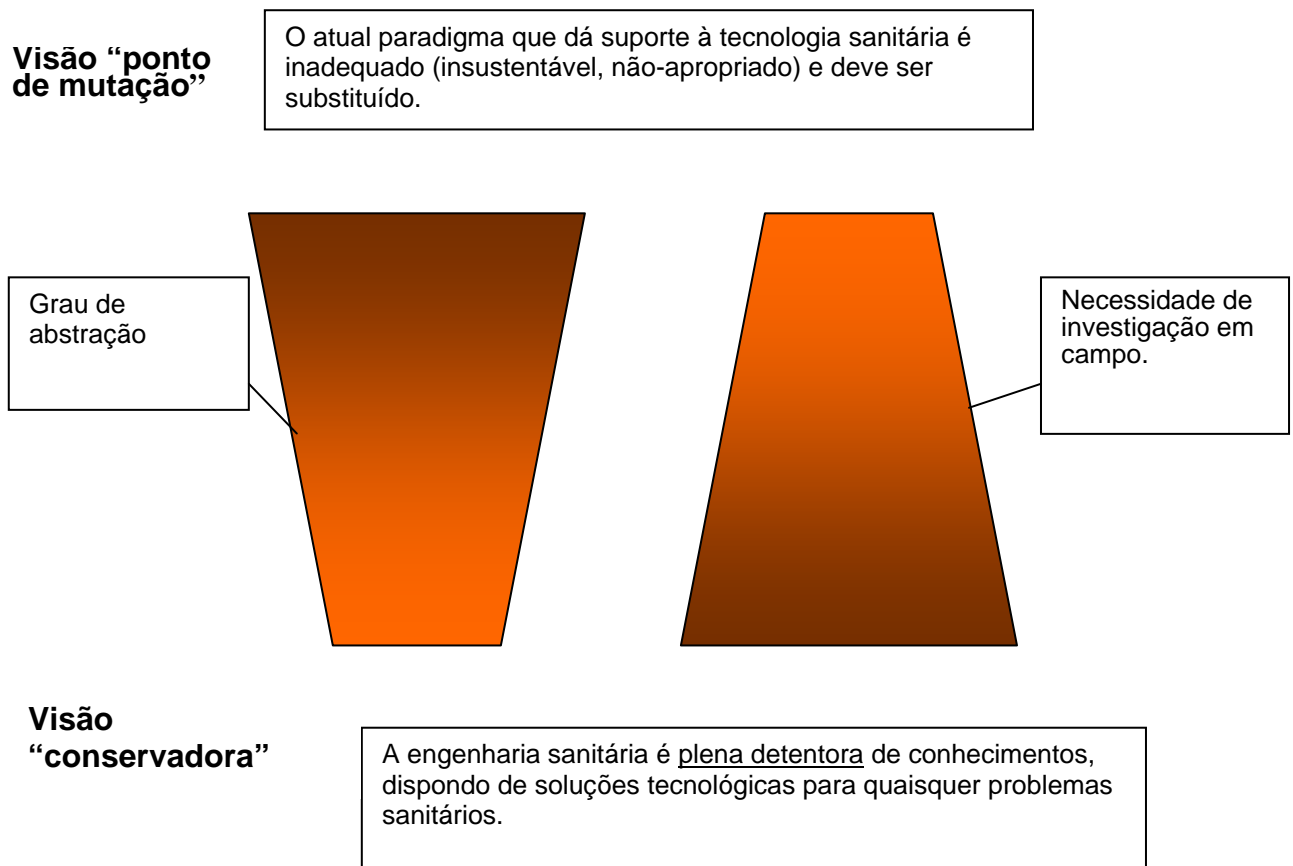


Figura 5 - Perspectivas científicas que podem condicionar a escolha de objetos de investigação na área de saneamento.

Pela figura, observa-se que uma ou outra visão - e os inúmeros níveis intermediários na escala - podem demandar diferentes escolhas de objetos de investigação, determinando o balanceamento entre o *grau de abstração* e a *investigação de campo*.

Nesse particular, um esforço relevante seria o de localizar na literatura os objetos de investigação situados tanto na fronteira do conhecimento científico quanto os que procuram vislumbrar quebras de paradigmas dos padrões tecnológicos vigentes.

Assim, podem ser identificados, em relação ao abastecimento de água, por exemplo, novos olhares sobre riscos quanto à presença de microrganismos na

água produzida, eventualmente modificando padrões tecnológicos e operacionais, a exemplo de protozoários e vírus, cianotoxinas e proliferação de organismos em biofilmes na distribuição de água. Discussão que já acumula algumas décadas, mas ainda incompleta, sobretudo nos países em desenvolvimento, relaciona-se aos riscos de afecções crônicas - em especial neoplasias - decorrentes da utilização dos desinfetantes, em especial o cloro, nas águas de consumo, devido à formação de subprodutos. Ao lado de outros microcontaminantes, como aqueles que provocam perturbações endócrinas, a discussão sobre esses efeitos ganha destaque, em compasso com o aumento da longevidade da população.

Quanto ao esgotamento sanitário e ao manejo dos resíduos sólidos urbanos, estudiosos vêm chamando a atenção para a necessidade de se discutirem os paradigmas dominantes. Assim, o confronto entre soluções locais e soluções centralizadas e a valorização de técnicas que intensificam a reutilização dos efluentes líquidos e sólidos orientam novas perspectivas.

Semelhantes indagações podem ser levantadas para o campo da drenagem, radicalizando concepções na vertente das denominadas soluções alternativas, propiciando maior harmonização ambiental e urbanística das intervenções para controle de enchentes e inundações.

Interessante constatação é a de que novas direções tecnológicas vêm tornando inseparáveis as diversas subáreas do saneamento, quanto à concepção sobre sua solução tecnológica, trazendo a indagação de se o futuro das diversas subáreas do saneamento resgatará a tão reclamada integralidade da área. Note-se que tal conceito acompanha as contemporâneas discussões sobre as soluções duais¹⁴, as estratégias para economia de água, o *reuso intensivo de água*, o *ecological sanitation*¹⁵, soluções com separação da urina dos esgotos sanitários¹⁶; o *water harvesting*¹⁷, integração da

¹⁴ OKUN, D. A. Water reuse introduces the need to integrate both water supply and wastewater management at local and regulatory levels. *Water Science and Technology*, v. 46, n. 6/7, p. 273-280. 2003.

¹⁵ ESREY, S. A. Towards a recycling society: ecological sanitation – closing the loop to food security. *Water Science & Technology*, v. 43, n. 4, p. 177-87. 2001.

¹⁶ MATSUI, S., HENZE, M., HO, G., OTTERPOHL, R. Emerging paradigms in water supply and sanitation. In: MAKSIMOVIC, C., TJADA-GUIBERT, J.A. *Frontiers in urban water management: deadlock or hope*. Londres: IWA Publishing, UNESCO. 2001.

¹⁷ YUEN, E., ANDA, M., MATHEW, K., HO, G. Water harvesting techniques for small communities in arid areas. *Water Science & Technology*, v. 44, n. 6, p. 189-94. 2001.

disposição de resíduos com a produção de alimentos¹⁸, técnicas de descentralização radical de soluções para o abastecimento de água e a disposição de efluentes e resíduos. O campo dos recursos hídricos, por sinal, tem importantes contribuições a oferecer, na consolidação das bases para a adoção da bacia hidrográfica como unidade central e estruturadora do planejamento e da gestão do saneamento.

Algumas experiências na perspectiva de identificação de temas de pesquisa em saneamento têm sido observadas no país. Identifica-se inicialmente o estudo Prospectar do MCT (ver Box 1).

¹⁸ Para uma discussão a respeito das tendências para a disposição de esgotos, ver MARA, D. D. Appropriate wastewater collection, treatment and reuse in developing countries. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Municipal Engineer*, v. 145, n. 4, p. 299-303. 2001.

BOX 1*

Iniciou-se em 2000 “um exercício nacional de prospecção tecnológica no Brasil, denominado Estudo ProspeCTar”, contando com cerca de 11 mil participantes de todo País, mediante um processo de consulta empregando o método Delphi. Para tanto, oito temas foram escolhidos na prospecção, “pela importância econômica e social e por suas relações com os novos fundos setoriais aprovados pelo Congresso Nacional”: (1) Aeronáutica, (2) Agropecuária (incluindo floresta e pesca, pecuária, agronegócio, biotecnologia), (3) Energia (incluindo biomassa), (4) Espaço, (5) Materiais, (6) Recursos Hídricos (7) Saúde e (8) Telecomunicação & Tecnologia de Informação (incluindo eletrônica). Um total de 1.653 tópicos foi inicialmente listado dentro dos oito temas.

As perguntas relativas a cada um dos temas e tópicos possibilitaram classificá-los segundo as seguintes variáveis:

- Horizonte de realização;
- Índice de relevância;
- Índice de disponibilidade;
- Necessidade de cooperação internacional;
- Número de respondentes;
- Caráter do tópico tecnológico: **Elucidação (E)**, **Desenvolvimento (D)** ou **Uso amplo (U)**

Como exemplo da tabulação das respostas do tema Recursos Hídricos, os respectivos subtemas foram analisados, inicialmente, segundo a **Figura 1**, que associa Relevância (ordenada) e Disponibilidade (abscissa), no qual o tamanho das esferas é proporcional ao número de tópicos do subtema.

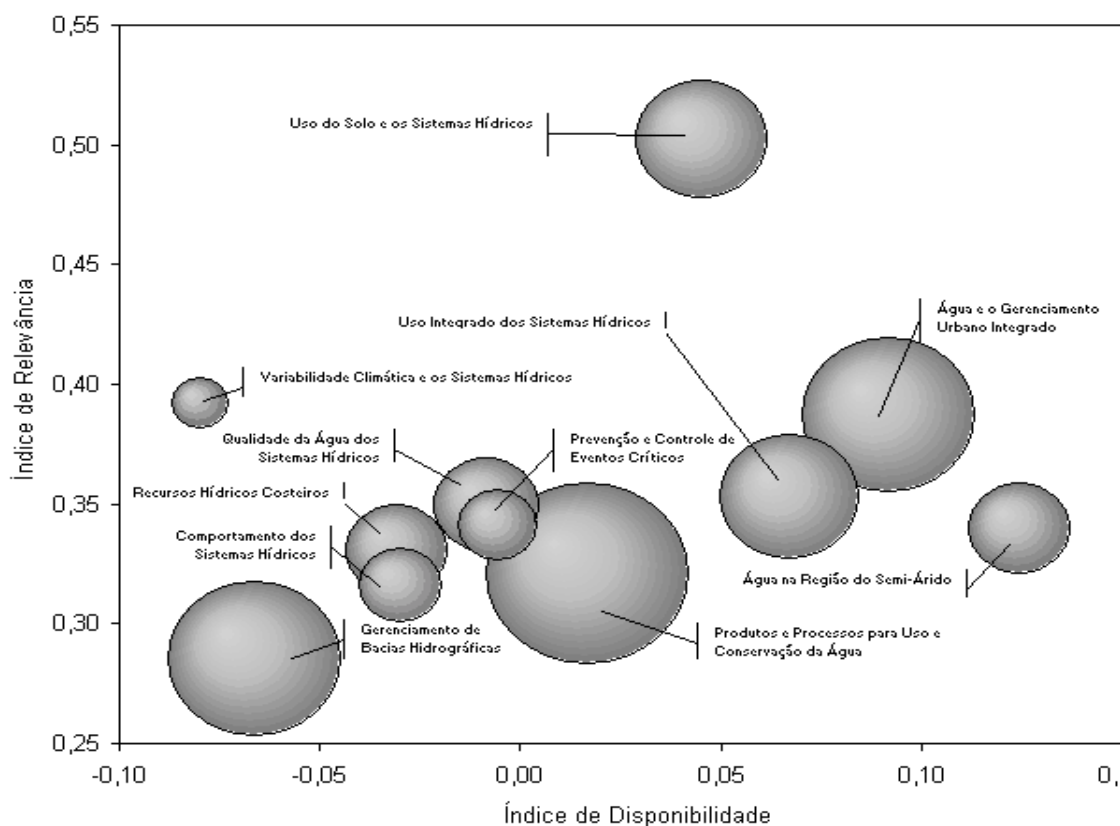


Figura 1

Na interpretação da figura, “pode-se constatar que os subtemas do tema Recursos Hídricos foram em média avaliados pelos respondentes de modo muito favorável quanto a sua relevância. Dez dos onze subtemas situam-se entre 0,28 e 0,39 e o subtema ‘Uso do Solo e os Sistemas Hídricos’

separa-se dos demais com o valor 0,50. Esta avaliação favorável parece refletir o destaque que a importância dos recursos hídricos como um todo vem recebendo no mundo e na sociedade brasileira. Quanto ao índice de Disponibilidade, a avaliação dos subtemas foi mais diferenciada, refletindo uma percepção de carências em recursos humanos, infra-estrutura e capacitação tecnológica em várias áreas de pesquisa. Os índices variam entre -0,08 e +0,12, com seis subtemas em situação desfavorável (valores negativos) e cinco em situação favorável (valores positivos). O número de tópicos por subtemas (tamanho das esferas) revela três subtemas preponderantes ('Produtos e Processos para Uso e Conservação da Água' – 47 tópicos, 'Gerenciamento de Bacias Hidrográficas' – 34 tópicos e 'Água e Gerenciamento Urbano Integrado' – 34 tópicos) [...] Estes números elevados de tópicos refletem, no caso, a diversidade dos usos e dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, e de soluções na área dos produtos e processos voltados para o uso e gestão. O subtema 'Variabilidade Climática e os Recursos Hídricos' (com apenas quatro tópicos) é avaliado com alta relevância (0,39), porém com baixa disponibilidade (-0,08)."

Outra perspectiva é apresentada na **Figura 2**, em que estão representados os mesmos subtemas da figura anterior, relacionando os índices de Disponibilidade (ordenada) com o Horizonte de Realização (abscissa).

"O tamanho das esferas, neste caso, é proporcional ao módulo do índice de Necessidade de Cooperação Internacional, ou seja, pode crescer entre zero e +1 (necessidade crescente de cooperação internacional; esferas mais escuras), ou crescer entre zero e -1 (indicando necessidade decrescente de cooperação; esfera mais clara). Pode-se constatar que para o tema Recursos Hídricos há uma tendência acentuada (e coerente) dos subtemas com maior horizonte de realização serem os que têm índice de disponibilidade mais desfavorável, e também maior necessidade de cooperação internacional. É o caso, especialmente, dos subtemas 'Variabilidade Climática e os Sistemas Hídricos', 'Prevenção e Controle de Eventos Críticos' e, em menor escala, 'Recursos Hídricos Costeiros' e 'Qualidade da Água dos Sistemas Hídricos'. O subtema 'Gerenciamento de Bacias Hidrográficas', cuja realização foi estimada para concretizar-se em 2010, tem um índice de disponibilidade relativamente desfavorável (-0,066), porém sua necessidade de cooperação é relativamente mais baixa (0,038). [...] O subtema com menor necessidade de cooperação internacional é 'Uso do Solo e os Sistemas Hídricos', único subtema de Recursos Hídricos com valor negativo deste índice. A maior necessidade de cooperação recai sobre o subtema 'Variabilidade Climática e os Sistemas Hídricos' (0,447), assunto de vanguarda, mesmo internacionalmente. Dois subtemas ('Água na Região do Semi-árido' e 'Água e o Gerenciamento Urbano Integrado') chamam a atenção pelo Horizonte de Realização dilatado em relação ao elevado índice de Disponibilidade."

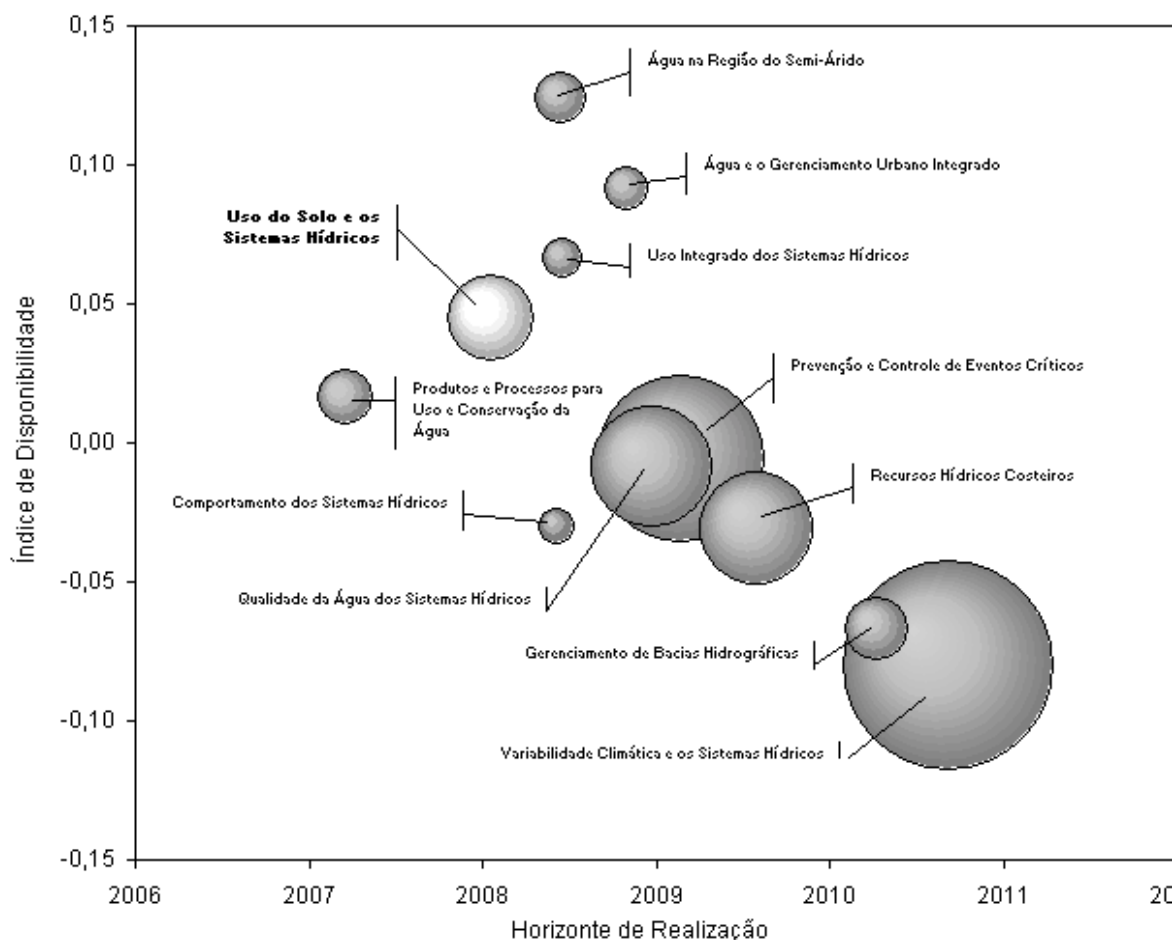


Figura 2

Pode-se inferir que a experiência do Prospecatar, ainda inconclusa, dada à não divulgação completa de relatórios temáticos, trouxe importante acúmulo sobre a metodologia de prospecção e também relevantes resultados, que ainda necessitam ser devidamente apropriados pela política de C&T nacional.

* Informações extraídas de Ministério da Ciência e Tecnologia, Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia. *Estudo Prospecatar*. Um exercício de prospecção tecnológica nacional. Brasília: 2003. (Relatório geral).

Além disto, deve ser mencionado o Prosab, dos mais importantes esforços articulados de pesquisa em saneamento no país, que vem praticando o estabelecimento de temas por meio de discussão em um grupo coordenador, composto por representantes de vários segmentos do setor, muitas vezes consultando técnicos e pesquisadores da área, em pesquisa aberta de opinião. Outra iniciativa origina-se do próprio MCT, em documento específico com identificação de pesquisas, visando à contribuição para o desenvolvimento social (ver Box 2).

BOX 2

O MCT e a identificação de temas de investigação em saneamento

Um caso, a ser observado, de identificação de temas para pesquisa em saneamento encontra-se na publicação *O MCT e o desenvolvimento social* (2002), com a indicação dos seguintes temas, nas respectivas seções:

1- Na seção “Programa de CT&I para a questão urbana”, linha de ação “Gestão Urbana, Transporte, Saneamento e Habitação”, constam as seguintes questões e temas definidos como prioritários:

- Desenvolvimento institucional: territorialidade dos serviços; governança institucional; levantamento dos tipos de contratos possíveis e regulação, modos de financiamento e formas de subsídios cruzados.
- Promover estudos sobre a questão da inter-municipalidade e a gestão pelos estados (titularidade); novas possibilidades de articulações intermunicipais; papel e possibilidade de uma gestão metropolitana; cooperação entre municípios. Examinar as formas de contrato existentes, consideradas pouco numerosas e rígidas, bem como a reduzida capacidade de regulação pelos municípios. Discutir a crise de financiamento e incapacidade de modelos de gestão inteiramente privados de financiar infra-estruturas caras e cujo amortecimento se faz no longo prazo, em um contexto onde a fase inicial de provisão dos serviços ainda não se completou; um modelo de liberalização que coloca em questão os princípios de subsídios cruzados. Avaliar o surgimento de empresas multi-serviços que demandam novas estruturas de regulação.
- Abastecimento de água: organização técnica do sistema de abastecimento de água; modernizar o tratamento; preservação das áreas de mananciais; preservação dos recursos hídricos; economia de água (conservação e uso racional da água).
- Promover ações que possam romper o círculo vicioso de contaminação e desperdício e da desigualdade no acesso ao serviço, de modo a desenvolver capacitação em gestão da demanda. Realizar estudos sobre perdas reais nos sistemas ou volume não contabilizado. Desenvolver técnicas voltadas para a proteção de mananciais em face dos processos de urbanização e das atividades industriais. Desenvolver soluções técnicas inovadoras e não convencionais para superar o conflito entre a qualidade e quantidade de água e tecnologias voltadas para o tratamento da água, como processos de tratamento avançados que permitem a remoção de poluentes. Estimular técnicas de controle do crescimento bacteriano na rede de distribuição, novos produtos químicos e a formação de subprodutos indesejáveis; identificar agentes etiológicos em amostras ambientais e mecanismos de gerenciamento automatizado de sistemas de abastecimento.
- Drenagem urbana: problemas relativos ao urbanismo e uso do solo; gestão do risco. Desenvolver técnicas com vistas à redução da vulnerabilidade do sistema de escoamento urbano e realizar pesquisas de avaliação econômica dos custos das inundações. Desenvolver sistemas de informação e monitoramento da poluição dos corpos hídricos.
- Esgotamento Sanitário: evoluções técnicas em função das prioridades de investimento (investir em redes coletoras versus investir em estações de tratamento); participação dos usuários no funcionamento dos sistemas.
- Desenvolver soluções inovadoras para implementação de redes coletoras e efetiva utilização das estações de tratamento. Avaliar modelos técnicos autônomos ou alternativos de forma a reconhecer suas potencialidades. Desenvolver técnicas de gestão que contemplem a participação dos usuários na gestão de técnicas simplificadas, como, por exemplo, os sistemas condominiais. Desenvolver metodologias para programas de capacitação de usuários.
- Resíduos sólidos: redução em quantidade; melhoria da coleta e valorização dos resíduos. Desenvolver tecnologias que promovam a redução dos resíduos sólidos na origem e que tenham como referência uma concepção ecológica de produtos. Pesquisar a questão da disposição final dos resíduos sólidos (melhoria do funcionamento dos aterros sanitários e eliminação de vazadouros), inclusive do ponto de vista da participação da população. Desenvolver tecnologias que garantam a disposição adequada dos lodos gerados no tratamento de esgotos e a eliminação

de riscos ambientais. Pesquisar soluções de coleta que eliminem os impactos negativos sobre os corpos hídricos e o funcionamento dos sistemas de esgotamento sanitário e drenagem urbana.

- Interação entre saneamento e gestão integrada e participativa por bacias hidrográficas. Examinar as alternativas de financiamento via cobrança pelo uso da água, tendo em vista a crise de financiamento do setor de saneamento. Analisar o sistema de comitês de bacia como espaço de aprendizagem de uma gestão equilibrada dos recursos hídricos.
- Identificar soluções para tratar a questão do acesso aos serviços por parte da população pobre (não servida ou mal servida), para garantir acesso mínimo e organizado aos mecanismos de solidariedade financeira e fiscais sustentáveis.

2- Na seção “Programa de saúde e qualidade de vida”, constam as seguintes formulações:

Qualidade de vida está relacionada a condições adequadas de saúde, nutrição, meio ambiente, saneamento básico, habitação, trabalho, lazer, cultura, educação, seguridade social e segurança pública. A CT&I está intimamente relacionada à qualidade de vida, dado o importante papel do conhecimento na resolução dos problemas da sociedade. A qualidade de vida e as condições de saúde da população são fortemente afetadas pelas desigualdades sociais. Além do nível de renda, há que se considerar questões relativas à insuficiência e inadequação nutricional e aos problemas de saúde pública.

A sociedade brasileira apresenta um quadro sanitário complexo, no qual coexistem doenças infecciosas e parasitárias, ao lado de doenças crônicas típicas de países desenvolvidos. Em função disso, é possível indicar, em linha com o Ministério da Saúde, as seguintes prioridades para CT&I em saúde:

- Combate e erradicação de doenças infecciosas e parasitárias emergentes e reemergentes;
- Saúde e meio ambiente;

Nesse contexto, constituir-se-ão redes de pesquisa multidisciplinares e multi-institucionais para estudo e busca de soluções para as seguintes questões:

- Estudo das interações entre as transformações do meio ambiente e a qualidade de vida e saúde, com ênfase em: saúde ocupacional; efeitos da utilização intensiva de insumos químicos pelo complexo agroalimentar; metodologias de avaliações de impactos ambientais e seus efeitos sobre a qualidade de vida e saúde; monitoramento ambiental em geral, particularmente da qualidade da água para consumo humano e do ar nas regiões metropolitanas; tecnologias de coleta e reciclagem de lixo urbano e dejetos industriais.

No plano internacional, também se identificam iniciativas de prospecção de temas de pesquisas no campo do saneamento, a exemplo do trabalho desenvolvido pelo Comitê de Investigação em Engenharia Ambiental da Divisão de Engenharia Ambiental da ASCE na década de 1970¹⁹, quando, após processo participativo envolvendo pesquisadores e técnicos norte-americanos, foram listados tópicos nas áreas de esgotamento sanitário (seis tópicos), resíduos sólidos (oito tópicos), recursos hídricos (11 tópicos), tratamento de água (oito tópicos), “saneamento ambiental” (quatro tópicos: soluções individuais para a disposição de esgotos, soluções individuais para o

¹⁹ Ver Research needs in environmental engineering in water resources, water treatment, environmental sanitation and air pollution. *Journal of the Environmental Engineering Division*, v. 99, n. EE6, p. 801-812, 1973

abastecimento de água, poluição atmosférica intra-domiciliar, controle de vetores) e poluição atmosférica (cinco tópicos).

5. PESQUISA EM SANEAMENTO: COMO PESQUISAR? (OS CAMPOS CIENTÍFICOS, A NATUREZA DA INVESTIGAÇÃO, OS MÉTODOS)

A discussão sobre os vários contornos da forma como se processa e deve se processar a investigação científica pode também ser iniciada localizando-se as visões prevalentes quanto à contribuição científica demandada, relacionada com a avaliação do grau de desenvolvimento científico e tecnológico alcançado pela área. O diagrama a seguir pode contribuir para vislumbrar as possibilidades de enfoque, a partir de duas plausíveis visões extremas.

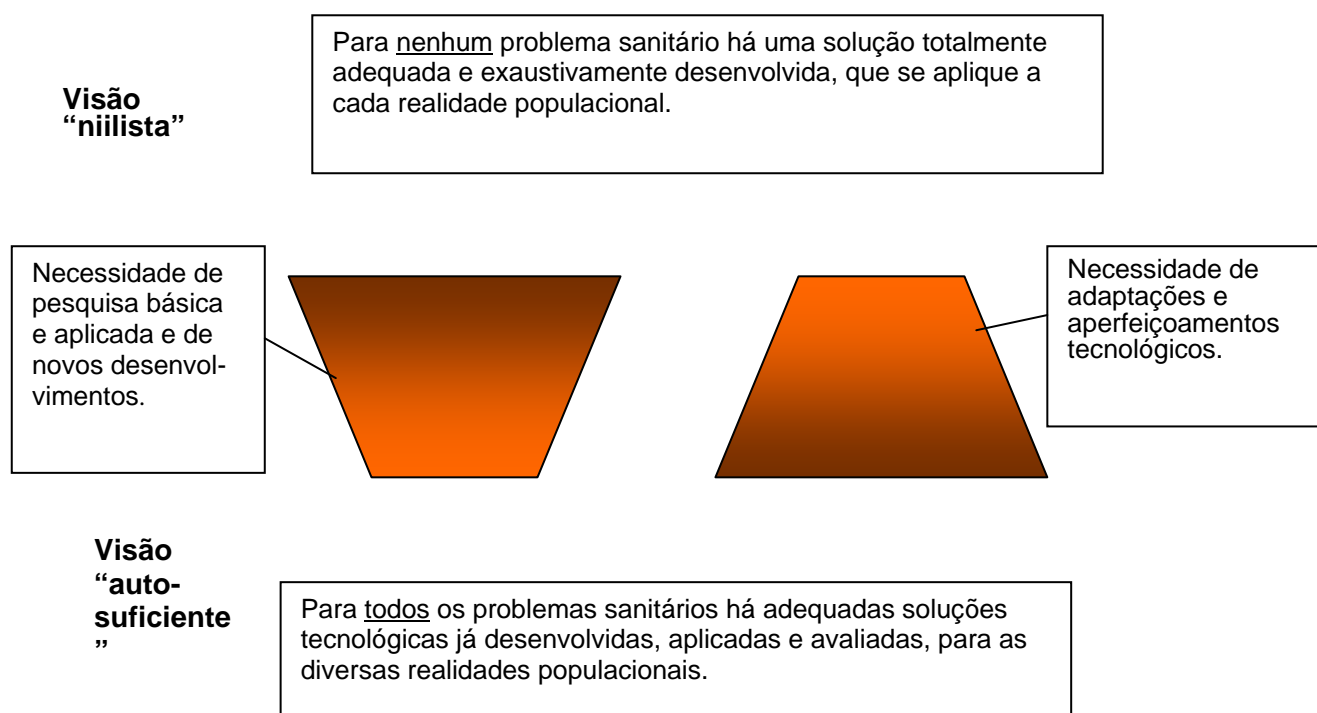


Figura 6 - Perspectivas científicas que podem condicionar a metodologia de investigação na área de saneamento.

Pela figura, observa-se que uma ou outra visão - e os inúmeros níveis intermediários na escala - podem implicar diferentes escolhas de estratégias metodológicas de investigação, determinando o balanceamento entre pesquisa - básica ou aplicada - e adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos.

Essa abordagem sinaliza para a necessidade de um trabalho de classificação das categorias de pesquisa em saneamento adotadas, uma vez que cada estratégia metodológica conduz a diferentes possibilidades de produção de conhecimento. Como exemplo, o quadro a seguir, elaborado por ocasião da avaliação do Prosab, ilustra uma possível classificação de um conjunto de pesquisas fomentadas.

Categorias dos sub-projetos, segundo a natureza das pesquisas	Observação	Exemplos
Projetos de intervenção	Baixa capacidade de generalização de resultados e otimização de parâmetros.	Implantação de unidades municipais (lixo); implantação de instalação em campus universitário (água).
Avaliação de tecnologias	Privilegia a comprovação e avaliação de eficiência, sob condições locais/nacionais.	Avaliação de unidades em escala piloto, sem comparação entre diferentes condições; avaliação de instalações em escala real
Otimização de parâmetros de projeto e de métodos operacionais	Contribui para a inferência sobre condições ótimas de projeto e de operação para condições locais/nacionais.	Projetos que testam diferentes unidades piloto, comparando diferentes condições de funcionamento.
Desenvolvimento de modelos	Permite simulações e predições para condições locais/nacionais	Modelagem de percolação em processos de disposição de resíduos
Padronização de métodos analíticos	Garante comparabilidade dos resultados, inclusive de investigações futuras.	Métodos analíticos para resíduos sólidos.
Desenvolvimento	Importante produto das pesquisas, no sentido da inovação tecnológica.	Processo para calagem de lodo; softwares (apoio à decisão, seleção de áreas para disposição de resíduos).
Redação de livros técnicos.	Sistematizando o estado-da-arte da área e gerando material para divulgação e formação.	

Fonte: Heller, L. Síntese da avaliação. PROSAB. IV Seminário de avaliação. Dezembro/2001.

Quadro 1 - PROSAB. IV Seminário de Avaliação. Classificação das categorias de pesquisas desenvolvidas.

Por outro lado, esta, como outras áreas de conhecimento no país, exhibe grupos de pesquisa com diferentes graus de amadurecimento científico. E, nesse ponto, observa-se outra carência: a da formação sólida dos pesquisadores no método científico, com capacidade de visão crítica de sua aplicação e mesmo da visualização das (pós) modernas tendências epistemológicas²⁰. Tal esforço deverá incluir a elaboração de documentos qualificados, setorialmente mais específicos²¹. Apenas a título de advertência, reproduz-se de forma esquemática no Quadro 2 o que Bunge²² denomina de “sintomas de verdade” de uma teoria científica, a qual deve obedecer a quatro ordens de requisitos: sintáticos, semânticos, epistemológicos e metodológicos. Tal nível de cuidados - na expressão científica, na aderência à teoria científica e no planejamento da pesquisa - devem ser um alerta permanente para os que se ocupam da pesquisa científica e tecnológica.

Requisitos	Tópico	Explicação
Sintáticos	Correção sintática	as proposições devem ser bem formadas e mutuamente coerentes...
	Sistematicidade ou unidade conceitual	a teoria deve ser um sistema conceitual unificado...
Semânticos	Exatidão lingüística	a ambigüidade, imprecisão e obscuridade dos termos específicos têm de ser mínimas...
	Interpretabilidade empírica	deve ser possível derivar, das assunções da teoria, proposições a serem comparadas às proposições observacionais, de modo a decidir a conformidade da teoria com o fato
	Representatividade	é desejável que a teoria represente (ou reconstrua) eventos reais e processos – e não os descreva simplesmente – e

²⁰ A respeito, pela sua capacidade prognóstica, merece reflexão o documento de Boaventura Santos (SANTOS, B.S. *Um discurso sobre as ciências*. 13ed. Porto: Afrontamento. 2002)

²¹ Como exemplo de iniciativa, ainda que modesta, nesse campo, observar a série de artigos: HELLER, L.; NASCIMENTO, N.O.; VON SPERLING, M. Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 1: o delineamento experimental. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1, n. 2, p. 33-43, abr.-jun. 1996; VON SPERLING, M., HELLER, L., NASCIMENTO, N.O. Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 2: a análise preliminar dos dados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1, n. 3, p. 115-124, jul.-set. 1996; NASCIMENTO, N.O., NAGHETTINI, M.C., HELLER, L., VON SPERLING, M. Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 3: análise estatística de dados e de modelos. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1, n. 4, p. 152-168, out.-dez. 1996.

²² BUNGE, M. *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva, 2002. 170p.



		preveja seus efeitos macroscópicos observáveis...
Epistemológicos	Simplicidade semântica	é desejável, até certo ponto, economizar pressuposições; nesse sentido, juízos empíricos podem ser feitos e testados sem pressupor a totalidade
	Coerência externa	a teoria deve ser coerente com a massa de conhecimentos aceitos...
	Poder explanatório	a teoria deve resolver os problemas propostos pela explicação dos fatos e pelas generalizações empíricas de um dado domínio, se existirem, fazendo-o da maneira a mais exata possível (poder explanatório = alcance x precisão)
	Poder de previsão	soma da capacidade de prever uma classe desconhecida de fatos (poder de prognosticar) com o poder de diagnosticar "efeitos novos", ou seja, fatos de uma espécie não esperada em teorias alternativas (poder serendípico) .
	Profundidade	é desejável, mas de modo algum necessário, que as teorias expliquem coisas essenciais e cheguem fundo na estrutura de nível da realidade (nenhuma teoria científica é apenas um sumário de observações).
	Extensibilidade	possibilidade de expansão para abranger novos domínios.
	Fertilidade	a teoria deve estar habilitada para guiar nova pesquisa e sugerir novas idéias, experimentos e problemas...
	Originalidade	É desejável que a teoria seja nova em relação a sistemas rivais. Teorias feitas de partes de teorias existentes ou fortemente semelhantes a sistemas disponíveis ou carentes de novos conceitos são inevitáveis e podem ser seguras a pontos de serem desinteressantes.
Metodológicos	Escrutabilidade	... é preciso que os pressupostos metodológicos da teoria sejam controláveis
	Refutabilidade ou verificabilidade	Deve ser possível imaginar casos ou circunstâncias que pudessem refutar a teoria. Os enunciados que constituem uma teoria devem prestar-se à verificação empírica.
	Confirmabilidade	A teoria deve ter conseqüências particulares que podem concordar com a observação. A confirmação efetiva, numa ampla extensão, deverá ser exigida para a aceitação de toda teoria.
	Simplicidade metodológica	É possível que seja tecnicamente possível submeter a teoria (partes dela) a provas empíricas.

Fonte: Bunge (1974)

Quadro 2 - Requisitos científicos.

Em linha semelhante de formulação, Crotty²³ (1998, apud Creswell, 2003) sugere que, ao se elaborar uma proposta de investigação, quatro questões devem ser consideradas:

- Qual epistemologia - teoria do conhecimento ancorada na perspectiva teórica - dá suporte à pesquisa?
- Qual perspectiva teórica - posição filosófica - é subjacente à metodologia em questão?
- Qual metodologia - estratégia ou plano de ação que conecta métodos com resultados - governa a escolha e o uso de métodos?
- Quais métodos - técnicas e procedimentos - se propõe usar (questionário, entrevista, grupo focal)?

Mesmo que esta abordagem tenha maior aplicação à área das ciências humanas, ela evidencia a necessidade de precisão das escolhas adotadas no planejamento das pesquisas, escolhas estas que podem condicionar as contribuições delas esperadas. Uma mais completa nitidez nesses aspectos pode potencializar a elaboração de projetos, o desenvolvimento de pesquisas e sua própria avaliação.

Por fim, deve ser lembrada a freqüente complexidade do objeto saneamento, em suas diversas facetas temáticas, o que reenfaz a necessidade de emprego de métodos adequados e o reconhecimento de seus múltiplos tentáculos. Assim, a pesquisa interdisciplinar e a aproximação com outras áreas de conhecimento – oriundas das ciências físicas, químicas, biológicas, da saúde e humanas – mostram-se imperativos para um adequado resultado da tarefa de desvendar as verdades desses objetos.

²³ CROTTY, M. *The foundations of social research: meaning and perspective in the research process*. Londres: Sage, 1998, apud CRESSWELL, J.W. *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. 2ed. Thousand Oaks: Sage, 2003.

6. TÓPICOS ADICIONAIS ENVOLVIDOS

Além dos pontos abordados no presente documento, saliente-se que há uma gama de questões adicionais a serem desenvolvidas, ao se procurar uma formulação mais completa sobre a pesquisa na área. Citam-se as seguintes:

- *Formação de recursos humanos*

Uma política efetiva de pesquisa na área de saneamento deve cuidar de avaliar as necessidades de formação de pesquisadores em seus diversos níveis de formação – com ênfase para a formação de doutores - vis-à-vis a capacidade e potencialidade nacionais de formação de recursos humanos, complementada pela identificação de instituições internacionais com perfil adequado para tanto.

- *Divulgação científica e tecnológica.*

Aspecto fundamental nessa discussão consiste na identificação das formas e veículos disponíveis para a disseminação do conhecimento produzido nas pesquisas, avaliando-os criticamente e identificando necessidades de fomento e criação de novas modalidades de disseminação. Deve-se, nesse particular, reconhecer o potencial multiplicador da divulgação por meio dos periódicos científicos e o instituto da indexação científica como pré-requisito para garantir a amplitude e a abrangência da disseminação científica. Aí, cabe uma adequada identificação dos periódicos da área ou que com ela estabelecem interfaces, avaliando o parque de periódicos nacionais à disposição para a divulgação e eventuais esforços a serem despendidos pela política científica da área, visando ao seu aperfeiçoamento. De uma outra perspectiva, há que se assegurar o mais amplo acesso da comunidade científica aos periódicos internacionais relevantes da área. Nesse particular, a despeito da louvável iniciativa de implantação do portal de periódicos da Capes, cumpre destacar a atual ausência nele dos principais periódicos dos campos da Engenharia Sanitária e Ambiental e dos Recursos Hídricos.

- *Transferência de tecnologia*

Transferência de tecnologia é um tema sobre o qual segmentos de pesquisadores da área vêm refletindo. Particularmente, o Prosab está identificando a necessidade de promovê-la, buscando avançar “da academia para a incorporação aos serviços” o desenvolvimento alcançado. Nesse campo, parece indispensável uma formulação mais estratégica, aliada a uma articulação entre as agências de fomento, pesquisadores e prestadores de serviços, para tornar efetivo o processo.

- *Fomento da pesquisa em saneamento*

Este talvez seja o principal corolário das reflexões desenvolvidas no presente documento: a necessidade de uma formulação consistente, global, articulada e integralizadora para as pesquisas na área. A associação entre a essencialidade da área, os desafios científicos e tecnológicos identificados e a fragmentação do fomento científico e tecnológico fortalecem essa necessidade. Para tanto, a implementação de uma política científica setorial com tais atributos – antecedida por um planejamento - mostra-se essencial para assegurar a organicidade da pesquisa em saneamento.

- *Avaliação da pesquisa*

Ao lado de um esforço de fomento, e como pré-requisito para seu êxito, localiza-se o esforço de avaliação. Nesse caso, merece atenção tanto a avaliação do atual estado científico da área e das pesquisas mais recentemente concluídas, quanto uma estratégia de avaliação continuada de futuras investigações, grupos, linhas e projetos de pesquisa a serem financiados, sobretudo se o forem no bojo de uma política setorial específica.

7. UM POSSÍVEL PROTOCOLO PARA A CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM SANEAMENTO

Visando ilustrar a construção de um possível modelo para classificação das pesquisas em saneamento e avaliar sua aplicabilidade, desenvolveu-se um protocolo tentativo. Como exercício, aplicou-se tal instrumento junto a pesquisadores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, obtendo-se uma relação de temas de pesquisas e desenvolvimento, classificados conforme o instrumento proposto.

O Anexo 1 inclui o protocolo desenvolvido e a base metodológica-conceitual que lhe deu suporte, em documento que foi entregue aos respondentes do protocolo, como explicação de seus fundamentos.

No Anexo 2 encontram-se os resultados obtidos com sua aplicação aos subtemas abastecimento de água (respondido pelo Prof. Valter Lúcio de Pádua), esgotamento sanitário (respondido pelo Prof. Marcos von Sperling) e resíduos sólidos urbanos (respondido pela Profa. Lisete Celina Lange). O Quadro 3 resume a frequência de respostas por campo do protocolo.

NATUREZA	OBJETO			
	Novos paradigmas científicos e tecnológicos	Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários	Técnicas consolidadas	Modelos e estratégias de gestão
Pesquisa (básica/aplicada)	AA (1) ES (1) (4) RS (2)	AA (3) ES (1) (6) RS (2)	AA (1) ES (1) (3) RS (1)	AA (1) ES (1) (4) RS (2)
Novos desenvolvimentos tecnológicos	AA (1) RS (2) (3)	AA (1) ES (3) (4)		ES (1) RS (2) (3)
Adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos	AA (1) ES (1) (2)	AA (1) ES (3) (6) RS (2)	ES (2) RS (1) (3)	RS (1) (1)
Avaliação de efetividade	AA (1) (1)	AA (1) ES (1) (3) RS (1)	AA (1) RS (2) (3)	AA (2) RS (1) (3)

Legenda: AA: abastecimento de água
ES: esgotamento sanitário
RS: resíduos sólidos urbanos

Quadro 3 - Frequência de respostas ao protocolo para classificação e seleção de pesquisas por campo de classificação

Sem se analisar o conteúdo das respostas em si, que evidentemente devem ser objeto de debate entre especialistas nas respectivas subáreas, observa-se quantitativamente uma maior incidência de temas (em número de seis) em:

Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários / Pesquisa.

Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários / Adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos.

Por outro lado, nenhum tema foi classificado no campo ‘Técnicas consolidadas / Novos desenvolvimentos tecnológicos.

Sob o ponto de vista da adequação do instrumento, a aplicação não permitiu avaliá-la em detalhes, o que seria possível apenas após uma aplicação mais abrangente e sua discussão em uma oficina de trabalho, mas se observou que em um primeiro momento o protocolo suscitou dúvidas que, uma vez esclarecidas, propiciou o preenchimento por parte dos pesquisadores.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente documento buscou abordar as várias dimensões envolvidas na pesquisa e desenvolvimento em saneamento, à luz da realidade nacional. Ao se avaliar cada uma dessas dimensões, pode se especular que existe um conjunto de carências no tema, as quais podem ser sintetizadas por meio das seguintes necessidades:

- Resgate, em detalhes, da história da pesquisa em saneamento no Brasil, identificando os eventos mais relevantes.
- Inventário das diversas iniciativas e programas atualmente existentes que, direta ou indiretamente, apóiam a pesquisa na área.
- Avaliação da base social sobre a qual se sustenta a pesquisa em saneamento, vislumbrando sua pertinência e sua relevância.
- Debate sobre os objetos da investigação, vislumbrando a sua base conceitual de suporte.
- Debate metodológico sobre a pesquisa e desenvolvimento em saneamento.
- Formulações consistentes sobre a formação de recursos humanos para a pesquisa, a divulgação científica e tecnológica, a transferência de tecnologia, o fomento e a avaliação da pesquisa.
- Prospecção sobre temas de investigação, a partir de protocolo e metodologia apropriados.

Pode-se, finalmente, constatar que se a pesquisa em saneamento atualmente é financiada por um razoável número de iniciativas e programas, de caráter induzido ou não, o somatório de tais esforços não conduz a uma direção intencional. Ou seja, o conjunto de iniciativas e programas atuais não pode ser considerado uma política de investigação na área, política esta essencial, considerando a essencialidade da área e a reconhecida necessidade de a pesquisa científica e tecnológica contribuírem, em

curto espaço de tempo, para a superação das perversas carências populacionais exibidas pelo setor no país.

Em vista disto, finaliza o presente documento a proposta de que se organize uma conjunção de esforços dos diversos segmentos relacionados à pesquisa em saneamento – agências de fomento, órgãos federais que coordenam o setor, prestadores de serviço, organizações técnicas e profissionais – no sentido de se desenvolver um planejamento das pesquisas na área. Fundamental seria que tal planejamento recebesse olhares e perspectivas de outras áreas de conhecimento e da própria sociedade civil, representando os provedores dos recursos públicos e beneficiários finais dos resultados das pesquisas, no sentido de oxigenar a visão endógena com outros pontos de vista enriquecedores. Propõe-se que esse processo de reflexões culmine com a elaboração de um plano diretor de pesquisas em saneamento, que forneça as bases e respalde uma futura política de pesquisas na área.

9. ANEXOS

9.1 DOCUMENTO BASE PARA CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM SANEAMENTO

Preliminares

Discussões ampliadas e qualificadas sobre as prioridades nacionais no campo da investigação em saneamento, que efetivamente tenham a capacidade de subsidiar uma política científica e tecnológica de mais largo fôlego, são lamentavelmente escassas no país. Essa carência, não localizada em outras áreas de conhecimento, certamente encontra explicações históricas e estruturais e possivelmente guarda raízes comuns com a desorganização do setor, que até então o impediu de formular uma adequada moldura regulatória, legal e institucional. Ambas as lacunas combinadas colaboram com a dificuldade de se localizarem com nitidez os rumos do desenvolvimento tecnológico do setor, que possa se alinhar ao papel social dele esperado.

Com essa referência, o presente trabalho expõe a concepção de uma proposta de protocolo visando, uma vez aplicado de forma ampla e representativa, ensejar uma prospecção intra e extra-setorial, com capacidade de contribuir para o delineamento da referida política de maior alcance. Mesmo se compreendendo que a pesquisa, básica ou aplicada, deve se constituir em um espaço de liberdade e criatividade, a partir de que novas perspectivas possam emergir, o presente esforço parte do pressuposto de que a existência de elementos norteadores é essencial para uma consistente e convergente política na área. Não se trata aqui de contrapor pesquisa induzida com iniciativas espontâneas, uma vez que se deve buscar o adequado balanceamento entre ambas as estratégias. Mas, o princípio orientador destas reflexões assenta-se na convicção de que a pesquisa e o desenvolvimento na área de saneamento, particularmente em um país com a nossa realidade, estará tanto mais contribuindo para o desenvolvimento nacional, quanto mais atentas estiverem com o estágio tecnológico do setor e suas necessidades, face às demandas presentes e futuras do atendimento à população pelos serviços. Obviamente, tal perspectiva reconhece a inteira pertinência de a

pesquisa nacional, concomitantemente com o referencial em nossa realidade, se manter absolutamente sintonizada com as tendências internacionais, mesmo com aquelas reflexões científicas que prognosticam futuras mudanças dos paradigmas que vêm orientando as opções tecnológicas atualmente dominantes.

Na formulação do protocolo, importante desafio inicial foi o de se conceituarem as dimensões segundo as quais podem se classificar a P&D em saneamento e, em um segundo movimento, eleger aquelas dimensões que, ao comporem um sistema de classificação temática, maior contribuição possam oferecer para a sua visualização, classificação, priorização e posterior avaliação. Os itens seguintes descrevem o raciocínio desenvolvido e a justificativa das escolhas.

Finalmente, visando testar o instrumento, iniciar seu aperfeiçoamento e validação e apresentar uma primeira prospecção da P&D em saneamento, o modelo está sendo aplicado, como um exercício preliminar, junto a professores pesquisadores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG.

Dimensões

A seguir, descrevem-se as cinco dimensões segundo as quais se visualiza a classificação da pesquisa e desenvolvimento em saneamento, no atual contexto setorial.

Dimensão 1: da natureza da investigação

Em relação à natureza científico-tecnológica pela qual a P&D pode ser classificada, existem diferentes definições, tendo sido adotadas, em um primeiro nível, as seguintes:

- *Pesquisa básica*: definida como “trabalho experimental ou teórico realizado primordialmente para adquirir novos conhecimentos sobre os fundamentos de fatos ou fenômenos observáveis, *sem o propósito de qualquer aplicação*



ou utilização”²⁴ , ou seja, “o pesquisador da ciência básica trabalha com problemas que interessam só a ele (por motivos cognoscitivos)”²⁵.

- *Pesquisa aplicada*: “investigação original, realizada com a finalidade de obter novos conhecimentos, mas dirigida, primordialmente, a um objetivo prático²² ”, em que o pesquisador estuda os problemas de possível interesse para a sociedade²³.
- *Desenvolvimento tecnológico*: “trabalho sistemático, apoiado no conhecimento existente, adquirido por pesquisas ou pela experiência prática, dirigido para a produção de novos materiais, produtos ou equipamentos, para a instalação de novos processos, sistemas ou serviços ou para melhorar substancialmente aqueles já produzidos ou instalados” (desenvolvimento experimental)²²; emprega parte do conhecimento científico, somado ao conhecimento para projetar artefatos e planejar linhas de ação, que tenham algum valor prático para algum grupo social (técnica)²³”.

Às três definições anteriores, identifica-se, no campo do saneamento, a necessidade de se agregar uma abordagem adicional, complementar àquelas classicamente definidas como natureza da pesquisa, em vista do uso encontrado nos resultados tecnológicos da pesquisa em saneamento, de cujo êxito dependem as condições objetivas da realidade em que são aplicados:

- *Avaliação de efetividade*: entendida como “*extensão em que uma intervenção, procedimento, ou serviço, quando empregados em campo em circunstâncias rotineiras, realiza o que se pretende que realize em uma população específica*”²⁶ e cuja importância se manifesta na medida em que pode contribuir para avaliar a aplicabilidade das técnicas em uso, inclusive daquelas, fruto de desenvolvimento tecnológico mais recente, em uma situação real, qual seja, mediada por fatores políticos, administrativos,

²⁴ OCDE, *Manual Frascati*, 1993 apud SILVA, C.G., MELO, L.C.P. (coord.). *Ciência, tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira* (Livro verde). Brasília: MCT/Academia Brasileira de Ciências. 2001.

²⁵ BUNGE, M. *Ciência e desenvolvimento*. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia, 1980.

²⁶ LAST, J.M. *A dictionary of epidemiology*. 4ed. Oxford:International Epidemiological Association, 2001.

urbanísticos, sócio-culturais, com suas variações ditadas pela gama de realidades encontradas no país.

Considerando os objetivos do protocolo a ser aplicado, entre os itens apresentados, selecionaram-se as seguintes quatro categorias para comporem a dimensão:

- *Pesquisa básica ou aplicada*, admitindo-se que reduzidos ganhos seriam obtidos com a diferenciação, já que a quase totalidade das abordagens na área classifica-se como pesquisa aplicada.
- *Novos desenvolvimentos tecnológicos*, voltados para a concepção e testes de novos produtos, equipamentos, materiais ou processos, incluindo nestes últimos modelos de gestão.
- *Adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos*, voltados para a otimização e aperfeiçoamento dos produtos, equipamentos, materiais ou processos já produzidos ou instalados.
- *Avaliação de efetividade*, de produtos, equipamentos, materiais ou processos.

Dimensão 2: do objeto da pesquisa

Em função do grau de emergência ou de consolidação de uma determinada técnica ou de um determinado problema sanitário, diferentes estratégias, prioridades ou enfoques científicos podem ser estabelecidos. Em vista disso, selecionaram-se quatro categorias para esta segunda dimensão:

- *Novos paradigmas científicos e tecnológicos*: categoria que vislumbra debates em curso ou em emergência, que visam redirecionar o atual padrão tecnológico dominante, a exemplo do reuso intensivo de água; do “*ecological sanitation*”²⁷; de soluções com separação da urina dos esgotos

²⁷ ESREY, S. A. Towards a recycling society: ecological sanitation – closing the loop to food security. *Water Science & Technology*, v. 43, n. 4, p. 177-87. 2001.



sanitários²⁸; do “*water harvesting*”²⁹; da reintrodução completa de resíduos no ciclo ecológico e na produção; de técnicas de descentralização radical de soluções para o abastecimento de água e a disposição de efluentes e resíduos.

- *Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários*: incluindo aqueles problemas sanitários sobre os quais ainda não se dominam inteiramente sua importância e as técnicas a serem empregadas para sua solução, além daquelas técnicas insuficientemente dominadas, a exemplo de microrganismos emergentes (protozoários, vírus e certas bactéria), cianotoxinas, perturbadores endócrinos e outras substâncias químicas em águas de abastecimento; de remoção de patógenos e microcontaminantes no campo do esgotamento sanitário; de técnicas alternativas de tratamento de fundos de vale; de soluções gerenciais efetivas para a coleta seletiva e a reciclagem de resíduos e de técnicas de biotecnologia.
- *Técnicas consolidadas*, porém que ainda demandam aperfeiçoamentos, otimizações, compreensão de aspectos particulares do seu comportamento, avaliações de seu desempenho, avaliações de impactos ou proteção sobre a saúde e o ambiente.
- *Investigações sobre modelos e estratégias de gestão*, incluindo: (i) a gestão técnica e político-administrativa de serviços, de sistemas e de suas partes (e.g. coleta de resíduos sólidos urbanos); (ii) modelos de gestão, abrangendo o papel do poder público, a participação da população e métodos de controle social; (iii) avaliação de políticas, por exemplo as que incentivam a participação da iniciativa privada.

Dimensão 3: da relevância

A relevância de um elenco de temas de pesquisa pode ser estabelecida com base em uma gama de critérios, que podem envolver os conceitos de relevância

²⁸ MATSUI, S., HENZE, M., HO, G., OTTERPOHL, R. Emerging paradigms in water supply and sanitation. In: MAKSIMOVIC, C., TJADA-GUIBERT, J.A. *Frontiers in urban water management*. deadlock or hope. Londres: IWA Publishing, UNESCO. 2001.

²⁹ YUEN, E., ANDA, M., MATHEW, K., HO, G. Water harvesting techniques for small communities in arid areas. *Water Science & Technology*, v. 44, n. 6, p. 189-94. 2001.

científica, relevância social, relevância política (habilidade em resultar em potencialização da participação popular...), relevância econômica (potencial em resultar em benefícios econômicos), dentre outros. A definição do grau de relevância de determinado tema é, em geral, fruto da perspectiva dominante de quem estabelece a classificação. Assim sendo, é provável que a prospecção de relevância tenha seu melhor resultado a partir de consulta a grupos de opinião, criteriosamente compostos.

Em vista disto, optou-se, no presente exercício, por não se estabelecerem graus de relevância e não solicitar dos respondentes tal definição, a menos da recomendação de que, caso identificados temas de alta relevância, a juízo do entrevistado, tal atributo fosse identificado.

Dimensão 4: da população alvo

Importante dimensão em uma classificação dessa natureza seria a identificação da população alvo da técnica em análise ou em desenvolvimento. Em um país com a realidade como a nossa, importa, em muitas aplicações, diferenciar a característica sócio-cultural da população ou a característica urbanística do assentamento populacional, uma vez que as soluções podem (e em alguns casos *devem*) diferir de situação para situação. Saliente-se ainda que o quadro de atendimento pelos serviços atualmente exibido pelo país apresenta uma nítida associação entre as carências de atendimento e a população excluída socialmente, ou seja, muitas das soluções de saneamento que o país demanda localizam-se justamente em área com ocupação urbana não-convencional, que reúne populações com características culturais particulares.

Nesse contexto, caberiam diferenciações, como:

- População urbana / população rural;
- População urbana moradora em locais de urbanização convencional / população urbana moradora em locais de urbanização precária (vilas, favelas, invasões);
- Populações especiais (indígenas...).

Caberia ainda pensar em uma separação entre técnicas/problemas de abrangência universal e técnicas/problemas predominantemente características de países em desenvolvimento.

De forma semelhante a dimensão anterior, optou-se, neste momento, por não assumir esta como uma dimensão para efeito de classificação, mas também recomendar aos respondentes que destacassem tal particularidade, quando aplicável.

Dimensão 5: da subárea

Considerando as muito relevantes particularidades características de cada subárea componente do saneamento, optou-se por destacá-las e consultar os especialistas de cada uma delas independentemente. Adotou-se a seguinte classificação:

- Abastecimento de água;
- Esgotamento sanitário (incluindo o lodo resultante do tratamento);
- Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos;
- Drenagem urbana.

Protocolo

Em vista das formulações anteriormente apresentadas, construiu-se o modelo anexo, que, separadamente por subárea (dimensão 5), privilegia a combinação entre as dimensões 1 e 2.

Protocolo para classificação de pesquisas e desenvolvimento em saneamento

Sub-área:

Respondido por:

		OBJETO			
		Novos paradigmas científicos e tecnológicos	Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários	Técnicas consolidadas	Modelos e estratégias de gestão
N A T U R E Z A	Pesquisa (básica/aplicada)				
	Novos desenvolvimentos tecnológicos				
	Adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos				
	Avaliação de efetividade				

Observações:

1. cada célula deve ser preenchida com temas (e não projetos) de P&D da respectiva sub-área;
2. caso o tema proposto tenha uma relevância especial, a juízo do respondente, este deve ser destacado com um asterisco * em frente ao seu enunciado;
3. caso o tema tenha aplicação mais particular em população ou assentamento específico, e o respondente considerar relevante destacar, esta particularidade pode ser destacada mediante uma simbologia, como:
 - AP: assentamento de urbanização precária (vilas, favelas, invasões);
 - PR: população rural;
 - PE: populações especiais (indígenas, ...).

9.2 RESPOSTA AO PROTOCOLO PARA A CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM SANEAMENTO

SUBÁREA: Abastecimento de água

Respondido por: Prof. Valter Lúcio de Pádua

		OBJETO			
		Novos paradigmas científicos e tecnológicos	Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários	Técnicas consolidadas	Modelos e estratégias de gestão
NATUREZA	Pesquisa (básica/aplicada)	Produtos químicos alternativos para tratamento de água	(1) Contaminação biológica de águas destinadas ao consumo humano (2) Perturbadores endócrinos: efeitos sobre a saúde e técnicas de remoção (3) Subprodutos da oxidação/desinfecção: efeitos sobre a saúde e técnicas de remoção	Controle de qualidade de produtos químicos utilizados no tratamento de água	Descentralização dos sistemas de fornecimento de água no meio urbano
	Novos desenvolvimentos tecnológicos	Processos alternativos de geração de energia para sistemas de abastecimento de água	Desenvolvimento de novos materiais aplicados à filtração de água		
	Adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos	Sistemas alternativos de abastecimento de água em áreas especiais (rurais, indígenas, semi-árido e urbanização precária)	Técnicas de remoção de células intactas de cianobactérias		
	Avaliação de efetividade	Bioensaios aplicados ao monitoramento da qualidade das águas bruta e tratada	Diagnóstico dos problemas de qualidade de água bruta no Brasil	Avaliação do desempenho de ETAs: adequação ao padrão de potabilidade	(1) Qualificação de operadores de sistemas de abastecimento de água (2) Proteção de mananciais: intervenções em bacias hidrográficas

SUBÁREA: Esgotamento sanitário
Respondido por: Marcos von Sperling

		OBJETO			
		Novos paradigmas científicos e tecnológicos	Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários	Técnicas consolidadas	Modelos e estratégias de gestão
N A T U R E Z A	Pesquisa (básica/aplicada)	Soluções individuais para tratamento/ disposição de esgotos em áreas de baixa densidade	Esgotamento sanitário em áreas inundáveis ou com lençol freático elevado	Impacto de algas (toxinas, DBO) efluentes de lagoas de estabilização	Requisitos de qualidade para efluentes lançados em corpos d’água intermitentes
	Novos desenvolvimentos tecnológicos		Reúso de efluentes na agricultura (aprofundamento do PROSAB) Reúso da água para indústrias Aplicação de lodo na agricultura (aprofundamento do PROSAB)		Modelos para outorga do lançamento de efluentes em corpos d’água
	Adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos	Desinfecção de efluentes de reatores Uasb e de lagoas de estabilização (aprofundamento do Prosab)	Implantação em escala real de processos de tratamento de esgotos desenvolvidos no âmbito do Prosab Implantação em escala real de processos de desinfecção de esgotos desenvolvidos no âmbito do Prosab Implantação em escala real de processos de tratamento e disposição do lodo de esgotos desenvolvidos no âmbito do Prosab	Solução de problemas operacionais de reatores Uasb (escuma, odores, corrosão) Polimento do efluente de lagoas de estabilização	
	Avaliação de efetividade		Avaliação em escala real do desempenho de processos de tratamento desenvolvidos no âmbito do PROSAB		

Observações: Acredito que também podem ser considerados como “novos paradigmas”, conceitos clássicos ou antigos que, por estarem relativamente esquecidos, merecem ser revisitados, e ainda aqueles que já estão sendo discutidos em alguns países há alguns anos, mas ainda são relativamente novos no Brasil.



SUBÁREA: RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Respondido por: Liséte Celina Lange

		OBJETO			
		Novos paradigmas científicos e tecnológicos	Técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários	Técnicas consolidadas	Modelos e estratégias de gestão
N A T U R E Z A	Pesquisa (básica/aplicada)	Reaproveitamento de materiais potencialmente recicláveis: aplicações tecnológicas Identificação e isolamento de microrganismos em lixiviados de aterros e sua associação a degradação dos resíduos sólidos urbanos	Técnicas de tratamento de lixiviados gerados em sistemas de disposição final de R.S.U. Aplicação da Biotecnologia no tratamento dos R.S.U.	Avaliação da patogenicidade dos lixiviados gerados em aterros sanitários: disposição versus co-disposição	Estratégias para gestão de resíduos sólidos nas áreas de portos, aeroportos e fronteiras e terminais alfandegados de uso público Implantação do “ciclo de economia fechada” na gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil
	Novos desenvolvimentos tecnológicos	Reaproveitamento de materiais potencialmente recicláveis: aplicações tecnológicas Identificação e isolamento de microrganismos em lixiviados de aterros e sua associação à degradação dos resíduos sólidos urbanos			Estratégias para gestão de resíduos sólidos nas áreas de portos, aeroportos e fronteiras e terminais alfandegados de uso público Implantação do “ciclo de economia fechada” na gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil
	Adaptações e aperfeiçoamentos tecnológicos		Técnicas de tratamento de lixiviados gerados em sistemas de disposição final de R.S.U. Aproveitamento do biogás gerado em unidades de disposição final de RSU	Degradação térmica para RSU em grandes centros	Protocolo de referência para monitoramento e fechamento de sistemas de disposição final de RSU – ênfase em pequenas comunidades
	Avaliação de efetividade		Aplicação da biotecnologia no tratamento dos RSU	Degradação térmica para RSU em grandes centros Avaliação da patogenicidade dos lixiviados gerados em aterros sanitários: disposição versus co-disposição	Protocolo de referência para monitoramento e fechamento de sistemas de disposição final de RSU – ênfase em pequenas comunidades



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Anexo II-e



Prospecção Tecnológica
Recursos Hídricos

Produtos e Equipamentos

Documento Final

Paulo Kroeff Souza
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Novembro, 2003

SUMÁRIO

1. Apresentação	7
2. Histórico	8
3. Caracterização dos problemas e questões de monitoramento hidrológico no Brasil e suas peculiaridades	11
3.1 Variáveis Monitoradas	11
3.1.1 Monitoramento fluviométrico	11
3.1.2 Medição de vazão	12
3.1.3 Medição de sedimentos	13
3.1.4 Monitoramento pluviométrico	13
3.1.5 Medida de variáveis climatológicas	14
3.1.6 Medida da qualidade da água	15
3.1.7 Medida da evaporação	15
3.2 Características gerais	16
3.2.1 Características de localização da estação	16
3.2.2 O caso peculiar dos açudes	17
3.2.3 Características ambientais para estações contendo eletrônica	18
3.2.4 Descargas atmosféricas (raios)	18
3.2.5 Problemas de suprimento de energia para estações de monitoramento	20
3.2.6 A importância da telemetria e as peculiaridades de sua implantação	21
3.3 Aspectos culturais	22
3.3.1 Aferição de instrumentos	22
3.3.2 Manutenção de equipamentos ou sua ausência	22
4. Condicionantes econômico-financeiras e institucionais	23
4.1 Política industrial	23
4.2 Características da rede de monitoramento	25
4.3 Legislação para a licitação de compras públicas	25
4.4 Efeitos combinados	28
5. Caracterização dos equipamentos e técnicas e suas tendências de desenvolvimento	29
5.1 Instrumentos para a medida de nível	29
5.1.1 Réguas linimétricas	30
5.1.2 Linígrafos de bóia e contrapeso	30
5.1.3 Linígrafos de pressão por borbulhamento	34
5.1.4 Linígrafos de sensor de pressão submerso	36
5.1.5 Métodos acústicos	38
5.1.6 Medida de nível sem contato por radar	38
5.2 Instrumentos para medida de vazão	39
5.2.1 Molinetes hidrométricos e outros velocímetros	39
5.2.2 Molinetes de hélice	40
5.2.3 Molinetes tipo Price	41
5.2.4 Medidores eletromagnéticos	42
5.2.5 Velocímetros acústicos de diferença de velocidade	42
5.2.6 Velocímetros acústicos de efeito Doppler	43
5.2.7 Medida automatizada da vazão	44
5.2.8 Perfiladores de efeito Doppler	44
5.2.9 Medição por traçadores	46
5.2.10 Medição sem contato	46
5.2.11 Medição por sensoriamento remoto	47

5.3 Instrumentos para a medida da descarga sólida.....	48
5.4 Instrumentos para a medida de precipitação.....	49
5.4.1 Pluviômetro “Ville de Paris” e similares.....	49
5.4.2 Pluviógrafos de caçamba basculante.....	50
5.4.3 Pluviógrafos de cisterna sifonada.....	52
5.4.4 Pluviógrafos de balança eletrônica.....	52
5.5 Instrumentos para a medida de evaporação.....	53
5.5.1 Atmômetros.....	53
5.6 Considerações gerais.....	55
5.6.1 Problemas de relógios.....	55
5.6.2 Automonitoramento de estações.....	56
5.6.3 Postos automáticos de monitoramento.....	56
5.7 Equipamento eletrônico associado.....	56
5.7.1 Equipamento de registro e controle.....	57
5.7.2 Equipamento de telemetria.....	58
5.7.3 Software.....	60
5.8 Equipamentos para instalação.....	61
5.8.1 Bóias de instrumentação.....	62
5.8.2 Torres para instalação dentro do corpo d’água.....	64
6. O parque instalado, sua manutenção, sua atualização e sua expansão.....	65
6.1 Evolução do monitoramento hidrometeorológico no Brasil.....	65
6.2 Rede hidrometeorológica atual.....	67
6.2.1 Distribuição recomendada de estações de monitoramento.....	71
6.3 Instrumentos e processos usuais de medição.....	73
6.3.1 Medidas do nível e da chuva.....	74
6.3.2 Medida da vazão.....	75
6.3.3 Rede telemétrica.....	75
6.4 Orientação desejável para o futuro das redes.....	78
6.4.1 Integração das redes.....	78
6.4.2 Normas para as redes.....	79
6.4.3 Previsão de necessidades.....	80
7. Opções de política industrial e desenvolvimento tecnológico e desenvolvimento tecnológico.....	80
7.2 Projetos sugeridos.....	83
7.2.1 Linígrafo de pressão por borbulhamento.....	83
7.2.2 Linígrafo de pressão autosuficiente.....	84
7.2.3 Tanque evaporimétrico automático.....	85
7.2.4 Pluviógrafo de balança eletrônica.....	86
7.2.5 Data loggers.....	86
7.2.6 Bóia de instrumentação.....	87
7.2.7 Medição de vazão por radar.....	88
7.2.8 Torres para instalação dentro do corpo d’água.....	88
7.2.9 Sistema nacional de telemetria via satélite.....	89
7.2.10 Instrumentos de qualidade da água.....	90
7.2.11 Sistemas de medida da evapotranspiração por covariância em vórtices (eddy covariance).....	91
8. Identificação de potenciais nacionais para o desenvolvimento e produção de equipamento.....	92
8.1 Condições básicas.....	92



8.2 Possibilidades de desenvolvimento de fabricantes nacionais.....	93
8.2.1 Empresa nacional de hidrometria	93
8.2.2 Diversas empresas atuando cooperativamente	94
8.2.3 Cooperação com empresa estrangeira	95
8.2.4 Estimular a implantação de filial de empresa estrangeira	96
8.2.5 Criação de uma empresa pública para o desenvolvimento e produção de equipamento para monitoramento hidrométrico.	96
8.3 Condições de pesquisa e desenvolvimento	97
8.4 Viabilização de desenvolvimentos por meio de projetos piloto para a rede de monitoramento	98
9. Sugestões e Recomendações	100
10 Bibliografia.....	102

1. APRESENTAÇÃO

A prospecção em produtos e equipamentos, parte das atividades do CT-Hidro e contratada pela Finep ao CGEE (Centro de Gestão de Estudos Estratégicos) foi definida tendo como primeira atividade a elaboração de um texto que deve abordar os seguintes itens:

- (a) Caracterização geral das questões de “monitoramento hidrológico” e da “indústria brasileira de equipamentos de monitoramento”, com apresentação dos elementos principais, explicitação dos atores envolvidos e descrição do funcionamento dos processos mais importantes;
- (b) identificação das principais variáveis e condicionantes naturais, econômico-financeiras e institucionais determinantes de uma demanda por equipamentos de monitoramento e sua oferta;
- (c) caracterização do desenvolvimento tecnológico nacional e internacional dos equipamentos de monitoramento;
- (d) avaliação sobre a evolução histórica da indústria de equipamentos e perspectivas de evolução;
- (e) discussão sobre eventuais particularidades regionais, sazonais, institucionais ou administrativas suscetíveis de influir no comportamento da demanda por esses equipamentos e a sua oferta;
- (f) identificação das potencialidades, dificuldades, oportunidades e ameaças associadas ao desenvolvimento e à consolidação de uma indústria brasileira de equipamentos de monitoramento;
- (g) construção de cenários evolutivos, com identificação das variáveis endógenas e das variáveis exógenas associadas à evolução do processo;
- (h) identificação das principais limitações associadas a uma evolução desejável da questão (gargalos);
- (i) identificação das principais limitações de natureza de C&T associadas a uma evolução desejável da questão (gargalos de C&T);

- (j) Identificação de sugestões de ações de P&D e das competências nacionais melhor capacitadas para conduzi-las;
- (k) identificação de potenciais parceiros nacionais para produção de equipamentos;

Estes tópicos foram cobertos, mas em seqüência diferente da apresentada acima. No capítulo 3 (Caracterização dos problemas de monitoramento hidrológico no Brasil e suas peculiaridades) cobre parcialmente os itens (a) e (e). O capítulo 4 (Condicionantes econômico-financeiras e institucionais) refere-se ao item (b) e parte do item (f). O capítulo 5 (Caracterização dos equipamentos e técnicas e suas tendências de desenvolvimento) procura atender aos itens (c) e (d). O capítulo 6 (O parque instalado, sua manutenção, sua atualização e sua expansão) responde o restante do item (f) e agrega informações sobre o mercado. O capítulo 7 (Opções de política industrial e desenvolvimento tecnológico) aglutina parte das informações de (f), (j), (g) e (i) devido ao seu denso inter-relacionamento. O capítulo 8 (Histórico e identificação de potenciais nacionais para o desenvolvimento e produção de equipamento) procura dar conta do que falta dos itens (d) e (j) e do item (k).

No desenvolvimento do texto é dada ênfase aos equipamentos de fluviometria e pluviometria e evaporimetria, embora em muitas partes sejam incluídas considerações abrangendo outras áreas, como sedimentometria e qualidade da água.

2. HISTÓRICO

A área de equipamentos de monitoramento hidrológico faz parte do mundo mais amplo da tecnologia de instrumentação. Até a década de 50, quase todos os instrumentos, com exceção dos de uso específico das áreas de eletricidade e eletrônica eram mecânicos. Por essa razão, instrumentação era uma área técnica considerada parte da “mecânica fina”. No final dos anos 50 e no início dos 60 observa-se uma progressão rápida na introdução de componentes elétricos e eletromecânicos na instrumentação. No fim da década e durante todos os anos 70 ocorre o *boom* dos “servo-instrumentos”, que fazem extenso uso de componentes elétricos e de componentes de eletrônica contínua, vulgarmente chamada de “analógica”.

A entrada da eletrônica na instrumentação leva a novas possibilidades como o registro ou o armazenamento dos resultados de medição e a sua comunicação ou transmissão. A centralização dos meios de registro e transmissão dá origem à tendência de aglutinar instrumentos em sistemas de instrumentação.

Essas tendências continuam no início dos 80, porém, com a adição gradativa de circuitos digitais que acabarão por dominar a área na virada para os anos 90. Nos 90, a presença crescente dos circuitos digitais levará aos instrumentos “inteligentes” isto é, contendo processadores, o que introduzirá um novo vetor de tecnologia na área: o software. Com o advento dos instrumentos baseados em eletrônica analógica e, depois, digital, a área de condicionamento, registro e transferência de dados passou a ter uma presença crescente nas produções da indústria eletrônica e de telecomunicações.

A primeira etapa de processamento de dados, o condicionamento de sinais dos sensores, começou com os sensores que têm como saída, sinais elétricos analógicos, e, os antigos condicionadores eram agrupados junto dos sistemas de registro de dados. Atualmente, a tendência é condicionar os dados junto ao sensor podendo a informação já sair deste em forma digital.

O armazenamento de dados, que no tempo dos instrumentos mecânicos e

eletromecânicos se restringia ao registro gráfico em papel, passa para os gravadores de fita magnética, modulada em frequência, no tempo dos instrumentos analógicos, e evolui para os *data loggers* ou *instrument controllers*, que podem conter conversores analógico-digitais, para receber sinais analógicos dos sensores e que registram as informações em memórias de estado sólido.

Os *data loggers* e *instrument controllers* possuem software próprio com as funções de coleta e armazenamento de dados e pode realizar operações de filtragem digital que podem, em certos casos, substituir a filtragem analógica na etapa de condicionamento de sinais.

Os *instrument controllers* ou controladores de instrumentação distinguem-se dos ‘*data loggers*’ ou registradores de dados por terem órgãos de saída que emitem sinais para controlar operações de medição que requerem movimentação ou chaveamento. Possuem software de comando, além do de coleta e transferência de dados. Pertencem à família dos controladores usados em automação industrial.

O software utilizado nessas máquinas não deve ser confundido com o software de exploração e tratamento que é usado pelos usuários dos dados. A área de transferência telemétrica antigamente ficava restrita às conexões via cabo e às transmissões via rádio. Hoje é possível contar, na maioria dos casos, com transmissões por telefonia celular e/ou via satélite, bastando para isso que o registrador ou controlador possua a interface adequada, incluindo o software.

A rápida sucessão de mudanças radicais na tecnologia da área e a sua associação final à área da eletrônica e do software, que estão entre as áreas mais dinâmicas da tecnologia moderna, transformaram a área de instrumentação numa outra dessas áreas “superaquecidas”. Essas transformações tiveram movimentos precursores na área de instrumentação de uso militar, logo transferidas para a área aeroespacial. Nesta última, em alguns casos a progressão rápida foi algo freada, mas não contida pelas considerações de segurança.

As grandes tendências se consolidaram e se difundiram ao atingir a área de automação industrial, que deu possibilidades de larga escala para a indústria de instrumentos, habilitando-a a atingir a área de consumo.

As tendências para o futuro próximo não são de novas revoluções tecnológicas, esperando-se certa estabilidade no uso dos instrumentos digitais. Porém, deve haver evolução marcante no encapsulamento dos circuitos eletrônicos, que tenderão a integrar-se aos corpos dos sensores (o que já sucede em algumas áreas¹). Isso vai sendo tornado possível pela integração dos circuitos em escala cada vez maior, o que diminui o tamanho físico dos equipamentos eletrônicos.

Essa tendência pode, em alguns casos, ser acompanhada da integração das baterias aos circuitos, levando a instrumentos que são descartados por ocasião do esgotamento dessas baterias².

Uma outra tendência que se manifesta, já há bastante tempo, e que deve se acelerar é a procura de novos princípios a explorar na elaboração de sensores. A idéia é torná-los mais harmonizados tecnicamente com os circuitos eletrônicos: buscam-se fenômenos que permitem interfaces mais diretas com a eletrônica e que possibilitem o projeto de instrumentos com menor número de peças móveis ou sujeitas à deriva e desgaste. Tal aconteceu, por exemplo, com os giroscópios usados em diversas áreas de aplicação e que eram mecânicos. Hoje são usados giroscópios a laser e giroscópios de lâminas ressonantes.

A área de monitoramento, em geral, e a de monitoramento hidrológico, em particular, apresentam tendências contraditórias o que implica na coexistência de espécimens de instrumentos caracterizáveis como pertencentes a épocas diversas. Assim, observa-se o uso precoce da eletrônica nos radares meteorológicos, ao mesmo tempo em que sobrevivem, até hoje, os molinetes hidrométricos, representantes da espécie em extinção dos instrumentos eletromecânicos.

Mais surpreendente ainda são os vetustos linígrafos de bóia e contrapeso e os pluviógrafos de cisterna sifonada, ambos com registro em papel e que representam a quase totalidade dos equipamentos instalados, ainda encontrando compradores e movimentando uma pequena indústria de manutenção e partes para reposição.

¹ É o caso de vários sensores fabricados pela Ott e outros fabricantes.

² A empresa americana Onset Computers produz diversos sensores com *data logger* e bateria integrados em uma cápsula permanentemente selada que pode ser mergulhada até 1000 pés de profundidade. Os instrumentos são descartáveis ao se esgotarem suas baterias.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS E QUESTÕES DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO NO BRASIL E SUAS PECULIARIDADES

3.1 VARIÁVEIS MONITORADAS

Num país de dimensões gigantescas, desenvolvendo-se de latitudes equatoriais até áreas temperadas, contendo alguns dos maiores rios do mundo e a maior de todas as bacias hidrográficas, juntamente com regiões semi-áridas aparecem quase todas as situações extremas em termos de monitoramento.

3.1.1 Monitoramento Fluviométrico

No que diz respeito ao monitoramento fluviométrico temos desde rios muito encaixados em regiões escapadas, por exemplo, nas bordas do Planalto Brasileiro até rios que mudam de curso entre uma temporada e outra devido à baixíssima declividade, como acontece no Pantanal.

A seção de medição do nível deve ser instalada em local de trecho retilíneo do rio, com leito regular e estável, de modo a favorecer uma distribuição uniforme das velocidades da água no ponto de medida. Também se evita a instalação a montante de reservatórios, devido ao remanso, em outras obras hidráulicas que promovam o estreitamento brusco da seção, como pontes e bueiros e em locais com influência de maré. Entretanto, encontrar o local ideal para a estação fluviométrica nem sempre é possível. Outro problema a ser resolvido é a localização dos equipamentos de medição na seção, dispostos a garantir seu funcionamento em períodos secos e chuvosos.

Quando o leito do rio extravasa na seção por algumas poucas centenas de metros em sua margem, já se torna muito caro o uso de sensores de pressão ou de bóia e contrapeso e de poços tranquilizadores. É preciso recorrer aos linígrafos de borbulhamento ou às torres de medição instaladas dentro do leito do rio.

Quando a margem de um corpo d'água muda de posição em alguns quilômetros

entre a estação seca e a estação chuvosa, a proposição de colocar um linígrafo na margem é sem sentido. Aí, somente as torres de medição instaladas dentro da água resolvem. Tal acontece tanto em grandes rios da Amazônia como nos lagos rasos do Rio Grande do Sul.

Inversamente, em rios muito encaixados e de grande porte pode ser extremamente difícil a instalação de um linígrafo se não houver uma ponte na seção.

Por outro lado, no semi-árido, a maioria dos rios não é perene o que, se facilita a instalação do instrumento, torna difícil a sua operação e proteção. Certos sensores, como os de pressão podem se danificar quando são expostos fora d'água. Mesmo em outras regiões do país, cuidados devem ser tomados para se evitar a perda de leituras nos períodos secos, ajustando a altura do sensor de maneira a promover a leitura contínua.

Outro problema de monitoramento é a necessidade de medir níveis em rios receptores de grandes cargas de esgotos que, devido à vazão muito baixa em épocas mais secas, têm uma água extremamente agressiva aos sensores o que pode acarretar a tomada de leituras errôneas e impossibilitar sua manutenção e operação pelo técnico.

3.1.2 Medição de Vazão

Quanto à medição de vazão, encontramos desde escoamentos com baixíssima velocidade como é o caso da Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul e escoamentos em alta velocidade em rios encaixados e com alta declividade. Do ponto de vista de seção de medição há problemas extremos como os de tamanho na Amazônia e os de instabilidade do curso da água no Pantanal. E, nos casos de baixa declividade e/ou baixa velocidade podem surgir casos de inversão de fluxo.

As medições também devem se distribuir ao longo do tempo, permitindo a coleta de dados suficientemente representativos para que se defina uma curva cota vazão adequada. Como na quase totalidade das estações a medição se faz localmente por equipe técnica, pode não haver um número suficiente de valores

nos ramos inferior (vazões mínimas) e superior (vazões máximas) da curva cota vazão, tornando a estimativa de valores extremos de vazão pouco confiável.

Um caso particular e importante de medida de vazão é o dos rios com inversão de fluxo. Isso pode ocorrer principalmente em rios de baixa declividade e/ou baixa velocidade de escoamento. Para esses casos não funciona bem a conversão de um nível em vazão através de uma curva-chave. Conhecido o comportamento hidráulico de uma seção de medição, pode-se usar um medidor de velocidade média por ultra-som associado a um linígrafo, o que permitirá, não só o cálculo da vazão como, também, a detecção em tempo real do seu sentido.

3.1.3 Medição de Sedimentos

Devido aos custos de obtenção e análise dos dados de descarga sólida de um rio, na grande maioria dos postos de monitoramento de vazão apenas é realizada a medição da descarga em suspensão, sendo a carga total de transporte estimada geralmente através de métodos empíricos.

Os postos sedimentométricos são instalados em seções onde já exista a medição de vazão, necessária ao cálculo da descarga sólida. Os cuidados de instalação são os mesmos de uma estação fluviométrica.

3.1.4 Monitoramento Pluviométrico

Do ponto de vista do monitoramento pluviométrico também se encontram extremos. Há regiões de chuvas intensas que demandam a medição de precipitações da ordem do milímetro por minuto, enquanto em outros lugares os índices pluviométricos são de baixíssima intensidade e ocorrência, como no semi-árido brasileiro. Áreas urbanas também demandam a instalação de pluviógrafos, cujos dados são fundamentais para estudos de drenagem pluvial e de controle de cheias.

Na maior parte das regiões tropicais as temperaturas podem ser tão elevadas que

alteram o funcionamento dos instrumentos. Por outro lado, há regiões, como o norte do Rio Grande do Sul e oeste catarinense, onde ocorrem precipitações de neve requerendo instrumentos aquecidos, de modo a evitar sua paralisação.

Outro problema freqüente é como instalar o pluviógrafo ou pluviômetro. Em áreas urbanas ou de vegetação densa, dificilmente será possível uma instalação que respeite o limite de proximidade de obstáculos do aparelho e sua altura padrão de operação.

3.1.5 Medida de Variáveis Climatológicas

As estações climatológicas são caracterizadas pela medição da temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, pressão atmosférica, precipitação, radiação solar, período de insolação e, eventualmente, umidade do solo.

Atualmente, a maior parte dessas estações são montadas com aparelhos de leitura manual, como termômetros de máxima e mínima do ar, barômetros, psicrômetros e evaporímetros e aparelhos de registro gráfico contínuo como higrotermógrafos, pireliógrafos, pluviógrafos e outros. Porém, a ANA, Sivam, Inpe e outras entidades vêm instalando nos últimos anos estações com coleta e transmissão automática. Uma exceção ainda é a medição da umidade do solo, ainda feita manualmente por lisímetros, de cara e complexa construção.

Uma séria restrição à instalação dessas estações é a necessidade de um espaço aberto, longe de construções e obstáculos naturais que venham a influenciar o comportamento climático local, formando corredores de ventos ou ilhas de calor.

Com o crescente aumento da demanda por águas subterrâneas e da necessidade de estudos para a avaliação de sua potencialidade e preservação, passam a ser necessários equipamentos que permitam o cálculo da infiltração da água de chuva no subsolo, para fins de balanço hídrico.

3.1.6 Medida da Qualidade da Água

Na maior parte dos postos de monitoramento de qualidade das águas, somente são coletados, de forma manual, os parâmetros temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, embora estejam disponíveis no mercado, já há algum tempo, equipamentos automáticos.

Estações eletrônicas podem ser configuradas de maneira a obter um número adequado de parâmetros físico-químicos da água. Podem ser instalados sensores para cloretos, turbidez, amônia etc. Porém, como na maioria dos casos, os equipamentos, sensores e peças de reposição são importados, resultando em altos custos.

3.1.7 Medida da Evaporação

Finalmente é preciso considerar o problema da medida da evaporação. Em regiões semi-áridas, como no nordeste brasileiro, a seca é causada não só pela precipitação relativamente escassa, mas principalmente pelos altos valores de evaporação. Assim é de extrema importância o monitoramento da evaporação nessa região. Altas taxas de evaporação também podem inviabilizar projetos de reservatórios de acumulação de água para geração de energia ou distribuição pública.

Em locais do semi-árido, a instalação é problemática pelo simples fato de o posto necessitar para o seu funcionamento de certa quantidade de água limpa, provida por outro tanque. No extremo oposto, está o problema de instalar um posto evaporimétrico no meio de áreas de vegetação densa onde não só é difícil limpar um lugar para uma estação, como também haverá interferência contínua da fauna.

É importante mencionar que a evapotranspiração pode ser estimada por métodos de cálculo, como o método de Penman, a partir da medida de algumas variáveis como umidade relativa e temperatura do ar, radiação solar e ventos.

Atualmente, estas estimativas têm sido feitas com base em medições mais sofisticadas, envolvendo torres dotadas de diversos sensores, entre eles anemômetros vetoriais usando métodos acústicos, em duas ou três alturas do solo.

3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Algumas características muito importantes são comuns ao monitoramento de todas ou quase todas as variáveis de interesse.

3.2.1 Características de Localização da Estação

De uma forma geral, qualquer que seja a variável a ser monitorada, encontrar-se-ão problemas de acessibilidade aos locais, ou porque são muito distantes, ou porque estão situados longe de recursos de infra-estrutura e da população, ou, ainda, por estarem situados em áreas não desbravadas. Isto aponta na direção de instalações automatizadas e automonitoradas, incluindo o uso de telemetria.

A telemetria em si é uma dificuldade. Na grande maioria dos locais é inútil pensar na utilização de comunicações telefônicas por linha convencional. Assim sendo, há todo um campo de aplicação para a comunicação por telefone celular e por satélite. Por outro lado, devido às grandes distâncias que ocorrem justamente nas áreas sem infra-estrutura, as redes tradicionais de rádio-enlace acabam tendo custos proibitivos.

Estações instaladas em cursos d'água, ou próximas a eles, também devem ser protegidas contra inundações. Mantendo-se em funcionamento durante a passagem de ondas de cheia e a salvo de materiais por elas transportados, como árvores.

Finalmente, falando-se em instalações remotas, estará sempre presente o problema do vandalismo.

É usual que se protejam postos de medição contra a ação de animais. Em regiões

onde há animais de grande porte, este problema pode adquirir um certo grau de dificuldade. Mas, sem dúvida, é a presença do ser humano que é a mais ameaçadora. Pode-se dizer que não há proteção absoluta contra o vandalismo numa instalação suficientemente remota e não atendida. É, pois, necessário usar a criatividade para dificultar a ação destruidora.

3.2.2 O caso Peculiar dos Açudes

Existem algumas situações peculiares de localização que resultam em uma problemática própria. Tal é o caso do monitoramento de açudes, principalmente quando seu nível oscila muito e/ou quando o açude chega a secar. Tal acontece no semi-árido, onde há centenas de açudes suficientemente grandes ou economicamente importantes para merecerem monitoramento.

Nesses casos, é desejável que o instrumental esteja na parte mais profunda do açude que, na maioria dos casos, é distante das margens. O uso de torres construídas dentro da água é, em geral, antieconômico, principalmente se a profundidade na cheia é grande. Então, a melhor maneira de colocar instrumentação é em bóias cativas, fundeadas de forma especialmente cuidadosa.

A nível internacional encontra-se enorme variedade de tipos de bóias de instrumentação livres ou cativas, em tamanhos que variam desde algumas dezenas de centímetros até quinze metros de diâmetro, utilizadas principalmente para obtenção de dados climáticos nos oceanos.

Já há uma utilização de bóias climatológicas em desenvolvimento no país, voltadas para a utilização em lagos e reservatórios e utilizando transmissão via satélite, embora em um número muito reduzido. Esse tipo de equipamento vem sendo usado pelo Inpe.

3.2.3 Características Ambientais para Estações Contendo Eletrônica

Falando-se de postos automáticos, fala-se de instrumentação eletrônica que precisa de energia elétrica para funcionar. À primeira vista parece fácil a utilização de energia solar para alimentar equipamentos colocados longe de locais com redes elétricas, o que será o caso da maioria. Porém, por um lado, a existência de vegetação atrapalha a alimentação solar e, por outro, há regiões no Brasil onde a insolação é muito fraca em certas épocas do ano.

A umidade excessiva e permanente em grande parte do território nacional, também é uma ameaça para os equipamentos eletroeletrônicos demandando proteções adicionais e o uso de conexões e materiais resistentes à corrosão.

Outro problema ligado às estações eletrônicas são as altas temperaturas que ocorrem nas regiões quentes ensolaradas, requerendo especial cuidado no projeto térmico dessas estações.

3.2.4 Descargas Atmosféricas (raios)

Entretanto, o maior inimigo dos equipamentos eletrônicos é o raio. E o Brasil é o país de maior incidência de raios no mundo. Assim sendo, é necessário projetar proteções excepcionalmente cuidadosas para os postos de monitoramento automático.

O mapa isoceraúnico do Brasil³, figura 3.1, mostra as isolinhas do índice ceraúnico. Esse índice é o número de dias por ano com trovoadas observadas em um local de 20km de raio.

³ Do livro de *Proteção contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas*, de Geraldo Kindermann. Reprodução permitida por cortesia do autor.



Figura 3.1: Mapa isoceraúnico do Brasil

O índice ceraúnico permite calcular a densidade de raios, isto é, o número de raios incidindo por km² por ano. Usa-se a fórmula⁴:

$$D_R = 0,0024I_C^{1,63}$$

onde: D_R = densidade de raios; I_C = índice ceraúnico

Zonas de incidência “normal” de raios como o sul do Rio Grande do Sul ou a maior parte da Bahia têm D_R variando de 0,3 a 1 raio por km² por ano, enquanto numa enorme zona do centro do país têm-se quase 6 raios por km² por ano e, no oeste do Amazonas ou no leste do Pará pode-se chegar a quase 8 e, nas pequenas regiões de I_C de 160, chega-se a quase 10.

⁴ KINDERMANN, G. Op. cit.

Uma parte considerável dos problemas de manutenção de estações automáticas decorre da inexistência de proteção adequada à queda de raios. Um sistema pára-raios eficiente demanda custos consideráveis de aquisição e instalação, o que tem afastado as entidades operadoras de redes de monitoramento.

3.2.5 Problemas de Suprimento de Energia para Estações de Monitoramento

As estações de monitoramento, baseadas em instrumentos eletro-eletrônicos, precisam de suprimento de energia elétrica. Na grande maioria dos casos usa-se energia solar para carregar baterias o que, normalmente, resulta num suprimento regular e confiável de energia limpa, isto é, livre de interrupções, de flutuações causadas por outros consumidores ou de impulsos causados por descargas atmosféricas que atingem as redes de distribuição pública. Por estas últimas razões, recorre-se à energia solar mesmo em locais onde a interconexão com a rede seria relativamente fácil. A diminuição do custo de aquisição de painéis solares também tem contribuído para o aumento de seu uso. Nos últimos anos, um grande número de estações instaladas de coleta e transmissão automáticas de dados tem se valido desse sistema.

Embora o Brasil seja habitualmente considerado país tropical e, portanto ensolarado, há grandes variações de disponibilidade de energia entre as regiões e grande variação entre as estações do ano. Assim, é crítica a instalação de alimentação solar no sul do país, por simples falta de sol nos meses de inverno. A solução é aumentar o tamanho dos painéis de captação, então é preciso enfrentar os ventos de alta velocidade (acima de 150 km/h). O meio de transmissão escolhido também pode inviabilizar a telemetria, devido à necessidade maior de energia elétrica, ao ser utilizado, como se observa em estações com transmissão constante por linha convencional de telefonia, exigindo também a instalação de um número maior de baterias.

Felizmente, o correto dimensionamento das alimentações solares é possível utilizando-se os dados do Atlas Solarimétrico do Brasil, produzido pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (Cresesb) do Centro

de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) empresa do grupo Eletrobrás, que funciona junto à Coppe, na UFRJ. O Cresesb também disponibiliza os dados e os meios de procura do Atlas no seu site⁵.

O crescente desenvolvimento de sistemas de aquisição e armazenamento de dados também tem gerado equipamentos com um consumo menor de energia. Em casos em que somente uma variável é medida, como a chuva ou o nível do rio, podem ser utilizados equipamentos portáteis com uma autonomia de alguns meses, baseada no uso de pilhas alcalinas comuns.

3.2.6 A Importância da Telemetria e as Peculiaridades de sua Implantação

Dada a vastidão do território nacional e a dificuldade de acesso a muitos pontos de interesse, do ponto de vista de monitoramento, a utilização de telemetria é, freqüentemente, aplicável para reduzir custos operacionais, além do interesse do que possa ser intrínseco.

O sistema baseado em rádio-enlace, em que o operador é proprietário de uma rede exclusiva de comunicações direcionais dedicadas, é o de menor custo operacional principalmente se os volumes de dados forem grandes. Mas o custo de implantação é elevado.

Na área de monitoramento hidrológico as quantidades de dados transmitidas são, em geral, pequenas e, assim, as comunicações por telefonia celular e mesmo por satélite são competitivas ou mais econômicas. Como ainda existem, e continuarão a existir por tempo indeterminado, vastas áreas sem cobertura de telefonia celular, a comunicação por satélite tem grande campo de aplicação no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste.

⁵ <http://www.cresesb.cepel.br>

3.3 ASPECTOS CULTURAIS

3.3.1 Aferição de instrumentos

A falta de familiaridade da população, e das administrações, em particular, com os problemas de medição, leva a uma espécie de crença exagerada na infalibilidade dos instrumentos. A disponibilidade de relógios de pulso eletrônicos que provavelmente deixarão de funcionar subitamente em vez de mostrar horas erradas e a maravilha do velocímetro do carro que vai começar a errar somente na mão do segundo dono, reforçam essas crenças descabidas. Assim, os instrumentos de uso profissional deixam de ser aferidos.

Embora a probabilidade de erros exagerados nas medições seja pequena, os casos ocorrerão, dado o número de instrumentos em uso e sua utilização às vezes intensa. E, dada a responsabilidade e as conseqüências de certos erros de medição, situações problemáticas aparecerão.

Apesar de tudo isso, e embora tenha sido observadas certa melhoria, com as agitações em torno da famosa ISO 9000, as administrações geralmente ainda não encaram o problema com a devida seriedade e, como conseqüência, as instalações para aferir instrumentos ainda são raras e quando existem, são sub-utilizadas.

A área de monitoramento hidrológico no Brasil não é nenhuma honrosa exceção embora exista dentro dela o exemplo da CPRM que se associou ao IPH para a construção de um canal para aferir instrumentos de velocidade da água. Outro caso exemplar foi a instalação de um laboratório de aferição de sensores hidrometeorológicos pelo Simepar, de Curitiba.

3.3.2 Manutenção de Equipamentos ou sua Ausência

A manutenção dos postos, compreendendo limpeza, renovação de suprimentos (como papel de gráficos, baterias, etc.) é feita pelos operadores como parte de

suas tarefas rotineiras.

Mas, a manutenção dos equipamentos, que consiste no reparo dos instrumentos, envolvendo serviços técnicos especializados, encontra dificuldades. Talvez a peculiaridade mais marcante na área de monitoramento hidrológico seja a reduzida ocorrência dessa atividade de manutenção.

Essa característica é observável em toda a área de utilização de equipamentos de certa faixa de valor intermediário na área da administração pública. A nosso ver ele tem certas raízes que, na medida em que são difíceis de cortar devem ser levadas em conta quando se trabalha com equipamento.

Mesmo equipamentos de aparência mais robusta, como molinetes hidrométricos, exigem aferições regulares, realizadas em laboratórios especializados. Outro problema é o fato de vários equipamentos de medição exigirem componentes de reposição que ainda não são fabricados no Brasil.

Em função de uma dificuldade relativa de obter peças e serviços e de uma dificuldade menor em adquirir novos equipamentos, parece haver uma tendência à reposição em vez de manutenção. A manutenção implica em sucessivas compras de material e serviços, algumas das quais devem ser licitadas. Para a substituição basta uma licitação.

Politicamente, se o mais visível é fazer obras, introduzir equipamento novo ainda tem certo atrativo. Mas a manutenção é uma atividade completamente invisível e ainda tem de ser paga o que a torna politicamente negativa. Nunca se viu nesse país, nem em qualquer outro alguém alardeando que fez manutenção.

4. Condicionantes Econômico-Financeiras e Institucionais

4.1 POLÍTICA INDUSTRIAL

Entre os condicionantes econômicos e institucionais, o mais importante e que afeta toda a atividade econômica do país é a política industrial.

Desde os anos 30, o Brasil adota uma política industrial baseada na substituição

de importações. Esse tipo de política afeta o processo de industrialização fazendo com que a prioridade mais alta seja dada à produção, em detrimento do desenvolvimento tecnológico autônomo. De qualquer forma, até o início dos anos 80, essa política era seguida com rigor, o governo providenciando leis e fiscalização à altura para a sua manutenção. O resultado foi bastante eficiente do ponto de vista do aumento da contribuição do produto industrial para o PIB.

No início dos anos 80, devido ao aumento da sofisticação dos produtos, a necessidade de aumentar a escala para tornar viáveis as produções locais começa a se fazer sentir. Essa tendência, ao mesmo tempo em que prepara a chamada globalização, solapa as bases da política de substituição de importações. Composta com o endividamento internacional do país e a prioridade dada ao sistema financeiro, essa tendência faz com que a política industrial vá perdendo cada vez mais sua nitidez, até que, com a abertura para as importações no governo Collor, a indefinição passa a ser quase completa.

Entretanto, a cultura de substituição de importações nunca desapareceu completamente. No mundo globalizado, é preciso pensar em produções que possam competir no mercado internacional. Isso significa tecnologia atualizada e sempre progredindo, o que implica que o produtor, ou pertença a uma multinacional, ou seja tecnologicamente autônomo.

Em função disso, parece-nos que qualquer discussão relativa à produção local de equipamentos, deve levar em conta o exposto acima e portanto ser focalizada no desenvolvimento tecnológico autônomo, embora uma empresa em particular possa começar a trabalhar a partir de licenciamento.

Resta que a política industrial do país continua indefinida o que implica em instabilidade no investimento público e hesitação no privado. Esta é a condicionante financeira fundamental. Ela implica em que, para a implantação de novas linhas de produção locais, na ausência de garantia de compra interna, haja competitividade internacional para poder trabalhar com exportação. Sem isso uma indústria local de equipamento para monitoramento hidrológico não terá nem a escala nem a estabilidade de faturamento necessária para se viabilizar.

4.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE MONITORAMENTO

Como a rede básica de monitoramento é, e provavelmente continuará sendo, pública, bem como é pública boa parte das redes dos utilizadores, a instabilidade do investimento governamental significa que não são preenchidas as condições baseadas no mercado interno que estimulariam a implantação de produções destinadas ao monitoramento hidrológico.

O agravamento do desestímulo vem da convergência de dois fatores: a necessidade de escala cada vez maior por um lado e, por outro lado, a legislação de licitação.

No que diz respeito ao mercado interno, os principais problemas são a impossibilidade de previsão de receita para a empresa, para a qual concorrem três fatores:

- a legislação para a licitação de compras públicas (cuja importância é analisada no item 4.3 adiante) que promove a fragmentação do mercado;
- a falta de planejamento de implantação da rede a médio e longo prazo;
- a instabilidade do fluxo de recursos, mesmo depois de incluídos em orçamento, provocada por freqüentes contingenciamentos.

Essa impossibilidade de projeção de receita inviabiliza qualquer investimento a mais longo prazo como o que seria necessário para o desenvolvimento de projetos com tecnologia atualizada e constitui-se pois no principal gargalo de um processo de nacionalização na área de produtos e equipamentos.

4.3 LEGISLAÇÃO PARA A LICITAÇÃO DE COMPRAS PÚBLICAS

A legislação que rege a licitação de compras pelo setor público é a mais poderosa condicionante institucional que afeta a política industrial e define completamente as características das compras públicas. Infelizmente, com as leis atuais, é uma

condicionante geralmente negativa.

Já no seu artigo 3º, § 1º, inciso II, se lê: “É vedado aos agentes públicos: ... estabelecer tratamento diferenciado de natureza comercial, legal, trabalhista, previdenciária ou qualquer outra entre empresas brasileiras e estrangeiras ...”⁶

Portanto, fica claro que o poder de compra do estado não será usado para o estímulo à substituição de importações. O único apoio à indústria ou às produções nacionais restringe-se à preferência que deve ser dada a estas em caso de igualdade de outras condições, isto é, o apoio é limitado ao desempate.

A leitura da lei 8666 mostra que ela foi concebida bastante voltada para a licitação de obras e muitos julgam que, no que toca a isso, é muito boa e adequada. Mas, no que se refere à compra de equipamento ela tem alguns efeitos bastante problemáticos.

No artigo 15º, § 7º, inciso I, é proibida a indicação de marca: “ ... Nas compras deverão ser observadas, ainda: ... a especificação completa do bem a ser adquirido sem indicação de marca; ... ”⁷

Essa disposição produz efeitos e merece uma análise que transcendem a área de equipamentos de monitoramento hidrológico, pois afetam todo e qualquer tipo de equipamento.

Quando se compra um bem de grande valor, como um avião de grande porte ou um navio, tem-se o acesso a todas as características de projeto, o que permite uma especificação completa. Quando se compra bens de baixo valor, e de uso corrente, como papéis e suprimentos, as especificações seguem normas ou são simples e banais.

Entretanto, quando se compram equipamentos de valor unitário médio (digamos entre US\$ 1000,00 e US\$100.000,00) que são produzidos em quantidade e com tecnologia proprietária, sofisticada ou não, não se tem acesso às características de projeto o que torna impossível a especificação completa. Alias, mesmo uma especificação bastante superficial pode requerer o concurso de gente com conhecimento técnico aprofundado. Geralmente, o equipamento é

⁶ Lei 8666, de 21 de junho de 1993 disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm (acesso 21/09/03)

⁷ Idem.

insuficientemente especificado. Nessas condições, mesmo uma licitação, feita com base em mérito técnico e preços, acaba funcionando como se fosse só concorrência de preços. Como, em geral, são as características não funcionais, de difícil especificação, que definem a qualidade e também o custo dos equipamentos, acaba-se freqüentemente, por comprar relativamente mal.

A proibição de indicação de marca tem um outro efeito importante. Quando já se tem equipamento inteiramente satisfatório e necessita-se de mais unidades, o lógico seria comprar mais do mesmo, padronizando o grupo e garantindo a adequação, com todas as vantagens logísticas e operacionais que isso traz. Isso é, obviamente, improvável. A lei, em seu artigo 23º, § 2º, chega até a obrigar a licitações distintas no caso de compras parceladas. No artigo 24º que trata dos casos de dispensa de licitação, o inciso XIX restringe às Forças Armadas a dispensa por necessidade de “... manter a padronização requerida pela estrutura de apoio logístico ...”. No inciso XVII do mesmo artigo, limita a dispensa de licitação para a aquisição de peças de reposição do fornecedor original, ao período de “garantia técnica”, apenas “... quando tal condição de exclusividade for indispensável para a vigência da garantia; ...”.⁸

Ora, a padronização de equipamentos é extremamente interessante por diversas razões que vão desde a economia de operação até o aumento do poder de barganha com os fornecedores.

É claro que existem limites estratégicos para isso, como a criação de excessiva dependência de algum fornecedor. Mas isso faz com que as escolhas de fornecedores devam levar em conta, também, considerações estratégicas de confiabilidade de fornecedores e não apenas condições *ad hoc* de concorrência como a legislação de licitação supõe.

Em função do exposto, parece-nos óbvio que a postura estratégica correta recomenda uma revisão da legislação para compras públicas que contemple adequadamente o problema de compra de equipamento e de padronização.

Dada a provável dificuldade e o tempo relativamente longo para se obter uma

⁸ Lei 8666, de 21 de junho de 1993 disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm (acesso 21/09/03)

reforma desse tipo, seria necessária, no mínimo, como paliativo provisório, a mudança no inciso XXI do Artigo 24 da Lei 8666, que passaria a vigorar com a seguinte redação sugerida:

Art. 24 – É dispensável de licitação:

XXI - para aquisição de bens destinados exclusivamente a pesquisa científica e tecnológica, ou ao monitoramento ambiental (hidrologia, meteorologia, climatologia e poluição ambiental), com recursos concedidos pela Capes, Finep, CNPq ou outras instituições de fomento a pesquisa, credenciadas pelo CNPq para esse fim específico, ou com recursos orçamentários das Agências Reguladoras, Universidades e Institutos de Pesquisa.

4.4 EFEITOS COMBINADOS

O efeito combinado das condicionantes examinadas dificulta bastante a existência de uma indústria nacional de equipamentos de monitoramento hidrológico, pelo menos sob a forma de empresa com controle nacional autônomo.

A escala de produção necessária para assegurar a capacidade de pesquisa e desenvolvimento para, por sua vez, assegurar competitividade em termos de desempenho, dificilmente poderá ser alcançada dentro do mercado nacional. Além do tamanho insuficiente deste mercado, os processos licitatórios continuamente irão questionar o seu controle.

A competitividade no mercado internacional, importante para assegurar a escala de produção necessária, implica em uma excelência tecnológica muito difícil de obter sem um certo porte e uma certa experiência prévios.

A alternativa de estimular a vinda de empresas estrangeiras do setor, além de menos satisfatória, também apresenta dificuldades. As empresas do setor, não costumam ser tão grandes e, por isso, geralmente têm, fora de seus países sede, apenas operações comerciais.

Assim sendo, é preciso usar a criatividade na tentativa de lançar um esforço nacional de industrialização desse tipo de produtos.

Parece-nos que uma possibilidade seria o lançamento de alguns projetos fundamentais⁹, com fundos públicos e cooperação entre governo e indústria, de modo a criar condições iniciais de competitividade baseada em tecnologia, para que as empresas envolvidas tivessem segurança de uma certa capacidade de competição no mercado internacional. Também assim, seria possível licitar equipamentos internacionalmente, com boas chances de vitória para empresas nacionais.

Essas empresas, apenas uma ou duas, teriam de ser mais ou menos “monopolistas” a nível nacional. É óbvio que, se o mercado nacional oferece problemas de insuficiência de escala para uma empresa, não é possível viabilizar uma concorrência interna. Assim, será necessário dividir o mercado somente por especialidade, caso se tenha mais de uma empresa no setor.

Não só para o setor, mas para a indústria nacional e, com muito mais forte razão, para o bem do setor público do país, é de grande importância a modificação da legislação de licitação para adequá-la melhor às aquisições de equipamento.

5. CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS E SUAS TENDÊNCIAS DE DESENVOLVIMENTO

5.1 INSTRUMENTOS PARA A MEDIDA DE NÍVEL

Os instrumentos para a medida de nível costumavam ser classificados entre linímetros e linígrafos podendo-se ser incluídos nesta categoria os marégrafos.

Os linímetros seriam instrumentos sem registro das leituras, enquanto os linígrafos e marégrafos têm o seu registro contínuo ou por amostragem. Atualmente, diversos instrumentos podem ser utilizados apenas para indicar o nível sem que possuam o órgão de registro das leituras. Porém habitualmente se

⁹ Adiante, tentaremos definir alguns projetos possíveis, como exemplos.

consideram apenas as réguas linimétricas no grupo dos instrumentos sem registro. Os demais medidores com registro contínuo ou por amostragem, como os instrumentos de bóia, de pressão, de borbulha, ou outros são habitualmente chamados de linígrafos.

(Nota: o termo grafo, de linígrafo, pluviógrafo etc, vem da existência de registrador gráfico contínuo, embora hoje também atinja os sistemas digitais)

5.1.1 Réguas Linimétricas

As réguas linimétricas são instrumentos extremamente simples produzidos em lances de um ou dois metros e colocadas nas margens de rios ou lagos de forma a que exista uma continuidade entre as leituras de um lance e outro. As réguas são geralmente produzidas em madeira ou metal e com graduações a cada centímetro. Seja qual for o material, basta que esteja adequadamente protegido contra a ação da água, já que as réguas ficarão submersas parcial ou totalmente por longos períodos. Recomenda-se que os lances sejam afixados de maneira a não se inclinarem devido à velocidade da água, o que é usualmente feito através de tirantes (figura 5.1).

A tecnologia de produção das réguas não é, pois, muito sofisticada. Existem pequenas manufaturas de réguas no país, em seu maior número de réguas de alumínio esmaltadas.

5.1.2 Linígrafos de Bóia e Contrapeso

Entre os linígrafos, o tipo mais tradicional é o linígrafo de bóia e contrapeso. Na sua forma mais antiga esse instrumento é baseado em uma bóia presa a um cabo, geralmente de aço inoxidável, que passa sobre uma polia e tem na sua outra extremidade um contrapeso. O conjunto é colocado em um poço que se comunica com o corpo da água ficando a bóia flutuando e acompanhando o nível da água neste poço. Ao mover-se, a bóia faz girar a polia no eixo da qual é

acoplado um mecanismo que movimenta uma pena. Esta risca um gráfico, denominado linigrama sobre um papel especial movido por um mecanismo de relojoaria.



Figura 5.1: Seção de réguas linimétricas

Existem dois tipos de mecanismos de relojoaria: o tipo mais simples movimenta um cilindro ao redor do qual é enrolado o papel de gráfico. Este tipo é muito usado não só em linígrafos como em outros instrumentos registradores. Normalmente, o mecanismo de relojoaria está no interior do cilindro e fica protegido por este. Esses mecanismos produzem uma volta completa do cilindro em uma semana. Por esse motivo, os linígrafos que os utilizam são, geralmente, chamados de linígrafos semanais.



Figura 5.2: Linógrafo de bóia e contrapeso tipo Stevens

Outro tipo de mecanismo, mais sofisticado (figura 5.2), que permite a obtenção de mais de uma velocidade de movimentação do gráfico, utiliza os rolos de papel. O rolo de papel em branco fica numa extremidade do mecanismo e na outra o rolo que traciona o papel por meio de rodas dentadas engrenadas na sua remalina. Entre um rolo e outro há uma pequena superfície plana que dá apoio ao papel para que receba o traço da pena. Este tipo de mecanismo pode ter autonomia de um mês ou mais, motivo pelo qual os linógrafos que o utilizam são chamados de linógrafos mensais.

Pela sua robustez e confiabilidade os linógrafos de bóia continuam sendo produzidos até hoje embora o seu custo seja relativamente muito elevado. Isso se deve à escala de produção relativamente pequena e à necessidade de todas as peças do mecanismo de serem de metal resistente à corrosão já que o mesmo mecanismo funcionará sempre em locais de grande umidade.

A tendência geral da instrumentação de introduzir métodos eletro-eletrônicos na cadeia de medição se fez sentir nos linógrafos de bóias, inicialmente, pela instalação de transdutores de ângulo acoplados aos eixos das polias. Dessa forma, o sinal elétrico produzido pelo transdutor, registrado ou não, duplicava a medição gravada pela pena no gráfico. Mais recentemente passaram a ser produzidos linógrafos baseados somente no transdutor acionado, diretamente ou

através de engrenagens, pela polia.

Este tipo de instrumento foi inicialmente utilizado na medição de níveis de tanques na indústria onde, nem sempre, havia registro. Na medição de níveis de corpos de água a aplicação se faz acompanhar de um registrador de dados. Os dados registrados em módulos de memória podem, então, ser transmitidos ou copiados.

A peça tecnologicamente interessante desses instrumentos é o transdutor de ângulo.

Uma forma simples de transdutor é o potenciômetro multivoltas. Potenciômetros especiais para esse tipo de serviço são difíceis de obter e, muito caros devido à necessidade de serem resistentes ao desgaste. Entretanto, podem ser utilizados, por exemplo, potenciômetros comuns de dez voltas que sofrerão desgaste relativamente rápido, porém podem ser repostos a um custo muito baixo. Os potenciômetros produzem, como sinal, uma tensão elétrica análoga ao nível que se quer medir.

Uma forma mais adequada de transdutor é o codificador digital de ângulo. Este tipo de transdutor, bastante sofisticado, é de produção relativamente difícil. Em geral é baseado em discos transparentes com partes sombreadas que acionam detetores óticos. A precisão de execução das sombras nos discos é o problema tecnológico principal destes instrumentos. O outro problema é a produção dos detetores óticos associados aos discos.

Existem transdutores de ângulo no mercado nacional que são baseados em discos com franjas. Ao girar seu eixo, um detector ótico conta o número de franjas que passam sobre ele. Na sua versão mais simples, com um conjunto de franjas somente, este transdutor não distingue o sentido da rotação. Porém trabalhando-se com dois conjuntos de franjas e dois detetores é possível estabelecer a distinção de sentido.

Este tipo de transdutor, relativamente simples, não é o mais adequado para o uso em linígrafos, pois ele depende de um registro que acumula a contagem dos impulsos gerados pelo detetor. Ser, por qualquer razão, como o ruído mecânico, ruído elétrico ou interrupção da alimentação forem perdidos ou acrescentados alguns impulsos a leitura acumulada ficará errada.

A grande vantagem dos linígrafos de bóia é sua leitura de nível ser direta não sendo, portanto afetada pela presença de sedimentos na água, como acontece com os linígrafos baseados em leituras de pressão.

A grande desvantagem destes instrumentos é o elevado custo de instalação, pois é necessário acomodá-lo sobre um poço tranqüilizador em comunicação com o curso da água e cujo fundo esteja abaixo da cota mínima que a água pode atingir. Por outro lado, o instrumento deve estar positivamente acima da máxima cota que o curso da água pode atingir em cheia. A única situação em que isto é fácil de obter é quando existe uma ponte sobre a seção de medição. Neste caso, é possível fixar um tubo à jusante de um pilar da ponte, mergulhado até o fundo do corpo de água e que servirá de poço tranqüilizador. Nos demais casos, ou será necessário construir um poço na margem e comunicá-lo com o fundo do corpo da água ou então construir uma torre dentro do corpo da água capaz de suportar o tubo e tendo altura suficiente para manter o instrumento fora da água em qualquer caso. Outro problema é a manutenção dos poços tranqüilizadores, devidos principalmente ao acúmulo de sedimentos em seu interior e à corrosão ou entupimento dos tubos que fazem a comunicação entre o poço e o rio.

5.1.3 Linígrafos de pressão por borbulhamento

Os linígrafos de pressão por borbulhamento medem o nível de forma indireta através da medida da pressão necessária para injetar um gás em um ponto abaixo da cota mínima que se deseja medir no corpo de água. A pressão indicada é proporcional à coluna de água acima da cota de injeção e o nível será a cota de injeção mais à altura dessa coluna de água. A medição é, portanto indireta.

Estes instrumentos possuem um circuito de gás que começa com uma garrafa de gás seco em alta pressão. O gás passa por um redutor de pressão, que produz uma pressão constante, ajustável de um a três bar, e então passa por uma válvula dosadora ligada ao fundo de um pequeno recipiente contendo alguns centímetros cúbicos de água. O gás borbulha através deste volume de água permitindo que se veja qual a quantidade de bolhas que está produzindo. Do topo

desse recipiente, o gás sai em duas conexões, uma para a mangueira que irá até a cota desejada no fundo do corpo de água e a outra para um medidor de pressão. Para que saiam bolhas de ar na extremidade da mangueira, no fundo do corpo de água, é necessário que a pressão no topo do recipiente do dosador seja equivalente à coluna de água acima da cota de injeção. Como a quantidade de gás injetada é muito pequena, a velocidade na mangueira é muito baixa e, portanto a perda de carga é desprezável como também o é, o efeito da altura de coluna de gás na mesma mangueira.

Em versões antigas do instrumento, o medidor dessa pressão era um manômetro de mercúrio ou um manômetro metálico ao qual estava acoplada a pena registradora. O registro era feito sobre papel movimentado por mecanismo de relojoaria dos mesmos tipos descritos acima.

Nos instrumentos mais modernos, o manômetro é substituído por um sensor de pressão diferencial com um lado aberto para a atmosfera. O registro de dados é feito por meios eletrônicos. Este tipo de linígrafo apresenta diversas vantagens em relação aos linígrafos de bóias. A instalação é muito mais barata porque não há necessidade de se construir um poço tranquilizador. Simplesmente, o instrumento é conectado a uma mangueira de pequeno diâmetro que vai até a cota mínima que se deseja medir e lá deverá existir apenas uma terminação com uma proteção contra assoreamento. Normalmente esta mangueira é embutida em uma tubulação metálica flexível para protegê-la contra amassamento. Essa última tubulação é simplesmente enterrada a pequena profundidade na parte do percurso em que poderá ficar à mostra. É, portanto, uma instalação bem protegida contra vandalismo. Uma vantagem que só esse instrumento apresenta é a sua imunidade à agressividade do meio onde é feita a medição: nenhuma parte sensível está em contato com a água. Isso faz dele o instrumento mais adequado para a medida de nível de águas salobras, salinas ou poluídas.

Como desvantagem, além da medida indireta, fica a necessidade de manter o posto abastecido de gás. É fundamental que o gás utilizado seja completamente seco, pois se contiver umidade, haverá condensação e formação de gotículas na válvula dosadora o que a bloqueará temporariamente interrompendo o fluxo de gás. Esta desvantagem é parcialmente contornada pelo baixo consumo de gás

que faz com que uma garrafa pequena dure vários meses.

Uma inovação tecnológica interessante é o uso de uma bomba de ar que permite a dispensa da garrafa de gás. A presença dessa bomba ainda é uma desvantagem porque seu consumo de energia terá que ser levado em conta no dimensionamento da fonte que alimentará o posto de medição. Como, geralmente, os sistemas de alimentação são compostos por baterias eventualmente carregadas por painéis solares, um tal acréscimo de consumo de energia pode ter um certo impacto no custo inicial de instalação do posto. Um linígrafo com esta tecnologia é comercializado pela OTT Hydrometry¹⁰, sob o nome de Nimbus. Uma versão mais simples do Nimbus, o Ophimedes, também da OTT, vem sendo adotada por entidades de monitoramento devido às suas dimensões reduzidas e por utilizar pilhas alcalinas comuns, com autonomia de até seis meses.

5.1.4 Linígrafos de Sensor de Pressão Submerso

A utilização de sensores para medir o nível de reservatórios pela pressão tomada no fundo já foi o método mais freqüente utilizado na indústria. Em geral, o sensor é colocado em uma tomada, externamente ao reservatório. A mesma idéia levada para a medição do nível de corpos de água resulta na utilização de um sensor diferencial submerso, com o outro lado aberto à pressão atmosférica.

Isso é feito através de um fino tubo embutido no mesmo cabo que leva a alimentação e traz o sinal do sensor. Esse cabo também é, geralmente, dotado de uma alma de aço para garantir resistência à tração. Dessa solução resulta que o custo do cabo torna-se bastante elevado. A maioria dos fabricantes fornece o sensor com o cabo integrado, para garantir a vedação junto ao sensor. Isso resulta no inconveniente de se ter de especificar o tamanho do cabo ao especificar o sensor. O comprimento do cabo é determinado pela distância entre o sensor e o primeiro ponto da instalação que fica, garantidamente fora da água e onde ficará a tomada da pressão atmosférica.

¹⁰ Catálogo Nimbus_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de> (acesso 19/09/03)

Há fornecedores que vendem sensores de pressão absoluta para uso em medida de nível. É preciso levar em conta o erro introduzido pela desconsideração da pressão atmosférica. Esse erro pode ser expressivo, principalmente se a lâmina de água for pequena. Para eliminar esse erro é necessário ter um outro sensor medindo a pressão atmosférica no mesmo local. Essa combinação pode facilitar um pouco a instalação e baratear o cabo, mas só é economicamente interessante se a medida da pressão atmosférica for necessária por outras razões que justifiquem o custo do sensor adicional.

Uma instalação típica, bem feita, envolve a colocação de um tubo enterrado a pouca profundidade, na margem do corpo de água, indo até a cota mais funda que se deseje medir. O diâmetro do tubo deve ser suficiente para que se possa enfiar com facilidade o sensor e sua extremidade deve ser fechada e dotada de furos que permitam a penetração da água mas protejam o sensor de corpos estranhos, da flora e da fauna. Normalmente o último trecho do tubo faz um ângulo com o corpo principal para fazer com que a extremidade aflore próxima da horizontal e acima do fundo do corpo de água, para evitar assoreamento. Mesmo assim, periodicamente a tomada deve ser limpa, o que pode ser feito por injeção de água sob pressão no tubo, a partir da margem. Essa facilidade de limpeza é um dos bons motivos para a instalação do tubo. Alternativamente, poder-se-ia simplesmente enterrar o cabo e colocar uma gaiola de proteção para o sensor no fundo, mas perde-se a facilidade de limpeza.

Este tipo de instrumento apresenta algumas desvantagens: (a) a parte mais cara do instrumento, o sensor, fica completamente exposto à agressão física e química da água. Devido a isso a utilização desse método em águas poluídas demanda o uso de sensores especialmente resistentes à corrosão. Esses sensores são executados em titânio o que os torna consideravelmente mais caros do que aqueles feitos de aço inoxidável; (b) há uma séria exposição ao vandalismo no caso de instrumentos instalados em cursos de água que secam completamente, como é o caso de muitos rios e açudes da região semi-árida no Nordeste brasileiro; (c) em algumas situações, como em rios de baixa velocidade e alto transporte de sedimentos, pode haver deposição de sedimentos no sensor, causando leituras errôneas; (d) a umidade em excesso também prejudica a

operação de sensores diferenciais, ao entupir o tubo capilar.

5.1.5 Métodos Acústicos

No sensoriamento de nível dos reservatórios industriais os sensores de pressão vem sendo preteridos em favor de sensores de nível usando ultra-som. Duas formas de instalação são possíveis.

Pode-se colocar o sensor acima do líquido cujo nível deve ser medido, em cota conhecida. Obtém-se o nível por meio da medida da distância que deve ser subtraída da cota do sensor.

Também é possível a instalação invertida, ficando sensor no fundo, de onde mede a espessura da lâmina a partir da reflexão na interface líquido-ar. Esse tipo de instalação tem sido usado na área oceânica para a medida de lâminas de água de até centenas de metros. Nesses casos o erro causado pela ondulação na superfície é inexpressivo.

Até o momento, a transposição dessa tecnologia para a área de monitoramento de corpos de água não têm sido expressiva embora já seja antiga a utilização de ondas sonoras na batimetria.

A instalação do sensor no ar acima do nível de líquido tem a vantagem inegável de proporcionar uma medição sem contato, o que chama a atenção para o potencial deste método. Por essa razão acreditamos que o futuro das instalações de medição de nível passa pela adoção e disseminação de métodos acústicos.

5.1.6 Medida de Nível sem Contato por Radar

Uma alternativa sofisticada, mas que alia medidas precisas com facilidade de instalação, quando pré-existe uma estrutura de suporte como uma ponte, é o uso de radar para medir a distância entre o instrumento em cota conhecida e o nível da água. O efeito das ondulações da superfície pode ser filtrado pelo software associado à leitura, levando a medidas de excelente exatidão.

Um instrumento que usa essa tecnologia é o Kalesto¹¹ da Ott Hydrometry para faixas de variação de nível de 1,5m a 30m.

5.2 INSTRUMENTOS PARA A MEDIDA DE VAZÃO

As medidas diretas de vazão, por meio de vertedores ou calhas Parshall são, do ponto de vista de equipamento, aplicações adicionais de medição de nível. Por esta razão, não serão examinadas aqui. (Diz-se que a medição direta, mesmo que neste trabalho seja por uma equação de calibração, como Parshall. A medição indireta é quando a vazão vem por meio da medição da velocidade).

A medida da vazão de um corpo de água é usualmente indireta e o método mais comum é medir as velocidades em uma seção transversal e multiplicá-las pela área para a qual assume-se que a velocidade seja representativa. Assim sendo, do ponto de vista de instrumentação, a medição de vazão implica na medição da velocidade.

5.2.1 Molinetes Hidrométricos e Outros Velocímetros

Os molinetes hidrométricos são os instrumentos tradicionais de medida de velocidade para cálculo de vazão. Existem dois tipos básicos: o de eixo horizontal dotado de uma ou mais hélices, e o de eixo vertical, com o rotor de conchas, também chamado de molinete do tipo Price ou Gurley. O primeiro tipo é mais comum na Europa e o segundo nos Estados Unidos. No Brasil, são bastante usados os dois tipos.

Outros instrumentos para a medida pontual de velocidade baseiam-se em fenômenos eletromagnéticos ou acústicos.

Todos esses instrumentos devem ser colocados em diferentes posições no interior da lâmina de água. Quando a medição é feita a vau, os instrumentos são fixados em hastes, que podem ser levadas às diversas posições pelo operador e

¹¹ Catálogo Kalesto_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de> (acesso 19/09/03)

em cada posição a altura do instrumento é ajustada na haste. Em corpos de água de maior porte a medição pode ser feita a partir de um barco ligado a um cabo transversal à margem e o instrumento é lançado preso a uma haste ou a um cabo. Neste último caso, na extremidade do cabo, pouco abaixo do instrumento, é colocado um corpo hidrodinâmico que funciona como lastro. O cabo normalmente é lançado a partir de um guincho hidrométrico dotado de medidor para que se possa posicionar o instrumento na profundidade desejada. Em corpos de água de grande porte a medição é feita a partir de barco livre, sendo o instrumento lançado por cabo como acima, geralmente acionado por motor elétrico.

5.2.2 Molinetes de Hélice

Os molinetes de hélice convertem o movimento de translação por água em relação ao instrumento em um movimento de rotação de uma hélice.

Nos molinetes mais antigos (e que alguns fabricantes ainda produzem) o eixo era acoplado a um contador mecânico dotado de um freio. O molinete era lançado freado até atingir a profundidade desejada, o freio era liberado durante um tempo cronometrado e depois re-aplicado. O molinete era recolhido e o número de voltas anotado o qual, associado ao tempo cronometrado, permitia o cálculo da velocidade.

Nos molinetes atuais a hélice aciona uma chave que produz um impulso elétrico a cada volta ou a cada N voltas. Esses impulsos são usados ou para acionar uma cigarra ou para acionar um contador. Os impulsos são contados durante um tempo cronometrado de um a três minutos e então a velocidade pode ser calculada. Uma variante melhorada do processo de medida de velocidade é a contagem do tempo entre as bordas de subida dos impulsos para assim chegar à velocidade de rotação da hélice. Esse método é bem melhor, pois faz com que o valor obtido seja fruto de um bom número de medidas mesmo que o tempo de medição seja curto.

Os molinetes de hélice são fabricados em diversos tamanhos, os mais comuns tendo uma hélice de diâmetro aproximado de 10 cm. Os chamados mini

molinetes, adequados para o uso em águas mais rasas, possuem hélices de cerca de 4 cm de diâmetro. Finalmente, micromolinetes são produzidos com hélices com diâmetros menores do que 1 cm. Esses últimos molinetes têm suas voltas contadas através da variação de capacitância que a passagem das pás em frente a um eletrodo provoca. Os passos das hélices encontradas em todos estes tamanhos de molinetes variam de 3 mm a 50 cm.

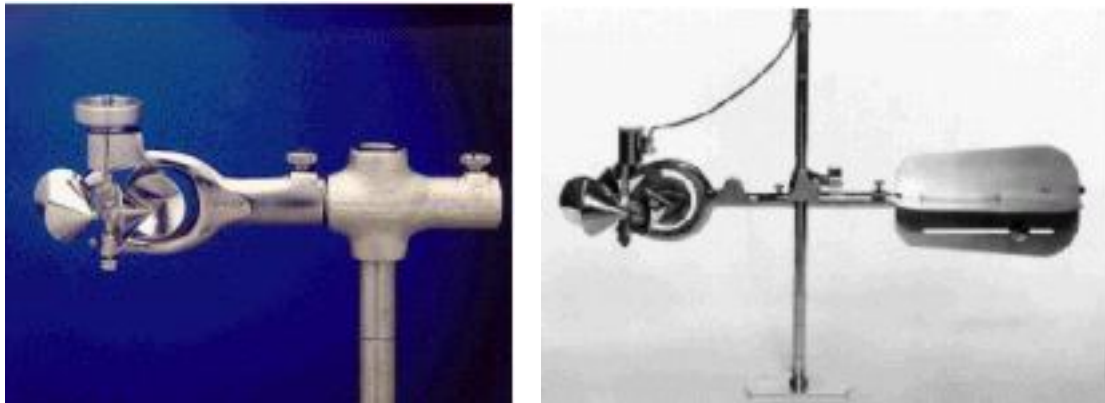
A velocidade da água é determinada por uma equação empírica, obtida por calibração em laboratório específico, que transforma a rotação por período de tempo em velocidade. Alguns modelos de molinetes e micromolinetes utilizam várias hélices, projetadas para faixas de velocidades específicas.

5.2.3 Molinetes Tipo Price

Nos molinetes tipo Price ou Gurley, (figura 5.3), um rotor dotado de conchas e que gira em torno de um eixo vertical, com uma chave que permite a contagem das voltas como nos molinetes de hélice. Este tipo de molinete não é afetado por um erro de apontamento desde que o eixo seja mantido vertical. Também estes molinetes são produzidos em tamanhos diferentes, sendo os maiores rotores de cerca de 10 cm de diâmetro.

Os rotores, em geral, giram sobre pivôs, o que torna esses instrumentos mais simples e baratos, porém mais frágeis do que os molinetes de hélice.

No que diz respeito à obtenção da velocidade a partir dos impulsos, valem as mesmas considerações feitas para os molinetes de hélice.



Fonte: Gurley, EUA

Figura 5.3: Micromolinete Gurley Pygmy (D) e tipo Price (E)

5.2.4 Medidores Eletromagnéticos

Os medidores de velocidade eletromagnéticos são baseados na Lei de Faraday. Um campo magnético é criado e na água que nele se movimenta surgem tensões elétricas proporcionais à velocidade. A medida destas tensões é feita por circuitos eletrônicos e pode ser convertida em velocidade. Estes instrumentos também são chamados de molinetes eletromagnéticos.

Esses medidores não possuem peças móveis e tem diversos formatos de perfil delgado, o que os torna especialmente adequados para medidas em pequenas lâminas de água. Instrumentos desse tipo são produzidos por diversos fabricantes como Valeport e Ott. Em geral seu custo ainda é muito elevado se comparado com os instrumentos mecânicos.

5.2.5 Velocímetros Acústicos de Diferença de Velocidade

Um tipo simples de velocímetro de velocidade média é obtido colocando-se transdutores emissores/receptores de ultra-som nas margens de um rio, algo abaixo do nível da água. O som atravessa o rio em trajetória oblíqua ao fluxo. As

velocidades nos percursos de ida e volta do som são medidas e sua diferença é proporcional à velocidade média da corrente naquela cota. Juntando-se essa medida com a de um linígrafo e conhecendo-se a seção de medição pode-se calcular a vazão.

Existem variantes do método, por exemplo, com dois transdutores em uma margem e um refletor em outra.

Os medidores “Sonicflow” da Ott Hydrometry usam esse esquema.

Esse método de medida da vazão pela medida permanente e em tempo real de uma velocidade média é muito interessante para corpos de água em que há inversão de fluxo.

5.2.6 Velocímetros Acústicos de Efeito Doppler

O uso do efeito Doppler tem permitido a produção de instrumentos sem peças móveis capazes de medir a velocidade local em um pequeno volume e de forma vetorial no plano ou especialmente¹².

O sensor é composto por um emissor de ultra-som e 2 ou 3 receptores montados em ângulos, de maneira que as linhas de ação destes elementos convergem em um pequeno volume de medida, situado há alguns centímetros do corpo do sensor. As ondas emitidas têm a sua frequência alterada em função da componente de velocidade no sentido da propagação. Circuitos eletrônicos sofisticados discriminam os sinais e calculam as componentes de velocidade em relação ao sistema de coordenadas ligado à posição do sensor.

Estes instrumentos são mais usados em laboratório, porém podem ser usados para medição de velocidade em copos d'água de forma semelhante àquela feita com medidores de eletromagnéticos ou molinetes. São comumente chamados de ADVs.

¹² MORLOCK, S. E. “Hydroacoustic Current Meters For The Measurement Of Discharge In Shallow Rivers And Streams” disponível em http://hydroacoustics.usgs.gov/reports/SEM_paper.pdf (acesso 11/09/03)

5.2.7 Medida Automatizada da Vazão

A medida de vazão utilizando velocímetros implica em percorrer o corpo de água lançando o instrumento nas diversas posições, anotando as velocidades, e depois realizar o cálculo da vazão através do método área-velocidade aplicado à seção de medição. É de todo interessante que essa operação, bastante demorada, possa ser automatizada e realizada em menor tempo, principalmente em se tratando de grandes rios e estuários. Isso é possível por meio da utilização de perfiladores de corrente.

5.2.8 Perfiladores de Efeito Doppler

São instrumentos lançados no mercado em data relativamente recente e se utilizam dois a quatro feixes de ultra-som divergentes lançados para baixo no corpo de água por emissores e receptores de cristal. Inicialmente desenvolvido para a medição de correntes nos oceanos, o aparelho era lançado ao fundo do mar ancorado em blocos de concreto, emitindo o feixe sônico para cima e registrando os dados em *data loggers*. Em poucos anos seu uso foi ampliado para análise da estabilidade de plataformas petrolíferas e navios oceanográficos. Apenas há pouco mais de 10 anos firmou-se seu uso para a medição de vazão em rios.

O ângulo de divergência dos feixes de ultra-som em relação à vertical é, usualmente, de cerca de 20°. Em cada feixe os sons emitidos, sob a forma de pequenos trens de onda (ou "pings") vão sendo sucessivamente refletidos pelas partículas em movimento encontradas nos diversos níveis da lâmina de água. Os sons refletidos têm sua frequência alterada pela componente de velocidade na direção do feixe. A partir da discriminação das frequências é possível calcular os vetores de velocidade na direção dos diversos feixes e assim definir qual a velocidade horizontal da massa líquida, em determinada zona do perfil correspondente a cada posição em que o instrumento foi colocado na superfície do corpo de água. O eco final do som refletido contra o fundo permite o cálculo da

profundidade no local, bem como da velocidade de deslocamento do barco portador do instrumento.

O cálculo das velocidades e profundidade de cada vertical é realizado em questão de segundos, assim a medição é feita com o barco em movimento, traçando um curso o mais transversal possível na seção medida. A vazão é determinada automaticamente pelo aparelho em um computador portátil, possibilitando também ao operador avaliar, em tempo real, a distribuição das velocidades na seção e o traçado do fundo do canal.

Como a velocidade é calculada a partir da intensidade do eco de resposta das partículas em suspensão, vários estudos têm sido feitos para se determinar a relação do eco de resposta com a quantidade de sedimentos presente, tendo assim, como subproduto da medição, o cálculo da carga de sedimentos em suspensão.

O equipamento mais utilizado no Brasil é o Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), fabricado pela empresa americana RD Instruments, embora também se encontre um modelo similar, denominado Acoustic Doppler Profiler (ADCP), da também americana Sontek. (Figura 5.4)

Esse tipo de instrumento, que se utiliza circuitos eletrônicos e de software bastante sofisticados, tem um custo bastante elevado, porém a produtividade obtida e o aumento da segurança na medição, principalmente nos grandes corpos de água e em época de enchentes, justifica plenamente esse custo.

Recentemente a RD Instruments lançou um equipamento ADCP para medição em canais artificiais e rios, o qual é fixo a uma das margens, dirigindo seus fachos para a outra margem e determinando a vazão em intervalos definidos.



Fonte: CPRM

Figura 5.4: ADCP's Broadband de 300kHz (D), para uso em grandes profundidades e Rio Grande de 1200kHz (E), para profundidades menores.

5.2.9 Medição por Traçadores

Para pequenos cursos d'água podem ser utilizados traçadores para a determinação da vazão. O traçador é um elemento químico ou radiativo lançado a montante do ponto de medição, onde são realizadas análises sucessivas de amostras da água, a fim de se determinar a variação da concentração por onde é estimada a vazão. Um sal bastante comum é o bicromato de sódio, ou mesmo cloreto de sódio¹³. Os elementos radioativos mais usados são Na^{24} , Br^{82} e P^{32} .

O CDTN utiliza estações robotizadas de coleta de amostra da água em tempos regulares, instaladas na seção de medição, sendo o lançamento do traçador (Rodamina) feito por uma pessoa treinada.

5.2.10 Medição sem Contato

A forma ideal de medição seria aquela em que o instrumento não necessitasse do contato direto com a água. Foram feitas tentativas, pelo Serviço Geológico dos

¹³ SANTOS, Irani et alii. "Hidrometria Aplicada" LACTEC: Curitiba, 2001.

EUA¹⁴, utilizando radares de alta frequência para medir as velocidades de superfície e de baixa frequência para medir as velocidades no interior da massa líquida. Experimentos com os radares fixos não obtiveram sucesso devido a problemas de projeto da instalação. Porém, em setembro de 2000 e em maio de 2001, uma série de vôos de helicóptero, dotada de radares necessários, conseguiu medir com sucesso a vazão em seções do Rio Cowlitz em Washington. Os resultados obtidos foram comparados com medições feitas por ADCP e considerados satisfatórios.

Esse desenvolvimento aponta para a uma direção de pesquisas muito promissora.

5.2.11 Medição por Sensoriamento Remoto

A possibilidade de estimar vazões de rios por meio de variáveis mensuráveis por sensoriamento remoto foi mostrada em um artigo submetido por Bjerklie e outros ao Journal of Hydrology, cujo resumo aparece no site do Serviço Geológico dos EUA¹⁵. Os autores afirmam que, como resultado de mais de 1000 medições de vazão variando de 200.000m³/s a menos de 1m³/s, usadas para obter equações geralmente utilizáveis com variáveis potencialmente observáveis foi possível estimar vazões com incerteza média da ordem de 20%. Segundo os autores, as estimativas são melhores para vazões acima de 10m³/s.

Esta pesquisa abre uma outra via de desenvolvimento que pode vir a produzir resultados interessantes.

¹⁴ COSTA J. E. et alii. "Looking to the future: non-contact methods for measuring streamflow" disponível em <http://hydroacoustics.usgs.gov/reports/CostaASCE-Estes%20Park%20paper.pdf> (acesso 11/09/03)

¹⁵ BJERKLIE, D. M. et alii., 2002, "An approach to estimating river discharge from space" disponível em <http://hydroacoustics.usgs.gov/reports/bjerklepaper.pdf> (acesso 11/09/03)

5.3 INSTRUMENTOS PARA A MEDIDA DA DESCARGA SÓLIDA

A descarga sólida é formada pela descarga em suspensão e a de fundo. A medição da descarga sólida em suspensão é normalmente realizada manualmente por equipe no local de interesse. Os equipamentos mais comuns são derivados de modelos americanos, sendo classificados como amostradores por integração e pontuais. O amostrador por integração vertical é o mais utilizado, realizando a coleta da amostra ao ser descido em uma vertical da seção de medição, por um tempo e profundidade determinados. Uma série de amostras é necessária para o cálculo da carga de sedimentos em suspensão. Uma desvantagem é o tamanho da garrafa que coleta a amostra a ser reduzida, o que pode acarretar uma amostra não significativa de toda a vertical. Para solucionar esse tipo de problema, tem-se usado amostradores de saca, capazes de coletar grandes volumes, mesmo em grandes profundidades. A amostra é analisada posteriormente em laboratório.

A descarga de fundo é feita por amostradores de fundo, que recolhem uma amostra do leito do rio para a análise granulométrica em laboratório. O equipamento mais utilizado é o USBM-54, que possui uma caçamba acionada por mola em seu interior.

A estimativa dos sedimentos também tem sido determinada através de sensores de turbidez, instalados em estações automáticas. Outros equipamentos eletrônicos calculam a concentração por meio da coleta de amostras da água em profundidades fixas e a intervalos regulares. Porém, esses equipamentos possuem um alto custo de aquisição e manutenção, tornando-os pouco utilizados no país.

O CDTN, de Belo Horizonte, MG, desenvolveu um turbidímetro para cálculo da concentração de sedimentos em suspensão, na forma de um medidor nuclear por transmissão ou retrodifusão. Também são realizadas determinações do sedimento de fundo através do uso de traçadores radioativos.

5.4 INSTRUMENTOS PARA A MEDIDA DE PRECIPITAÇÃO

Os instrumentos para a medida de precipitação costumavam ser classificados entre pluviômetros e pluviógrafos.

Os pluviômetros seriam instrumentos sem registro das leituras enquanto os pluviógrafos teriam o registro gráfico contínuo ou numérico por amostragem. Habitualmente considera-se o pluviômetro “Ville de Paris” como instrumento representativo do grupo dos instrumentos sem registro. Os demais medidores, como os de caçamba basculante ou de cisterna sifonada, com registro em papel, e os sensores de caçamba basculante ou de cisternas sobre balança acoplados a sistemas de registro e/ou telemetria de dados são todos denominados pluviógrafos.

5.4.1 Pluviômetro “Ville de Paris” e Similares

Os pluviômetros são instrumentos construídos a partir de um bocal com o diâmetro, e, portanto a área, com determinadas dimensões padronizadas. Para pluviômetros com a indicação em mm de chuva essas áreas são de 200 cm², 400 cm² e 1000 cm². Este bocal é a parte superior de um corpo afunilado tendo em sua extremidade inferior uma válvula que permite fazer escoar a água contida em seu interior.

O aparelho é colocado em posição vertical com o bocal na altura de 1,5 m. (Figura 5.5) A chuva coletada fica depositada no interior do aparelho até a hora da leitura, que normalmente é feita uma vez por dia em horário constante e, excepcionalmente, duas vezes por dia. No momento da leitura o operador, usando a válvula na parte inferior do instrumento, esgota a água para dentro de uma proveta graduada em mm de chuva, ou em ml que depois serão convertidos em mm de chuva, calculados a partir do diâmetro do bocal.

O pluviômetro mais comum desta classe é o chamado pluviômetro Ville de Paris. Este pluviômetro tem um corpo bastante alongado e o bocal em forma de taça. É geralmente feito em chapas de aço inoxidável ou galvanizado.

Em geral, os pluviômetros também são usados como instrumentos de verificação nas estações pluviográficas com observador.

Tem-se procurado substituir o modelo Ville de Paris por um equipamento que diminua a evaporação da água de chuva retida, o que é válido principalmente para regiões mais secas. Esse modelo é comumente chamado de Paulistinha ou DNAEE.

5.4.2 Pluviógrafos de Caçamba Basculante

Os pluviógrafos de caçamba basculante antigos possuíam um recipiente que, vazio ficava em uma posição e uma vez cheio de água, devido à mudança de seu centro de gravidade, pivotava adquirindo outra posição. Ao mesmo tempo vertia a água em seu interior. Normalmente, esse recipiente era duplo de modo que quando o pivotamento mudava, esse recipiente passava a ser preenchido pela água. Quando atingia o seu nível máximo, o conjunto pivotava novamente voltando à posição inicial. Por isso esses instrumentos eram chamados pluviógrafos de caçamba dupla pivotante.



Fonte: CPRM

Figura 5.5: Estação pluviométrica típica, com pluviômetro “Ville de Paris”.

Ao pivotar, a caçamba acionava um mecanismo bastante delicado que fazia avançar uma agulha sobre o gráfico, enrolado em um tambor posto em rotação por um mecanismo de relojoaria, semelhante aos usados nos linígrafos. Esses relógios produziam uma volta completa do tambor em um dia ou em uma semana o que caracterizava os pluviógrafos como diários ou semanais.

Mais tarde passaram a ser produzidos pluviógrafos nos quais a caçamba acionava uma chave que produzia um impulso elétrico acionando um solenóide acoplado ao mecanismo que produzia o movimento da pena. Nesses instrumentos o sensor podia ficar separado do registrador. Assim, o bocal com as caçambas era instalado na estação de monitoramento, enquanto o mecanismo registrador podia ficar na casa do operador.

Embora obsoletos esses instrumentos ainda são utilizados em grande quantidade. Com o advento dos registradores eletrônicos, só restou do antigo pluviógrafo o par de caçambas com a chave cujo impulso é agora registrado em meio digital, exibindo os dados referentes a data e hora em que ocorrem. Esse tipo de pluviógrafo é o mais comum hoje em dia, existindo desde instrumentos de baixo preço feitos em plástico até instrumentos de alta qualidade com carcaça aquecida para medição de precipitação de neve ou gelo. Uma desvantagem destes instrumentos é a possível perda de uma parte da leitura de chuva, se a água acumulada na caçamba, não chega a provocar o basculamento. Se não evaporar durante o período seco subsequente provocará um erro no outro sentido, na medida da próxima chuva. Normalmente, esses instrumentos têm resolução de 0,1 ou 0,2 mm de chuva. Todos eles têm alguma forma de estender a escala além dos 10 ou 20 mm de chuva que constituem a escala básica. Em alguns deles a agulha, uma vez atingida a extremidade superior, retorna em um movimento invertido. Em outros, cada vez que a agulha chega à posição superior, cai voltando para a posição inicial.

5.4.3 Pluviógrafos de Cisterna Sifonada

Os pluviógrafos de cisterna sifonada antigos possuíam um recipiente capaz de conter certa quantidade de água correspondente a 10 ou 20 mm de chuva, levando em conta a área do bocal. O recipiente era dotado de um sifão que esgotava água toda vez que a cisterna era enchida.

Esse recipiente era montado na extremidade do braço de uma balança de peso móvel de modo que, ao aumentar a quantidade de água no seu interior, o braço baixava e fazia com que, através de um sistema de alavancas a agulha subisse sobre escala. Esta escala encontrava-se sobre um cilindro movido por um mecanismo de relojoaria como descrito acima. Assim, a cada 10 mm de chuva a escala era percorrida e, após os 10 mm a agulha voltava ao zero por efeito do sifonamento.

Uma vantagem desse instrumento é que, ao evaporar-se a água residual no fundo do reservatório, após a chuva, é possível verificar sobre a escala o valor da perda, e assim ter uma referência correta de onde passar a contar a chuva seguinte. Dessa forma este instrumento era bem mais preciso do que o correspondente de caçamba basculante.

Uma variante do pluviógrafo de cisterna sifonada possui uma bóia dentro da cisterna, e a cisterna é fixada na carcaça do instrumento. A bóia movimentada diretamente a agulha que traça o pluviograma. Embora relativamente obsoletos os pluviógrafos de cisterna sifonada continuam a ser fabricados, sendo os de balança mais frágeis e mais precisos e os de bóia mais robustos.

5.4.4 Pluviógrafos De Balança Eletrônica

A versão moderna do pluviógrafo de cisterna sifonada é o pluviógrafo de balança eletrônica. Este é o melhor de todos os pluviógrafos, por que o recipiente colocado sobre a balança eletrônica pode ser de grande porte devido à alta resolução da dita balança. Assim sendo o bocal, em vez de terminar em um funil

(que despeja a água da cisterna de pequeno porte do pluviógrafo mecânico), passa a ser apenas um delimitador da área de captação. A chuva, o gelo ou a neve caem diretamente no interior do reservatório que está sobre a balança. Através de filtragem por software, eliminam-se as perturbações causadas pelo impacto das gotas ou dos flocos e pode-se medir com alta resolução a quantidade precipitada. Quando o reservatório enche, ele pode ser esgotado pelo controlador eletrônico do instrumento usando bombeamento ou válvulas atuadas eletricamente.

A grande vantagem desse instrumento, além da precisão, é a sua grande tolerância à sujeira e à contaminação que possam entrar pelo bocal. Não está sujeito ao entupimento dos funis ou das telas de filtro dos demais pluviógrafos.

As células de carga, que são o coração da balança eletrônica, são sujeitas a efeitos térmicos e, por isso, esses pluviógrafos precisam ter compensação de temperatura. A desvantagem destes instrumentos é seu custo. Um instrumento desse tipo é fabricado em dois modelos diferentes pela Ott Hydrometry sob o nome de Pluvio.¹⁶

5.5 INSTRUMENTOS PARA A MEDIDA DE EVAPORAÇÃO

Os evaporímetros¹⁷ formam duas famílias de instrumentos: os atmômetros e os tanques de evaporação.

5.5.1 Atmômetros

Os atmômetros são formados por um recipiente com água que se abre para uma placa porosa em contato com a atmosfera, na qual ocorre a evaporação. A evaporação é medida pelo consumo da água. A forma mais comum é o evaporímetro de Piché.

¹⁶ Catálogo Pluvio_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de> (acesso 19/09/03)

¹⁷ TUCCI, C. E. M. E BELTRAME, L. F. S. "Evaporação e evapotranspiração" in TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia, Ciência e Aplicação. 3ª Ed. Porto Alegre, Editora UFRGS/ABRH 2002 p. 265.

Devido às formas de instalação e às diferenças entre a evaporação no instrumento e a evaporação em condições naturais, suas leituras são pouco confiáveis, além de pouco práticas.

5.5.2 Tanques de Evaporação

Existem diversos tipos de tanques de evaporação, mas o consagrado pelo uso generalizado é o tanque Classe A, de forma circular, com 121 cm de diâmetro e 25,5 cm de profundidade construído em aço ou ferro galvanizado pintado em alumínio ou construído em aço inoxidável. É instalado sobre um estrado de madeira a 15 cm do solo que, em geral deve ser gramado. É enchido de água limpa cujo nível deve ficar entre 5 cm e 7,5 cm da borda. O problema de instrumentação é o de medir a variação do nível dessa lâmina d'água, o que dá a medida da evaporação.

Na sua forma original, coloca-se no interior do tanque um cilindro apoiado sobre patas de modo que a água penetra livremente pela parte de baixo. Esse cilindro de cerca de 10 cm de diâmetro atua como poço tranquilizador para uma ponta linimétrica invertida (*hook gauge*) acoplada a um micrômetro montado entre três braços apoiados sobre a borda superior do cilindro (que deve, obviamente, ser rigorosamente horizontal). Nos horários de observação, um ou três ao dia, a leitura é feita manualmente com o micrômetro.

Além das leituras manuais, o tanque demanda bastante manutenção, compreendendo, desde a correção do nível de água sempre que o mesmo aproximar-se dos limites especificados, até a limpeza e troca da água.

Os tanques de evaporação produzem erros consideráveis quando sofrem a interferência de pássaros e animais que vêm beber água e banhar-se. Por isso pode ser preciso protegê-los com invólucros de tela apropriados. Quando chove, a quantidade precipitada medida no pluviógrafo precisa ser descontada das leituras de nível, mas a resolução dos dois instrumentos costuma ser diferente.

Outro problema é a temperatura. Normalmente, a leitura de evaporação deve estar associada à temperatura da água, mas este não é o único motivo para medi-

la. Se a medida de variação de nível deve ser feita com exatidão, é preciso levar em conta a diferença de dilatação entre aço e água entre uma medida e outra.

Utiliza-se também um termômetro flutuante, para a tomada da temperatura da água, e um anemômetro instalado à altura do tanque, para a medida da velocidade do vento. Esses dois instrumentos, aliados a outras observações climáticas, são necessários para a estimativa de evaporação em lagos e reservatórios.

Estes e outros problemas dos tanques de evaporação são resolvidos ou minorados pela utilização de tecnologia mais atual, compreendendo a instalação de sensores de nível com leitura eletrônica e controle automático da lâmina de água. Isso conduz ao tanque automatizado.

São utilizados sensores diversos para medir o nível como: bóia acoplada a um resistor variável como o da HydroLynx Systems; sensor de pressão como o da Global Water¹⁸; etc. Há tanques que operam com um sensor pontual de nível que aciona um sistema de controle de nível de modo a mantê-lo constante, sendo a evaporação, medida pela quantidade de água injetada como o da Rickly Hydrological¹⁹.

5.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

5.6.1 Problemas de Relógios

Uma particularidade importante de todos os instrumentos registradores é a exatidão e a confiabilidade do relógio.

Nos instrumentos mecânicos, por melhor que seja a execução e por mais caros que sejam os mecanismos de relojoaria, a imposição do uso de metais resistentes à corrosão e ao ambiente adverso (ou até agressivo) onde o instrumento funciona, comprometem a exatidão. Ora, os erros de medida de tempo são problemáticos quando se tem de correlacionar as leituras de vários instrumentos.

¹⁸ Catálogo Global Water disponível em http://www.globalw.com/evap_pan.html (acesso em 19/09/03)

¹⁹ Catálogo Rickly Hydrological Company disponível em <http://www.rickly.com/MI/3590.htm> (acesso em 19/09/03)

Esse é, talvez, o mais importante motivo para se utilizar a tecnologia eletrônica.

5.6.2 Automonitoramento de Estações

O custo marginal de adicionar um ou mais canais de dados num registrador digital é, praticamente, irrisório. Assim, podem-se utilizar canais para monitorar a tensão da bateria, a corrente do painel solar etc. o que confere à estação certo grau de automonitoramento. Isso é altamente desejável do ponto de vista das necessidades de manutenção e do custo operacional, principalmente se o posto é de difícil acesso ou está em local remoto.

5.6.3 Postos Automáticos de Monitoramento

O uso de controladores eletrônicos que possam agir sobre outros componentes do sistema e não apenas registrar dados (*instrument controllers* em vez de *data loggers*) abre todo um novo campo de possibilidades de automação de postos de monitoramento.

Esse é o caso dos tanques evaporimétricos automáticos em que o nível de água no tanque é automaticamente controlado através de bombas e eletro-válvulas.

5.7 EQUIPAMENTO ELETRÔNICO ASSOCIADO

Como a grande maioria dos instrumentos atuais é baseada em sensores com circuitos eletrônicos de saída, cada sensor ou grupo de sensores está associado a um registrador de dados ou a um controlador de instrumentação.

Estes equipamentos, por sua vez, possuem órgãos ou estão associados a equipamentos de transferência ou de transmissão telemétrica de dados. E como os registradores ou controladores atuais são digitais, possuem diversos tipos de software para sua caracterização e operação.

Dos registradores ou controladores de instrumentos, os dados são transferidos para computadores portáteis ou de mesa onde serão armazenados e analisados ou de alguma forma utilizados. Uma vez no interior do computador, seu tratamento ou exploração sai do domínio da instrumentação e, por essa razão, não trataremos aqui do software associado a essas operações.

Há exceções na área de automação industrial, e em algumas áreas de monitoramento que trabalhem com certo número de sensores: pode ser aplicável a utilização de software supervisor, ao nível do computador.

5.7.1 Equipamento de Registro e Controle

Os registradores de dados e os controladores de instrumentos são, atualmente, máquinas digitais baseadas em microcontroladores.

Os microcontroladores são *chips* semelhantes aos microprocessadores usados em computação convencional, porém dotados de alguns dispositivos diferentes de interfaceamento com o restante dos circuitos e de uma arquitetura interna algo diferente, em geral mais simples. Há microcontroladores que não necessitam de outros *chips* para operar, contendo inclusive a memória de que necessitam. Outros trabalham em associação com diversos *chips* de memória, de conversão analógica-digital e digital-analógica, de interfaces diversas, etc.

Em qualquer caso, a ação desses dispositivos é caracterizada por um software, que pode ser qualificado de básico, e que controla essa ação.

O microcontrolador se liga aos sensores analógicos por meio de canais analógicos internos ou externos ao *chip*, que convertem as tensões ou correntes recebidas dos sensores. Liga-se aos sensores de saída pulsada ou digital através de interfaces apropriadas.

Os dados recebidos são organizados na memória de dados, devidamente associados a dados de tempo, provenientes do relógio interno da máquina. As operações são controladas pelo programa que está armazenado em uma outra área ou um outro *chip* de memória não volátil, que contém o software de

caracterização ou básico.

Em certas circunstâncias previstas, o microcontrolador se comunicará ou será solicitado a se comunicar com o seu exterior para enviar dados ou receber parâmetros de programação. Se for um controlador de instrumento, poderá enviar comandos a outros dispositivos.

Os equipamentos atualmente disponíveis no mercado tanto internacional como nacional, variam muito em características e complexidade. Existem controladores e registradores multicanais sofisticados capazes de se conectar a numerosos sensores e de realizar operações sofisticadas de filtragem e pré-processamento de sinais e existem registradores muito simples que armazenam uma seqüência de dados de um único sensor, eventualmente montados dentro do mesmo invólucro deste.

As tendências de evolução dos registradores e controladores são variadas. Uma tendência forte, freqüentemente observada nos instrumentos de monitoramento hidrológico, é a incorporação da máquina eletrônica ao sensor, produzindo-se o que se costuma chamar de instrumento inteligente. Esse tipo de instrumento se relaciona diretamente com o mundo externo: circuitos de telemetria ou de transferência de dados.

Outra tendência é a utilização de uma máquina mais poderosa para controlar um conjunto de instrumentos como os que compõem uma estação meteorológica. E há máquinas complexas, especializadas que controlam instrumentos sofisticados, como perfiladores de velocidade e medidores de vazão por efeito Doppler.

Uma tendência minoritária na área de monitoramento (embora corrente na área de automação industrial) é a da produção de registradores ou controladores de uso genérico, programáveis no campo. Em geral, um fabricante produz uma máquina genérica (hardware), mas a vende já caracterizada (por software) para operar com determinado sensor.

5.7.2 Equipamento de Telemetria

Um tipo de equipamento de telemetria disponível no mercado são os radio-modems, ou transceptores para rádio enlace, normalmente operando em faixas de frequência e com potências que dispensam o licenciamento. Estes equipamentos são, basicamente, transceptores com uma entrada de dados e um circuito de controle que responde a um protocolo de comunicação. A comunicação é, geralmente, bidirecional, um sistema central interrogando o R-M que responde transmitindo os dados de seu registrador associado. O controle das operações pode ser realizado por este último.

Outra forma de estabelecer comunicação é a utilização de linha telefônica, através de um modem, semelhante ao usado pelos computadores para ligações de Internet, comandado por rotinas do controlador de instrumentação. Não temos visto essa possibilidade sendo explorada correntemente.

Uma forma que, pela sua óbvia praticidade está sendo explorada por alguns fabricantes estrangeiros e começa a aparecer no Brasil, é a comunicação por telefone celular. Nessa forma, um aparelho celular convencional modificado, ou um aparelho especialmente produzido para esse fim, é comandado pelo controlador de instrumentação que trabalha com os protocolos de comunicação e administra as interrogações e as transferências de dados. Normalmente o celular fica escondido dentro do gabinete de instrumentos do posto de monitoramento e se comunica através de uma antena externa. Qualquer aparelho celular pode ser usado desde que se conheça a sintaxe dos comandos a que obedece. A conexão se faz pela tomada externa de dados do aparelho.

Quando não há cobertura de telefonia celular, pode-se usar a comunicação via satélite. Nessa forma, um aparelho comunicador, que é um transceptor associado a um circuito de dados, é acionado pelo controlador de instrumentação e transmite os dados para a rede de satélites agenciada por um provedor de serviços. Os dados são recolhidos pelo provedor que os disponibiliza através de um site de acesso restrito, pela Internet. Os provedores existentes trabalham com redes estrangeiras. Não sabemos de nenhuma possibilidade de comunicação desse tipo que seja nacional e independente.

Uma consideração importante que favorece a justificativa econômica e funcional para o uso de telemetria é ligada ao automonitoramento do posto, que é possível

pela presença da máquina digital, conforme já mencionado acima. Além de se poderem condicionar visitas de manutenção a indicações obtidas por automonitoramento (e assim economizar visitas) é possível acionar remotamente dispositivos, se o posto for projetado para isso.

5.7.3 Software

Os processos de monitoramento envolvem a utilização de diversos tipos de software, alguns do domínio da área de instrumentação propriamente dita, outros da área de exploração dos dados e raramente se produzem situações mistas ou intermediárias.

Os registradores de dados e os controladores de instrumentação não usam sistemas operacionais como os computadores. Sua ação é controlada por um software básico que os caracteriza, conforme visto acima. A esse software estão associadas às rotinas de interfaceamento e comunicação que a máquina utiliza. Esse conjunto é produzido pelo fabricante do equipamento quer este seja ou não integrado a um sensor.

Outro tipo de software necessário é o que extrai os dados ou injeta parâmetros de programação no registrador ou controlador. Este software é instalado no computador que será usado para essas operações. Trabalhará em ambiente DOS, Windows ou Linux, se for um computador tipo PC-IBM. Será acionado quando o computador for posto em contato com o sistema de instrumentação através de uma conexão serial, paralela, infravermelha, etc. ou através de um sistema de telemetria. Os dados recolhidos serão organizados em arquivos de formato adequado para processamento posterior, por exemplo, o formato .txt. Esse software também é produzido pelo fabricante de instrumentação.

Os tipos de software que, em geral não são feitos ou fornecidos pelos instrumentadores, são os de exploração dos dados. Há exceções como alguns analisadores de espectro do tipo FFT (Fast Fourier Transform), mas em geral estes tipos são produzidos pelos utilizadores ou casas de software a eles associados. Um exemplo são os sistemas Hydrom e Pluviom desenvolvidos pelo

Laboratoire d'Hydrologie do Orstom da França²⁰.

Existe uma classe de software, chamada de supervisão, que é um caso a parte. Em sistemas de instrumentação ou de automação industrial, eventualmente, se usa um software que reúne as indicações de todos os instrumentos e mostra essas indicações quando solicitado. Pode também ser programado para acionar alarmes ou disparar ações preventivas ou corretivas, etc.

Quando tem autoridade para provocar ações, seja diretamente, ou por meio de ação humana, esse tipo de software é de projeto bastante difícil, pois envolve análises de segurança. E a tecnologia de análise de segurança em software ainda é bastante imatura mesmo a nível mundial.

Em geral, os supervisores comuns, que não agem, são projetados por empresas de instrumentação e vendidos para incrementar a funcionalidade dos sistemas de instrumentos. São sistemas programáveis por meio de parâmetros e através da definição de características de interfaces gráficas.

Supervisores especiais, com autoridade de ação, só podem ser projetados caso a caso, pois implicam nas análises de segurança supra citadas. Sua aplicação na área de monitoramento hidrológico pode não ser freqüente, mas quando ocorrer, será muito importante. Pode-se pensar em sistemas de alerta de cheia, de condição de hidrovias, etc. Nesses casos, o projeto, além de específico, envolverá boas doses de pesquisa.

5.8 EQUIPAMENTOS PARA INSTALAÇÃO

A instalação de postos de observação hidrometeorológicos requer áreas protegidas de eventos como inundações e chuvas intensas, além do vandalismo e proteção contra animais.

Estações pluviométricas ou climatológicas são geralmente confinadas em áreas cercadas, enquanto que estações fluviométricas são instaladas de maneira que seja possível a leitura do nível, em épocas secas e chuvosas.

²⁰ CHEVALIER, P. "Aquisição e processamento de dados" in TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia, Ciência e Aplicação. 3ª Ed. Porto Alegre, Editora UFRGS/ABRH 2002 p. 523.

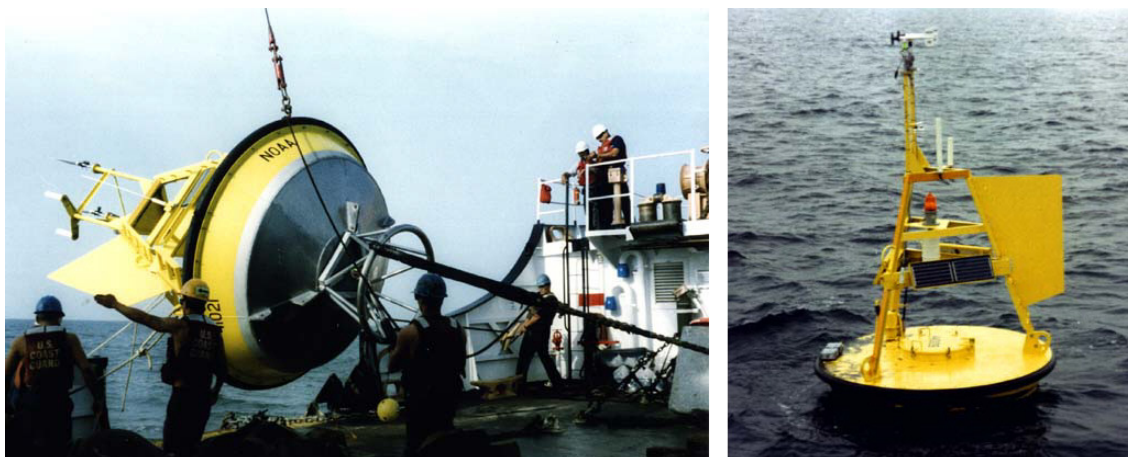
A utilização de equipamentos eletrônicos levou à necessidade de se fazerem abrigos para a sua proteção. Em áreas urbanas, devido ao vandalismo, era freqüente serem construídos abrigos de alvenaria. Entretanto, os custos de construção têm levado à adoção de outros tipos de instalação, mais baratos e rápidos na sua montagem.

Em estações automáticas de leitura do nível, utilizam-se torres de alumínio, construídas de forma artesanal. Para estações climatológicas se tem adotado torres semelhantes às utilizadas na instalação de grandes antenas, na forma de treliça espacial. Esses tipos de construções são leves e de fácil manuseio e transporte, permitindo sua utilização mesmo em áreas remotas da Amazônia.

A etapa final da instalação de uma estação automática é a montagem de um sistema pára-raios.

5.8.1 Bóias de Instrumentação

Tanto bóias de instrumentação como bóias de sinalização são, hoje, bem diferentes dos antigos latões de aço pintado com zarcão. Muitas são confeccionadas em plásticos resistentes ou em fibras com aglutinante e são preenchidas com materiais leves como, por exemplo, espumas de poliuretano com alvéolos fechados, que garantem a flutuação mesmo depois de danificações por perfuração. (Figura 5.6).



Fonte NOAA – USA

Figura 5.6: Bóia de instrumentação NOAA de 3m: lançamento e fundeada em posição

Vários modelos de bóias importadas têm sido usados em programas de monitoramento, em geral oceânico, no Brasil.

Apesar de haver no país alguns fabricantes de pequenas bóias de sinalização e de serem produzidas aqui bóias de atracação e outras bóias de certo porte sob encomenda, numa pesquisa por mais de 400 sites de fabricantes de material náutico, não foi encontrado um só produtor de bóias de instrumentação.

Pesquisa semelhante, no mercado internacional revela a existência de muitos fabricantes de bóias para instrumentação de diversos tipos, fundeadas ou livres. Para se ter idéia do que se trata, são mostrados alguns exemplos na figura 5.7, abaixo.

5.8.2 Torres para Instalação dentro do Corpo d'água



Figura 5.7: Torre estaiada (E) e torre tripé no fundo do banhado do Taim RS (UFRGS_IPH)

Os motivos que levam à instalação de postos de monitoramento em suportes dentro do corpo d'água são variados. Segue a descrição de alguns:

- Em rios ou lagos cujas margens se deslocam entre os níveis extremos as instalações de linígrafos de todos os tipos ficam penalizadas ou pelas obras muito caras ou pelos cabos ou tubos caros ou mais longos do que o permitido;
- Em rios mais encaixados, em pontos de difícil acesso pela margem; em locais onde a proteção contra o vandalismo é problemática; quando se deseja monitorar variáveis que só são observáveis no interior do corpo d'água. A maioria dos problemas desse tipo não diz respeito ao assunto do presente trabalho, pois essas variáveis são de qualidade da água, parâmetros de ondas ou outras que não estão diretamente ligadas ao monitoramento hidrológico. Mas em sedimentometria pode ser interessante esse tipo de facilidade de instalação. Nestes casos, usam-se torres de diversos tipos alicerçadas no fundo do corpo d'água. Surgem dois tipos diferentes de problemas a enfrentar.



- Em lagos ou rios com baixa declividade, dificilmente a velocidade da água será grande e haverá o risco de colisão de objetos flutuantes. Mas como isso habitualmente acontece em lugares planos, há ventos de alta velocidade que afetam os componentes altos do posto, como os gabinetes de equipamento e os painéis solares.
- Em rios de declividade mais alta nos quais ocorrem velocidades mais altas e o transporte de objetos flutuantes, o maior problema são as colisões desses objetos. E, como nestes casos, em geral a lâmina d'água varia muito, as torres devem ser altas, o que complica o problema de resistência e de alicerce.

Nos problemas desse tipo a ausência de fornecedores especializados se faz sentir.

6. O Parque Instalado, sua Manutenção, sua Atualização e sua Expansão

6.1 EVOLUÇÃO DO MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO NO BRASIL

O monitoramento sistemático no Brasil surgiu por volta do início do século XX, com a instalação de estações de observação hidrometeorológicas pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e a Diretoria de Meteorologia e Astronomia, embora postos de observação pluviométricos tenham sido implantados anteriormente por entidades privadas, como o posto de Mineração Morro Velho, próximo a cidade de Belo Horizonte, instalado pelos ingleses em 1855 e ainda em funcionamento.

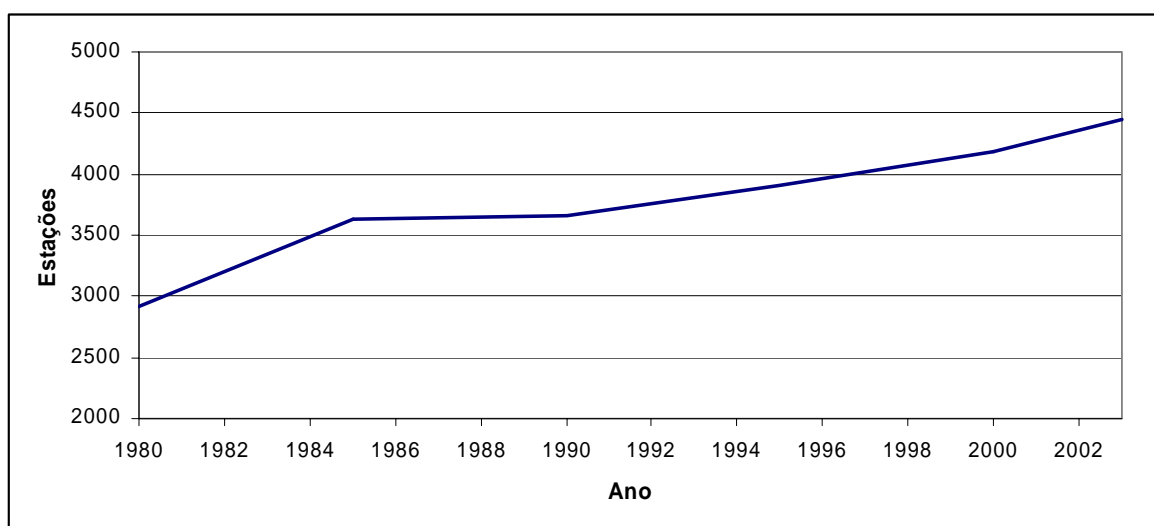
Em 1920 é criada a Comissão de Estudos e Forças Hidráulicas, que passou a conduzir estudos hidrológicos e de energia elétrica, embora a maior parte dos dados fosse proveniente de dados pluviométricos. Na década de 1930, os estudos hidrológicos são impulsionados pela nova política de exploração do potencial hidráulico, imposta pelo Governo Vargas. Em 1934, cria-se o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), que absorveu o serviço

nacional de hidrometria. Em 1965, essa atividade é repassada ao Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE), o qual recebe nova denominação em 1968, passando a se chamar Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica²¹.

Na década de 1970, os serviços de hidrometria ganham novo impulso através de programas nacionais de capacitação e acordos de parceria com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), e a responsabilidade de execução da operação da Rede Hidrometeorológica Nacional passa para a recém-criada Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

A década de 1990 é marcada pela quase paralisação da Rede no período Collor, e em 1997 pela instituição da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que passa a administrar a Rede. Ainda em 1997 é criada a Política Nacional de Recursos Hídricos, pela Lei 9.433, que abre caminho para a Agência Nacional de Águas – ANA, em 2000. No ano de 2002, a administração da Rede é repassada para a ANA.

Além da Rede Nacional Hidrometeorológica, outras entidades públicas e privadas também vem mantendo seus serviços próprios de monitoramento, como as empresas geradoras de energia e de abastecimento público. A figura 6.1 ilustra a evolução da Rede nos últimos 20 anos.



Fonte: ANA

Figura 6.1: Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional.

²¹ IBIAPINA^a V. et alii. "Evolução da Hidrometria no Brasil" in O Estado das Águas no Brasil, Aneel, <http://www.mma.gov.br/port/srh/ACERVO/publica/doc/oestado/texto/121-138.html> (acesso 27/08/03)

6.2 REDE HIDROMETEREOLÓGICA ATUAL

A maior rede de monitoramento sistemático no Brasil é a administrada pela ANA. Encontram-se cadastradas em seu banco de dados Hidro²², 22.333 estações, sendo 14.189 pluviométricas e 8.144 fluviométricas. Em operação, pelas diversas entidades, são 8.760 estações pluviométricas e 4.133 fluviométricas. Das estações fluviométricas, 948 tem monitoramento de qualidade de água e 537 tem medições sedimentométricas. Sob administração da ANA, estão em operação 2.527 estações pluviométricas, 1.766 fluviométricas, 443 de qualidade de água, 420 sedimentométricas e 59 climatológicas ou evaporimétricas²³. Embora a ANA seja a responsável pela administração da Rede, a operação é executada por outras entidades, por meio de convênios e contratos. A tabela 6.1 apresenta a distribuição das estações de responsabilidade da ANA, por Estado da União, enquanto a tabela 6.2 a apresenta por entidade operadora. Observa-se que somente a CPRM concentra mais de 75% do número total de estações.

Os dados de outras entidades com redes próprias de monitoramento nem sempre são de fácil acesso ou mesmo estão disponíveis. Alguns dados são vendidos, como no caso do INMET. Assim, passaremos a analisar somente a rede administrada pela ANA, em tamanho suficientemente representativo das condições de operação em todo o país.

²² Sistema Hidro, disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>

²³ ANA, em www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/default2.asp (acesso em 05/10/2003)

Estado	Tipo de estação							Equipamentos				Valor Anual
	P	F	FD	E	S	Q	Total	Pr	Fr	T	Total	R\$ 1.000,00
Amapá	21	1	11	-	4	4	41	8	3	6	17	276
Pará	155	20	47	5	16	20	263	20	8	14	42	1.812
Amazonas	161	24	83	2	23	26	319	28	16	50	94	2.477
Rondônia	44	3	33	-	8	12	100	9	8	28	45	678
Roraima	41	2	17	-	5	6	71	14	3	26	43	278
Acre	28	-	20	-	3	3	54	6	2	15	23	515
Tocantins	69	4	37	3	6	6	125	12	3	16	31	388
Maranhão	86	-	56	-	11	16	169	14	7	19	40	374
Piauí	19	-	31	-	7	7	64	2	5	2	9	176
Pernambuco	39	6	46	-	7	7	105	2	18	-	20	325
Ceará	24	-	42	-	4	4	74	-	8	-	8	242
Alagoas	18	1	18	-	4	4	45	5	5	4	14	151
Paraíba	7	1	23	-	3	4	38	1	6	-	7	95
Rio Grande do Norte	16	-	25	-	3	3	47	-	6	-	6	196
Bahia	154	7	155	3	25	27	371	48	41	19	108	1.243
Sergipe	7	-	12	-	2	2	23	2	3	2	7	62
Minas Gerais	478	2	320	7	62	64	933	134	84	57	275	2.834
Espírito Santo	86	-	41	-	9	9	145	11	5	2	18	333
Rio De Janeiro	86	6	52	1	8	8	161	15	11	10	36	454
São Paulo	134	2	49	1	10	10	206	23	13	19	55	742
Mato Grosso	175	7	83	3	20	20	308	36	28	58	122	846
Mato Grosso do Sul	117	4	71	-	8	8	208	24	13	17	54	868
Goiás	130	-	81	4	11	11	237	20	10	10	40	400
Distrito Federal	3	-	-	-	-	-	3	-	-	-	0	0
Paraná	96	5	99	20	76	76	372	38	44	37	119	628
Santa Catarina	149	-	93	3	34	34	313	45	17	32	94	1.066
Rio Grande do Sul	184	15	111	7	51	52	420	46	27	22	95	1.255
Total	2527	110	1656	59	420	443	5215	563	394	465	1422	18.714
Legenda:	P: pluviométrica		F: fluviométrica		FD: medição de descarga líquida		E: evaporimétrica		S: sedimentométrica			
	Q: qualidade		Pr: pluviógrafo		Fr: linígrafo		T: telemetria					

Fonte: ANA

Tabela 6.1: Distribuição da Rede Hidrometeorológica Nacional por Estado da União e custo de operação estimado para o exercício de 2003.

Os recursos para a operação da Rede Hidrometeorológica são provenientes da compensação financeira pela utilização de recursos hídricos pelo setor elétrico nacional, fixada em 3% do valor arrecadado, conforme a redação dada pela Lei 9.984. O valor previsto para a realização de todos os serviços da operação da rede no ano de 2003 é de cerca de R\$ 18.700.000,00 (ver tabela 6.1), enquanto que o valor destinado a esta atividade pelo Orçamento da União é de R\$ 18.000.000,00, inscrito na fonte 134.

Entidade	Estações
CPRM	3.879
COHIDRO ¹	261
SUDERHSA	383
FURNAS	221
IGAM	115
DAEE-SP	151
EPAGRI	178
ITAIPU	4
INMET	23
Total	5215

¹ A serviço da CPRM.

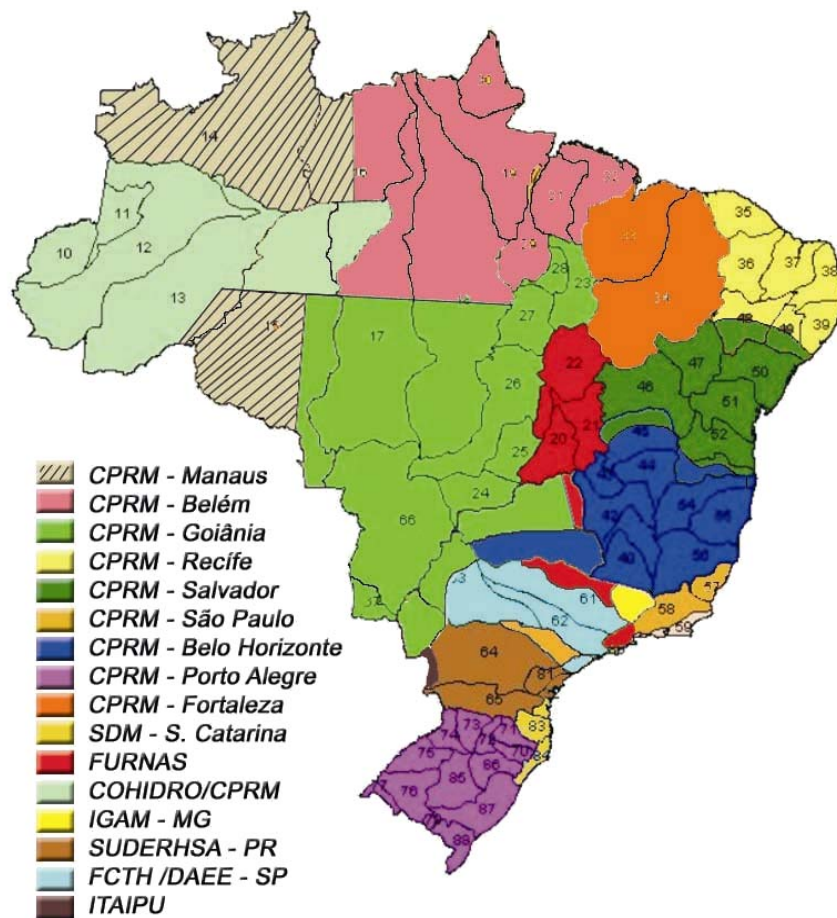
Fontes: ANA e CPRM

Tabela 6.2: Entidades operadoras da Rede Hidrometeorológica Nacional, administrada pela ANA, e número de estações pluviométricas e fluviométricas

A produção de dados estimada para 2003 é de cerca de 52.000 boletins mensais de dados diários de precipitação, nível e climatológicos, 5.000 medições de vazão, 1.200 medições de sedimentos em suspensão e de parâmetros de qualidade das águas, além dos dados gerados por mais de 1.300 aparelhos de registro contínuos ou eletrônicos. Para atender a essa expectativa, mais de 150 roteiros de operação serão percorridos, totalizando 1.600.000km. Estão envolvidos 3.500 técnicos e observadores das estações.

O custo do transporte das equipes técnicas aos locais de monitoramento, que

também contempla diárias e hospedagem, acaba por ser um dos fatores limitantes da expansão da Rede, além da gratificação paga mensalmente ao observador da estação. Somente em 2002 foram necessárias mais de 320 horas de vôo de táxi-aéreo e 16.300 horas de barco, despendidas em campanhas nas bacias da Amazônia Legal.



Fonte CPRM

Figura 6.2: Distribuição da rede.

6.2.1 Distribuição Recomendada de Estações de Monitoramento

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) recomenda uma densidade mínima de estações, por tipo de monitoramento, exposta nas tabelas 6.3, 6.4 e 6.5²⁴. Avaliando essas recomendações nas principais bacias brasileiras, verifica-se uma baixa distribuição de estações pluviométricas nas bacias amazônica e do Tocantins, enquanto que nas demais áreas a densidade de pontos é compatível. Entretanto, há uma concentração de estações em áreas urbanas e em alguns Estados, como São Paulo e Minas Gerais, e próximo a núcleos urbanos. A mesma situação é observada na distribuição das estações fluviométricas, com a existência do agravante da baixíssima ocorrência de estações em pequenas bacias. A tabela 6.6 apresenta a densidade de estações no país, por bacia hidrográfica.

Quanto ao monitoramento da evaporação, esse possui baixa densidade em todo o país.

Cabe ressaltar que grande parte das estações hidrológicas concentra-se em bacias de interesse energético, motivada pela própria origem do monitoramento das águas no Brasil, coordenada pelo setor elétrico.

Tipo	Área por estação em condições normais de operação (km ²)	Tolerância admitida em condições difíceis (km ²)
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	600 a 900	900 a 3.000
Regiões montanhosas de Zonas temperadas mediterrâneas e tropicais	100 a 250	250 a 1.000
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e rede hidrográfica muito densa	25	-
Zona árida e polar	1.500 a 10.000	-

Tabela 6.3: Densidade recomendada de estações pluviométricas para redes básicas

²⁴ "Guia de Práticas Hidrológicas. Volumen I – Adquisición y Proceso de Datos". OMM: Genebra - Suíça, 1984. 280p.

Tipo	Área por estação em condições normais de operação (km ²)
Regiões áridas	30.000
Regiões temperadas úmidas	50.000
Regiões frias	100.000

Tabela 6.4: Densidade recomendada de estações evaporimétricas para redes básicas

Tipo	Área por estação em condições normais de operação (km ²)	Tolerância admitida em condições difíceis (km ²)
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	1.000 a 2.500	3.000 a 10.000
Regiões montanhosas de Zonas temperadas mediterrâneas e tropicais	300 a 1.000	1.000 a 5.000
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e rede hidrográfica muito densa	140 a 300	-
Zona árida e polar	10.000 a 20.000	-

Tabela 6.5: Densidade recomendada de estações fluviométricas para redes básicas

Bacia hidrográfica	Densidade (km ² /Est.)	
	Estações fluviométricas	Estações pluviométricas
Amazonas	15415	8667
Atlântico Leste	1603	1307
Atlântico Norte/Nordeste	3913	4116
Atlântico Sul/Sudeste	1514	1137
Paraná/Paraguai	3487	2078
São Francisco	3019	2339
Tocantins/Araguaia	7495	3963
Uruguai	1978	1171

Tabela 6.6: Densidade de estações fluviométricas e pluviométricas por bacia hidrográfica, em km² por estação.

6.3 INSTRUMENTOS E PROCESSOS USUAIS DE MEDIÇÃO

A maior parte das estações de monitoramento ainda é operada por meio da coleta manual dos dados, seja por um observador hidrológico, geralmente residente em local próximo à estação, ou através das equipes técnicas de hidrometria, que percorrem as estações em roteiros de operação, com frequência trimestral.

Os dados diários coletados pelos observadores são enviados por correio ao fim do mês, ou então coletados pelas equipes de hidrometria durante as visitas de inspeção. Dessa maneira, o dado pode demorar de 2 a 4 meses para ser integrado ao banco de dados da ANA, em Brasília. A vazão, os parâmetros de qualidade de água e a descarga sólida são medidos no local pela equipe de hidrometria, e somente são enviados após o término do roteiro de operação, que pode levar até um mês.

Todos os dados são recebidos nos escritórios das entidades operadoras, digitados no sistema Hidro, analisados e somente então enviados à ANA. O sistema Hidro é um programa cliente-servidor, que permite a entrada, consulta e análises simples dos dados hidrológicos em bases de dados locais ou remotas. Desenvolvido inicialmente pela Aneel e posteriormente assumido pela ANA, o de Hidro é gratuito e está disponível na página <http://hidroweb.ana.gov.br>.

A análise dos dados é realizada de maneira preliminar, buscando detectar erros grosseiros de transcrição do observador, como a posição errada da vírgula em leituras de chuva, erros de identificação do lance de réguas linimétricas, de leitura incorreta da proveta do pluviômetro, de data errada no cabeçalho de boletins e gráficos dentre outros. Também se verificam os dados de estações vizinhas, especialmente em épocas de cheias. Ao fim do ano realiza-se uma consolidação conjunta dos dados, por bacia hidrográfica. Após períodos maiores é feita a consistência das séries de dados. Tal procedimento é necessário para verificação de tendências nas séries históricas e erros que somente são detectados em períodos maiores de tempo.

Os pluviogramas são digitalizados em um programa desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), para a ANA, sendo que um módulo para

linigramas ainda está em desenvolvimento. Em 1997, a CPRM implantou um programa de digitalização de gráficos contínuos, denominado Gedac que foi desenvolvido pelo instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), que permitia o armazenamento de pluviogramas, linigramas e outros gráficos, porém, o mesmo foi substituído posteriormente.

6.3.1 Medidas do Nível e da Chuva

As medidas do nível dos rios e das chuvas são realizadas diariamente por observadores em todas as estações, mesmo que possuam equipamentos registradores. A proporção de equipamentos registradores ainda é pequena, como se observa no gráfico da figura 6.3, a seguir:

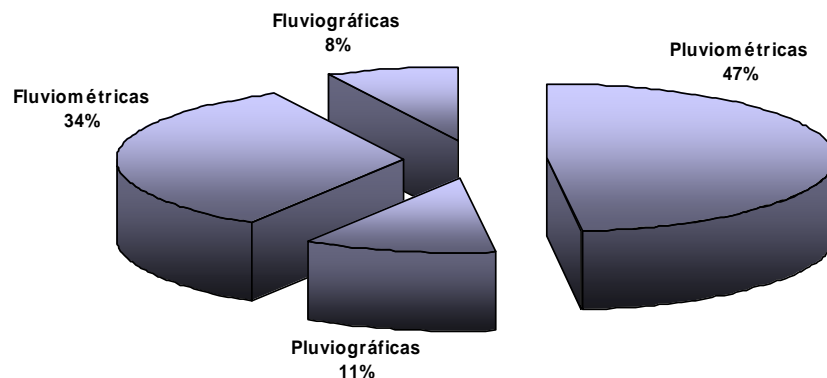


Figura 6.3: Distribuição das estações por tipo

Mesmo entre os registradores, a grande maioria utiliza gráficos em papel, exigindo a troca de papel (diária no caso dos pluviógrafos) e cuidados constantes de manutenção e calibração do aparelho.

6.3.2 Medida da Vazão

Cada equipe de hidrometria leva no mínimo dois molinetes hidrométricos, normalmente um do tipo Price e outro de hélice. O tipo Price é o mais utilizado e o modelo mais comum é o Gurley Price. Os molinetes de hélice, usados principalmente em velocidades mais altas, são de várias marcas, sendo mais encontradas OTT, SIAP e Hidromec. Os micro molinetes, para pequenas vazões e profundidades, são do tipo Gurley Pygmy e OTT. É necessário um contador de pulso para cálculo da velocidade, embora ainda seja muito usada a campainha ou cigarra.

A CPRM e ANA utilizam equipamentos ADCP para medição da vazão, principalmente em épocas de cheias e na região amazônica. Itaipu, Light, Cemig, Furnas e Copel também utilizam o mesmo equipamento. Duas vertentes de seu uso são a calibração de vertedores para definição de curva cota-vazão, e a determinação de correntes e profundidades em reservatórios.

6.3.3 Rede telemétrica

Ainda na década de 1980, o antigo DNAEE começou a instalar equipamentos de coleta e transmissão de dados hidrológicos por linha telefônica convencional nas bacias do Paraíba do Sul, Doce e São Francisco. Várias estações também foram equipadas nessa época com rádios-transmissores, operados pelos próprios observadores das estações, que transmitiam os dados diariamente para as superintendências da CPRM. As estações automáticas de nível operam através de uma central remota, que coleta o dado por um sensor de borbulhamento, mantido por garrações de nitrogênio. A chuva é coletada por um pluviômetro de caçamba, registrando pulsos de 0,1mm. A recuperação dos dados é feita por meio de um modem. A energia é suprida por linha elétrica, tendo sido instaladas

baterias para garantir o seu funcionamento. Ainda hoje alguns desses equipamentos são mantidos pela CPRM na bacia do Doce, entre os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, fazendo parte de uma rede de alerta contra enchentes.

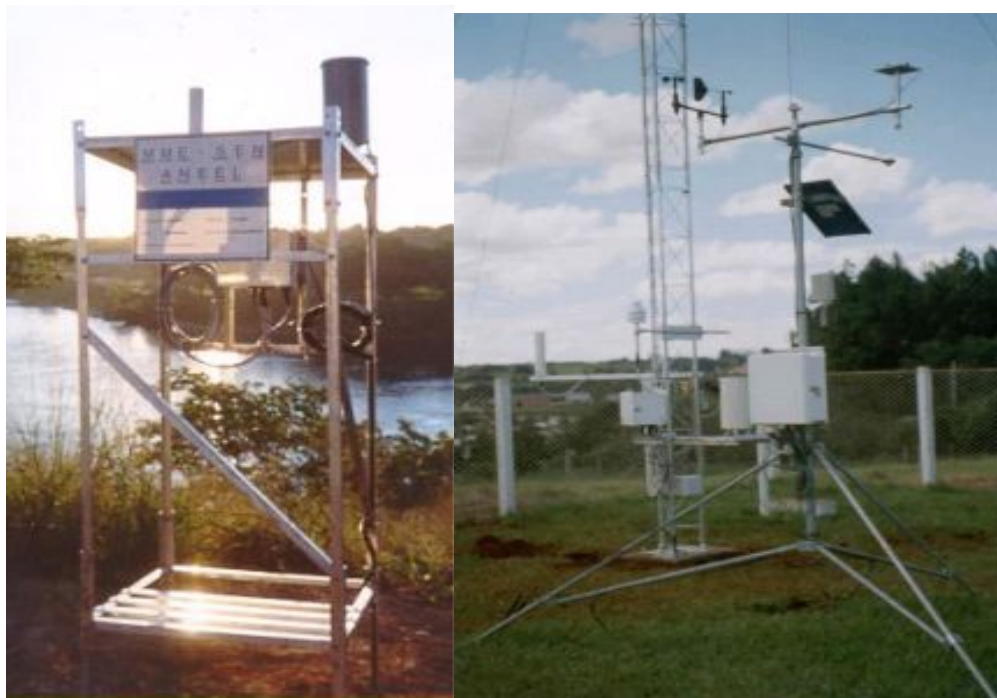
Nos últimos anos foram adquiridos novos modelos de estações, agora denominadas plataformas de coletas de dados (PCD), provenientes da empresa americana Vaissala – Handar, modelo HBR-555, são divididas em dois grupos: hidrológicas, para medição de nível e chuva, e climatológicas, para parâmetros do ar, insolação e chuvas.

A transmissão dos dados é feita basicamente via satélite, embora algumas poucas estações tenham sido complementadas com modem para linha telefônica convencional. Os satélites são os brasileiros o SCD1 e SCD2, com recepção pelo Inpe. A desvantagem desse sistema de comunicação é o intervalo entre as passagens dos satélites, que pode ocasionar períodos superiores a 4 horas sem recepção de dados. Ainda assim, os dados são transmitidos na forma de pacotes a cada 1 hora. São também transmitidos dados de tensão fornecida pelos painéis solares, tensão da bateria, temperatura interna e outros.

A PCD hidrológica opera com um sensor de nível de pressão diferencial e um pluviômetro de cubas basculantes, com precisão de 0,2mm. A climatológica possui um pluviômetro, um sensor de insolação, de umidade e temperatura do ar e um de velocidade e direção do vento. O sensor de vento pode ser eletromecânico ou ultra-sônico. Uma variação da PCD hidrológica foi equipada com sensores de qualidade das águas, mas apenas em número de 12 estações.

A PCD é controlada por uma unidade que, além de interrogar os sensores, armazenar os dados e controlar a sua transmissão pode mudar a regularidade da aquisição conforme uma programação pré-definida. Equipam a PCD um rádio-transmissor e , opcionalmente, um modem. A manutenção do programa e o recolhimento dos dados são feitos com o uso de um *notebook*.

Embora protegida por uma caixa blindada, a PCD não é imune à umidade do ar, o que se torna um problema em áreas como a Amazônia e o Pantanal. O uso de sílica protege o interior da PCD e a entrada de ar do fio capilar do sensor de pressão diferencial.



Fonte: ANA

Figura 6.4: PCD's hidrológica (D) e climatológica (E).

A bacia amazônica, devido a sua baixa densidade de estações, as dificuldades de acesso e transporte e a impossibilidade de se encontrar um observador apto a cuidar da estação de monitoramento em diversos locais de interesse, tem recebido um número significativo de estações telemétricas nos últimos anos. Das 465 PCD's instaladas atualmente no Brasil, 168 estão na bacia amazônica.

Em 2002 e 2003 foram instalados alguns equipamentos automáticos para medida do nível, principalmente Orphimedes, da OTT, e de chuvas, da empresa brasileira SDM. Ainda devem ser instaladas cerca de 100 PCD's pela ANA, em parceria com o INPE e Sivam. Mas o número de equipamentos ainda é inferior às necessidades impostas pelo novo modelo de gestão compartilhada das águas.

Em 1998, a Aneel publicou a sua Portaria 396, que determina às empresas concessionárias de aproveitamentos da energia hidráulica para geração de energia que providenciem a instalação de equipamentos hidrométricos na área do empreendimento, visando a regulação, fiscalização e mediação, bem como os usos múltiplos dos reservatórios.

Em regiões urbanas redes de estações telemétricas podem prever e alertar sobre a ocorrência de cheias em tempo hábil para que se desloque a população atingida e se minimizem as perdas, como já ocorre na bacia do Doce e no vale do Itajaí.

O gerenciamento integrado da geração de energia elétrica e o planejamento do setor dependem fundamentalmente da informação hidrológica disponibilizada em tempo ágil e de confiança. Do mesmo modo, dependem os sistemas de acumulação e distribuição pública de águas. A falta de informações é ainda mais crítica em áreas onde as demandas são superiores à oferta hídrica, e a qualidade das águas é fator limitante de seu uso.

6.4 ORIENTAÇÃO DESEJÁVEL PARA O FUTURO DAS REDES

Numa concepção moderna, a instrumentação de monitoramento envolve uma série de sensores acoplados a Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), dotadas de sistema de armazenamento e podendo incluir equipamento de transmissão dos dados.

Uma parcela significativa dessas PCD's está obsoleta, ou inoperante por falta de manutenção, bem como os dados coletados podem ter, eventualmente, credibilidade duvidosa por falta de aferição e calibração.

Seguem sugestões para operacionalização da atualização e da expansão da rede.

6.4.1 Integração das Redes

A instalação, operação e manutenção dessas PCDs, bem como de sensores isolados, têm sido realizadas majoritariamente por órgãos governamentais, tais como agências reguladoras, institutos de pesquisa e universidades, sem que haja qualquer processo de integração entre as redes ou os pontos isolados de monitoramento.

A falta de recursos financeiros e humanos, a falta de uma indústria nacional de equipamentos na área, aliada aos altos custos dos equipamentos importados e aos entraves da legislação de licitação (ver item 4.3), bem como a falta de um planejamento e de um gerenciamento integrado a nível nacional, tem dificultado a evolução da oferta desse serviço à sociedade.

A prática da implantação de redes de monitoramento e a diversidade de suas finalidades específicas faz com que seja impossível a existência de uma rede única consensual para atender a todos sem duplicações de equipamento. Também é pouco provável, que se consiga um modelo de gestão integrada das redes aceitável pela maioria. Entretanto é consensual que as redes e os postos avulsos devem ter certo tipo de integração para possibilitar as trocas e cruzamentos de dados, a redução de custos de equipamentos e instalações e a formação de um mercado nacional de equipamentos e serviços mais forte porque mais coerente.

6.4.2 Normas para as Redes

Para tornar possível um mínimo de padronização de equipamentos, de instalações e de compatibilidade de dados, se faz necessário produzir, no plano nacional, um esforço de normatização incluindo a logística de operação, manutenção, aferição e calibração de postos, bem como os padrões de transmissão e disponibilização de dados.

Isto é essencial para possibilitar o estabelecimento de uma política industrial capaz de fomentar a capacitação da indústria nacional para fornecer equipamentos e serviços e peças para manutenção, tanto na área de instrumentos e equipamentos de registro e transmissão de dados como na área de equipamentos e serviços de instalação.

6.4.3 Previsão de Necessidades

Faz-se necessário não somente recuperar parte das PCDs existentes, bem como aumentar o número delas, baseando-se num planejamento estratégico a nível nacional.

Isso requer o levantamento das necessidades reais a curto, médio e longo prazos, quanto ao número e tipo de PCDs, ou instrumentos isolados, para atender às diversas demandas. É de todo interessante que esse levantamento seja o mais abrangente possível incluindo as medidas hidrológicas, meteorológicas, climatológicas e de poluição ambiental, na perspectiva de formação de uma rede integrada para atender os interesses dos vários órgãos usuários, tais como ANA, Aneel, CPTEC, Inmet, MMA, MDIC e outros.

Tal levantamento deve observar as peculiaridades regionais e a diversidade de interesses dos órgãos envolvidos, levando em conta que há deficiências no atendimento de necessidades dos estados e que a situação ainda é pior nas pequenas bacias (onde freqüentemente falta uma definição mais precisa do que sejam as necessidades de medida).

A qualificação e a quantificação dessas necessidades irá permitir um planejamento estratégico integrado e dimensionar o tamanho do mercado para nortear uma política industrial na área.

7. OPÇÕES DE POLÍTICA INDUSTRIAL E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

7.1 CONSIDERAÇÕES ESTRATÉGICAS

Tendo em vista as condicionantes econômico-financeiras e institucionais expostas no item 4, fica excluída a política de substituição de importações como norteadora da indústria de equipamento de monitoramento hidrológico no país, seja em

unidades já em operação ou em unidades que venham a operar na área.

A orientação da indústria nacional de equipamento de monitoramento hidrológico terá de ser no sentido da autonomia tecnológica, o que deixa três opções principais para uma unidade industrial:

- empresa nacional autônoma com capacidade de desenvolvimento tecnológico,
- empresa nacional em parceria com instituição de pesquisa,
- subsidiária de multinacional, com acesso à tecnologia gerada na matriz.

Qualquer dessas opções deve ser acompanhada de estímulos que, ao mesmo tempo, fomentem um reduzido número de unidades industriais, evitem a proliferação de concorrentes com a conseqüente dispersão da capacidade de desenvolvimento e pulverização do mercado. Lembramos aqui que o mercado interno não proporciona escala para mais de uma empresa produzir equipamentos mais sofisticados, tais como instrumentos e que, mesmo assim ela deverá ser capaz de exportar competitivamente para estabilizar seu faturamento e sua equipe. Assim sendo, serão viáveis algumas empresas na área desde que produzam equipamentos diferentes, e/ou complementares.

A terceira opção envolve atrair uma multinacional que produza equipamentos cujas características os tornem relativamente interessantes para uso no país. Não é razoável esperar que nessa opção seja possível encorajar o desenvolvimento tecnológico local nem desenvolvimentos específicos para atender peculiaridades. Embora essas questões não sejam impossíveis, elas só ocorrerão se houver uma convergência acidental entre a estratégia da multinacional e o interesse local, o que é, em geral, pouco provável.

A segunda opção pode ser um estágio intermediário para viabilizar a primeira, estágio esse que pode se repetir ao longo do tempo sempre que a empresa necessitar de um esforço concentrado de desenvolvimento acima de suas capacidades. Portanto, é melhor considerar essa forma de trabalho como uma das opções à disposição da empresa para assegurar sua autonomia.

Na primeira opção, a autonomia tecnológica pode ser assegurada de três formas, sendo uma delas a examinada acima.

A compra de licenças de fabricação oferece uma possibilidade de economia de tempo para a entrada no mercado, mas traz junto a dependência e a ameaça de perda de controle que a acompanha. A autonomia só pode ser obtida se a compra de licenças é esporádica, associada a contratos de cooperação e apoiada por equipe de desenvolvimento interna com capacidade de desenvolvimento suficiente. Suficiente significa equipe com todo o “poder de fogo” para tornar a empresa uma concorrente competitiva de sua licenciadora após a compra de uma única licença para cada tipo de produto.

A compra de licenças, embora seja uma solução prática e rápida é, na mesma medida, uma solução perigosa para a empresa em desenvolvimento, já que a põe em contato com entidade mais poderosa cujo interesse estratégico é antagônico à formação de um concorrente. Esse perigo muda de significado se a intenção apriorística do empresário é vender sua empresa.

Na perspectiva das duas primeiras opções, é necessário o lançamento de projetos que ao mesmo tempo, fomentem uma dinâmica de desenvolvimento tecnológico sadia, e, coloquem ao alcance das empresas o lançamento de produtos competitivos.

Como orientação para esses projetos cabe ressaltar que não é necessariamente conveniente perseguir um nível de nacionalização de 100% desde o início. Isso significa que deve ser tentada, em primeira instância, a nacionalização do equipamento, mesmo que não seja possível a nacionalização imediata do sensor. Da mesma forma, na medida do possível seria tentada a nacionalização do sensor em etapa posterior, que poderia ainda deixar de lado a nacionalização de componentes críticos do mesmo para ser desenvolvido em uma terceira etapa.

Assim sendo, examinaremos abaixo algumas possibilidades de projetos que nos parecem promissoras.

7.2 PROJETOS SUGERIDOS

Os projetos apresentados satisfazem a maioria dos quesitos abaixo:

- 1) ter efeito importante sobre a viabilidade e/ou a qualidade do monitoramento de uma ou mais variáveis de interesse em monitoramento hidrológico;
- 2) ter perspectivas de escala de produção suficiente;
- 3) desenvolvimento ao alcance de uma equipe de engenharia nacional ou de uma parceria;
- 4) custo de desenvolvimento razoável face aos benefícios realizáveis em termos comerciais ou em termos de monitoramento;
- 5) ter chances razoáveis de colocar o produtor em condições competitivas no mercado internacional.

7.2.1 Linígrafo de Pressão por Borbulhamento

Conforme já examinado no item 4, esse instrumento tem grande apelo para instalações em que o custo da obra de implantação de um linígrafo de bóia é cara e em situações onde o meio líquido é agressivo para um sensor de pressão submerso. Além disso, se a linha para o sensor de pressão submerso é muito longa seu custo também se torna elevado.

As dificuldades desse desenvolvimento são relativamente pequenas: o projeto de um compressor de alta eficiência energética e o projeto de um dosador de ar que não seja vulnerável ao entupimento causado pela formação de gotículas de água provocada pela expansão de ar úmido.

O tipo de sensor de pressão manométrica utilizado para medir a pressão do ar injetado já é produzido no país com a qualidade e preço competitivos.

Precedente: linígrafo Nimbus da Ott Hydrometry.

Este projeto atende a todos os cinco quesitos acima.

7.2.2 Linígrafo de Pressão Autosuficiente

A necessidade de instalação de linígrafos em áreas particularmente vulneráveis ao vandalismo, combinada com as tendências de encapsulamento mencionadas no item 2, apontam para a definição de um projeto de linígrafo baseado em sensor de pressão autosuficiente.

Esse instrumento pode ser produzido em duas versões: com tubo capilar para a compensação da pressão atmosférica e sem esse tubo, caso em que deve ser usado em conjunto com um sensor barométrico para possibilitar a correção dos dados em nível dos arquivos de medidas.

No primeiro caso, a instalação demandaria um ponto fora da água para a acomodação da ponta do capilar com sua tomada de pressão atmosférica, o que o torna parcialmente vulnerável a vandalismo. O sensor a ser usado seria um sensor de pressão manométrica (diferencial).

No segundo caso, o instrumento ficaria totalmente submerso e, portanto escondido de qualquer ataque no fundo do corpo d'água. Usaria um sensor de pressão absoluta. Para a compensação da pressão atmosférica seria necessário um segundo sensor, barométrico, instalado em lugar protegido, nas proximidades. Como a distância entre os dois sensores pode ser de várias centenas de metros sem que se perca significativamente em exatidão da leitura da pressão atmosférica local, quase sempre será possível encontrar um lugar protegido para a sua localização. Se os arquivos de dados gerados pelos dois sensores forem sincronizados *a posteriori* poderão ser obtidas leituras de nível devidamente corrigidas e precisas.

Nos dois casos, o instrumento conteria seu *data logger* e uma bateria. Por razões de economia, a cápsula do instrumento deve ser projetada para permitir a substituição da bateria. (Não seria razoável tornar descartável um instrumento cujo custo unitário será da ordem dos US\$ 1.000)

Precedente: há instrumentos semelhantes de vários fabricantes²⁵, porém, nenhum com essa definição exata.

Este projeto atende a todos os requisitos acima.

7.2.3 Tanque evaporimétrico automático

A importância de medida da evaporação em locais com escassez de água é acompanhada pela atração que um tanque evaporando e seu suprimento de água exerce sobre os circunstantes. Em regiões como o semi-árido do nordeste brasileiro não só é necessário ter tanques operando como é necessário que sejam automatizados para aumentar a confiabilidade da manutenção do nível d'água e das medições.

As dificuldades de desenvolvimento são bastante pequenas, existindo no mercado nacional os sensores (existem sensores de pressão, de nível por ultrassom e outros que podem ser usados) necessários à leitura de nível e as válvulas e outros dispositivos necessários à manutenção da lâmina d'água. O desenvolvimento se reduz, basicamente a um problema de engenharia de sistemas, de integração de equipamentos.

O que não é trivial é o estudo do significado e dos erros de medida desses tanques em instalações que não serão exatamente conformes às normas da OMM.

Precedentes: tanques de vários fabricantes conforme nosso item 4.

Este projeto atende a todos os cinco quesitos acima.

²⁵ Exemplo: o Opeus da Ott Hydrometry (Ver Orpheus_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de/> (acesso 16/11/03))

7.2.4 Pluviógrafo de Balança Eletrônica

As vantagens desse tipo de instrumento, em particular a qualidade do monitoramento que proporcionam faz com que um projeto desse tipo seja altamente interessante.

As dificuldades principais do projeto são do desenvolvimento de uma balança eletrônica adequada e sua compensação de temperatura. Tal como no caso do tanque evaporimétrico, os sensores e acessórios necessários estão disponíveis no mercado nacional e é necessário um desenvolvimento de engenharia de sistemas.

Uma condição de projeto interessante que pode ser adicionada é a operabilidade desse instrumento a bordo de uma bóia de instrumentação, isto é, com a filtragem dos efeitos de oscilação sobre as leituras. (Ver projeto de bóia de instrumentação, na página seguinte).

Precedente: pluviógrafo Pluvio da Ott Hydrometry

Este projeto atende a todos os cinco quesitos acima.

7.2.5 Data Loggers

Este projeto deve contemplar uma família de cerca de três equipamentos.

Há grande campo de aplicação para um *data logger* de 10 bits, com um ou mais canais analógicos e um ou mais canais para sinais pulsados, trabalhando com taxas de amostragem da ordem de minutos, para uso na instalação de instrumentos independentes ou para postos com pequeno número de sensores.

Um outro *logger*, miniaturizado e necessitando de um só canal e com menos memória, poderia ser usado dentro de instrumentos auto suficientes ou instalado junto de sensores de menor custo em aplicações especializadas, porém numerosas.

O terceiro membro da família seria um *instrument controller* de uso geral em

PCD's, para dados de 12 bits com maior número de canais e com dispositivo de memória de massa do tipo *memory stick* ou similar. Sendo um *controller*, deveria ter, também, órgãos de saída para controlar outros dispositivos na PCD. Seria um equipamento mais caro e poderoso.

Precedentes: inúmeros em todas as faixas de valor e capacidade operacional. Há muitos precedentes para aplicação industrial na indústria nacional que poderiam ser adaptados ou re-projetados para uso em monitoramento.

Este projeto atende a todos os requisitos acima.

7.2.6 Bóia de instrumentação

A provável inexistência de fabricantes nacionais de bóias de instrumentação e a aplicação relativamente inovadora em quantidades interessantes no monitoramento de açudes, apontam para um projeto específico de bóia fundeada.

A bóia necessária para esse tipo de aplicação será, provavelmente, do tipo disco, de cerca de 2m a 3m de diâmetro, com uma estrutura inferior para pousar no fundo do corpo de água e um projeto de fundeio por duas ou três amarras para mantê-la centrada sobre o ponto do fundo escolhido (favorável ao pouso em açudes que secam). Deve ser preenchida com material leve para imunização contra perfurações e ser dotada de proteções que desencoragem o vandalismo e o uso indevido (como para a pesca ou a amarração de barcos).

O projeto deve levar em conta a proteção contra descargas atmosféricas e a instalação de uma bateria de painéis solares capazes de garantir o suprimento de energia levando em conta que a bóia terá certa liberdade de giro.

Esse tipo de bóia pode ser usada para a medida de nível d'água por ultra-som ou por sensor de pressão submerso e pode ser dotada de pluviógrafo que seja instalado ou projetado de modo a suportar variações de nivelamento.

As maiores dificuldades de desenvolvimento são a escolha do material de preenchimento e a extensa experimentação em campo, para verificar as características e as limitações funcionais.

Precedentes: diversos tipos de bóias fundeadas para monitoramento oceânico (ver fabricantes como Inter Ocean, Metaocean, Urethane Technologies).

Este projeto atende aos quesitos 1 a 4 acima. O mercado dificilmente poderá sustentar mais do que um fabricante auto-suficiente. Se o projeto for banalizado através de uma normatização talvez seja possível ter mais de um fabricante sem engenharia de desenvolvimento.

7.2.7 Medição de Vazão por Radar

Este projeto tem seu interesse suscitado pela economia na medição de vazão dos grandes rios do país. Porém seu custo é elevado.

A idéia seria de desenvolver o método de medição, e não o equipamento, seguindo a experiência do Serviço Geológico dos Estados Unidos conforme relatado no item 4, usando radares adquiridos e instalados em uma plataforma adequada (helicóptero ou avião).

As razões do custo elevado são óbvias, mas a aplicação extensiva aos grandes rios e aos locais de difícil acesso além da viabilização da medição em certas condições perigosas de cheia provavelmente mostrarão sua viabilidade. Por outro lado, aqui se trata de um projeto envolvendo mais de uma área de tecnologia sofisticada que poderão produzir benefícios colaterais.

Obviamente esse projeto teria de ser desenvolvido com a cooperação do ministério da aeronáutica, provavelmente, por intermédio do CTA.

Precedente: trabalho já citado do Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Este projeto atende aos quesitos 1, 3 e 4 acima.

7.2.8 Torres para Instalação Dentro do Corpo d'água

A busca por torres feitas no mercado nacional, nunca teve sucesso. Existem vários fornecedores de torres para antenas e linhas de transmissão que são

mercados, obviamente, muito maiores do que o mercado de monitoramento hidrológico. A resposta de alguns desses fabricantes é boa, mas não têm experiência do problema. Falta uma pesquisa que resulte em projetos adequados não só no que diz respeito às torres, mas também às formas de alicerçá-las e de montá-las.

Aqui, existe uma necessidade clara de normas e de projetos padronizados que pudessem levar à solução, pelo menos, dos problemas mais freqüentes. Obtidos alguns modelos padronizados eles poderiam ser disponibilizados aos fabricantes existentes de torres terrestres, no caso de torres grandes, ou de bons serralheiros, no caso de torres de menor porte.

O benefício desses projetos viria menos da viabilização ou da redução de custos de instalação (por que, bem ou mal elas são feitas), mas da economia de perdas de equipamentos devidas à queda de torres sem falar nos acidentes de instalação.

As dificuldades desses projetos são várias a começar pela classificação dos problemas, passando pela necessidade de extensa, variada e demorada experimentação e no que diz respeito a formas de torre e a problemas de alicerce.

Precedentes:

Este projeto atende aos quesitos 1 a 4 acima. Como vantagem, aqui não é necessário viabilizar empresas, abrir-se-ia um novo mercado para as que já existem.

7.2.9 Sistema Nacional de Telemetria Via Satélite

Um projeto desse tipo é, obviamente de dimensões muito grandes e não tem a menor possibilidade de ser justificado somente pelas necessidades de monitoramento hidrológico. Para atender somente a essas necessidades, onde não houver cobertura de telefonia celular pode-se, eventualmente, justificar o custo do rádio enlace. Levadas em conta outras demandas, pode ser que, algum

dia, tal projeto venha a se justificar. De qualquer maneira a área de recursos hídricos, dado seu valor estratégico e a utilidade de um tal sistema, é contribuinte para uma tal justificativa.

7.2.10 Instrumentos de Qualidade da Água

Embora o presente estudo não tenha incluído extensivamente o monitoramento de qualidade da água, é consenso entre os especialistas que os instrumentos de qualidade devem ser incluídos em estudos da rede, não devendo ser separados da parte hidrométrica.

É consensual, também, que os instrumentos para o monitoramento dos parâmetros básicos, temperatura, ph, condutividade e oxigênio dissolvido, com possível acréscimo de turbidez são utilizados em números que provavelmente justificam um esforço de nacionalização semelhante aquele considerado para os instrumentos hidrométricos. Da mesma forma são considerados os instrumentos para a medida de umidade e temperatura do ar.

Nessa situação é interessante pré-definir um projeto de sonda de qualidade para os parâmetros básicos. Alternativamente, em vez estarem integrados em uma sonda, os sensores poderiam ser produzidos separadamente, para conexão ao *logger* de uma PCD. Note-se, de passagem, que as medições de condutividade implicam em medições de temperatura e que as medições de ph geralmente usam eletrodos em comum com a medida de condutividade.

Precedentes: existem no mercado diversas sondas integradas para uso em campanhas de medição e alguns fabricantes produzem conjuntos adequados para monitoramento permanente²⁶. Existe, por parte de certos fabricantes, uma distinção entre as sondas para as medidas básicas e as sondas múltiplas para medida de oito ou mais parâmetros.

Este projeto atende a todos os requisitos acima, com dúvidas sobre 4 e 5.

²⁶ Exemplo: a sonda Quanta da Ott hydrometry (ver Quanta_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de/> acesso 16/11/03)

7.2.11 Sistemas de Medida da Evapotranspiração por Covariança em Vórtices (eddy covariance)

Este projeto entra na mesma área de monitoramento do projeto do tanque evaporimétrico descrito no item 7.2.3, mas, tecnologicamente, é completamente diferente: trata-se de um sistema de instrumentação de grande porte que é instalado em torres se elevando vários metros acima da camada de vegetação e dotadas de instrumentos em diversas alturas.

Os instrumentos são divididos em dois grupos: os que medem parâmetros de baixa frequência de variação como temperatura e radiação e os que medem parâmetros de alta frequência de variação como a velocidade vetorial do ar medidas por anemômetros de ultra-som e as concentrações de água e CO₂

O interesse aqui não é fabricar os instrumentos, pois esses não atingiriam escala comercial em um futuro previsível, mas integrar o sistema usando alguns componentes nacionais mais simples e penetrando a fundo nos detalhes do método de medida. Isso caracteriza esse projeto mais como um projeto de pesquisa do que como um projeto industrial.

Precedentes: projetos semelhantes conduzidos por diversas entidades públicas ou não nos Estados Unidos, como o Ameriflux.²⁷

Este projeto atende os requisitos 1, 3 e 4.

²⁷ Ver Informações sobre o projeto Ameriflux disponíveis em <http://nigec.ucdavis.edu/publications/annual99/southeast/SEChanton0.html> (acesso em 16/11/03)

8. IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS NACIONAIS PARA O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE EQUIPAMENTO

8.1 CONDIÇÕES BÁSICAS

Os potenciais de desenvolvimento e produção de equipamento no país são, antes de tudo, condicionados pelas quantidades anuais prováveis de cada tipo de equipamento, isto é, pelo potencial de mercado. Examinando-se as tabelas 1 e 6 do capítulo 6, vê-se que as densidades das redes pluviométrica e fluviométrica nacionais, deixam muito a desejar, face às densidades recomendadas pela OMM (tabelas 3, 4 e 5).

É obvio que um cenário pessimista, em que as redes não cresçam ou cresçam pouco, restringindo-se a demanda à reposição, não haverá mercado suficiente para viabilizar produções nacionais.

Imaginando-se um cenário de crescimento que provoque uma demanda anual de algumas centenas de instrumentos de cada tipo, a fabricação pode ficar viabilizada desde que as compras sejam concentradas. Como as aquisições são feitas majoritariamente por entidades públicas, estão sujeitas a licitações que, como vimos no capítulo 4, tendem a desconcentrar as compras.

Mesmo em um cenário otimista, é preciso organizar a produção de modo que, por um lado, não haja concorrência interna (cada tipo de instrumento deverá ser produzido somente por uma empresa nacional) e, por outro lado, as produções sejam competitivas com os similares estrangeiros. Assim, as empresas nacionais teriam condições de vencer as licitações no Brasil e ainda exportar equipamento para ganhar escala e assegurar estabilidade de faturamento.

Tudo o que segue pressupõe que estas duas condições sejam obtidas.

Por outro lado, é preciso dimensionar melhor o mercado para cada tipo de equipamento para subsidiar minimamente os estudos e as decisões necessárias para a concretização de qualquer ação no sentido de lançar produções industriais.

Nesse sentido, é necessário o levantamento das necessidades reais a curto,

médio e longo prazo, conforme já mencionado no item 6.4.3, levando-se em conta a probabilidade de se satisfazer efetivamente às demandas, isto é, levando-se em conta as disponibilidades orçamentárias reais que efetivamente serão convertidas em aquisições.

Conforme já mencionado, também no item 6.4.3, é de todo interessante que esse levantamento seja o mais abrangente possível incluindo as medidas hidrológicas, meteorológicas, climatológicas e de poluição ambiental, pois isso tenderia a aumentar as escalas de fabricação. Entretanto, é preciso levar em conta que esse efeito de escala pode não ser tão positivo já que, abrangendo mais tipos diferentes de necessidades, também se aumenta a diversidade de equipamentos necessários para atendê-las.

8.2 POSSIBILIDADES DE DESENVOLVIMENTO DE FABRICANTES NACIONAIS

Todas as possibilidades aqui examinadas partem do pressuposto da existência de um mercado relativamente aberto às importações e, portanto, do real abandono da política de substituição das importações, conforme já examinado no capítulo 4. Pressupõe, também, que é improvável uma mudança sensível na legislação de licitações de tal modo a favorecer o surgimento de um fornecedor estratégico, motivada pela comunidade dos recursos hídricos.

8.2.1 Empresa Nacional de Hidrometria

A fabricação nacional pode ser imaginada concentrada em uma única empresa de hidrometria semelhante a OTT ou a Nortek. Aumentando gradativamente sua escala, no futuro poderia concorrer com empresas deste tipo no mercado internacional. Uma empresa assim poderia chegar a ter faturamento suficiente para lançar atividades autônomas de pesquisa e desenvolvimento e manter-se em dia com o estado da arte internacional.

Mesmo nessa hipótese, ela teria de iniciar sua atividade em tecnologia mais avançada, apoiada em cooperação com universidades e institutos de pesquisa fazendo uso de fundos públicos para pesquisa (como por exemplo, os fundos setoriais), para o desenvolvimento de seus primeiros projetos.

A compra de licenças de congêneres estrangeiras é desaconselhada por diversas razões e, também, porque as congêneres já serão concorrentes desde as primeiras licitações. Aliás, convém assinalar que a compra de licenças é sempre perigosa, pois o objetivo da congênere é o de criar dependência para depois anexar a licenciada, e isso tem sido o usual nos países subdesenvolvidos. Para evitar isso, é preciso que a licenciada seja muito competente e agressiva de modo a conseguir forçar a licenciadora a transferir conhecimentos apesar desta saber que a licenciada será, em seguida, sua concorrente. Quando se consegue esse clima de transferência, o preço da licença sobe vertiginosamente. Deveria, também, organizar-se para adquirir no mercado nacional, sempre que possível, partes e peças de que necessite para suas produções. Assim deveria recorrer a fabricantes nacionais de sensores, de equipamento eletrônico de registro, de equipamento de telemetria, etc. Esse empenho em autonomia deve existir para afirmar o valor estratégico da empresa e, assim, justificar a utilização de fundos públicos.

Na medida do possível, a empresa deveria integrar à sua atividade a produção de equipamentos mais básicos e de peças de reposição para a rede existente, incluindo a associação e/ou cooperação com empresas existentes que fazem isso. Aliás, uma hipótese interessante seria que tal empresa se desenvolvesse a partir de uma empresa nacional existente e atuante na área.

8.2.2 Diversas empresas atuando cooperativamente

Um modelo algo difícil de implantar seria baseado em várias empresas atuando de modo que cada uma concentre toda a produção nacional de cada tipo de equipamento, evitando concorrer (e assim pulverizar a escala de produção) com as co-irmãs.

Esse resultado pode ser mais facilmente obtido por empresas que já produzem

itens de tecnologia semelhante e que encarem a área de hidrometria como uma diversificação de seus respectivos mercados. Nesta hipótese pode-se imaginar, por exemplo, que uma empresa que produza sensores de pressão passe a produzir linígrafos baseados neles, ou que uma empresa de balanças eletrônicas passe a produzir pluviógrafos de balança.

Para facilitar o desenvolvimento das primeiras gerações de produtos, o mesmo esquema de cooperação com entidades de pesquisa, acima proposto, pode ser adotado.

Esse modelo tem a desvantagem de dividir as produções e de não resultar num fornecedor mais integrado às atividades da área de recursos hídricos. Mas tem a vantagem de, integrando a produção de instrumentos de monitoramento hidrológico com outras produções, melhorar as possibilidades de aumento de escala de forma a tornar opcional a entrada no mercado internacional.

Note-se que existem atuando no país diversas empresas, algumas bastante autônomas e de certo porte, atuando nas áreas de instrumentação e automação industrial, que poderiam ser candidatas a participar desse modelo.

8.2.3 Cooperação com Empresa Estrangeira

Embora essa hipótese seja improvável e irá de encontro com diversas considerações estratégicas, ela precisa ser examinada.

Uma empresa estrangeira pode ter interesse em colaborar com uma empresa nacional, inclusive com licenciamento e transferência de conhecimento²⁸, se isso propiciar um volume temporário de negócios no mercado nacional, que seja compensador embora limitado. As condições para isso, via de regra, só podem ser conseguidas à sombra de um grande contrato de fornecimento em que o governo imponha condições. Isso acontece em compras bilionárias, por exemplo, de material de defesa.

²⁸ Note-se que evitamos aqui os termos “compra de tecnologia” porque essa idéia é incorreta e, tal transferência é impossível. “A tecnologia é um fluxo e não um bem e, como tal, não pode ser vendida.” Essa idéia é de Celso Furtado e contempla, adequadamente, o fato de a tecnologia ser uma dinâmica de crescimento de conhecimento. A compra de licenças é compra de projetos, não de tecnologia, e o licenciado só “adquire tecnologia” se adquirir a mesma proficiência do licenciador para fazer o fluxo continuar avançando o que o torna um concorrente imediato.

Em outras condições uma associação entre uma empresa estrangeira detentora de tecnologia interessante e uma nacional carente da mesma tecnologia que queira ser autônoma tem poucas chances de se realizar. É mais fácil, uma empresa nacional com certo “poder de fogo” adquirir uma empresa estrangeira que esteja em más condições financeiras embora seja tecnologicamente interessante. Isso já aconteceu algumas vezes, mas é evento puramente aleatório.

8.2.4 Estimular a Implantação de Filial de Empresa Estrangeira

Esta hipótese tem pouco valor estratégico, mas resulta em produção dependente local que pode trazer vantagens econômicas e de logística. Não parece enquadrar-se no espírito desse estudo.

8.2.5 Criação de uma Empresa Pública para o Desenvolvimento e Produção de Equipamento para Monitoramento Hidrométrico

Em época de forte influência do pensamento liberal e de afirmação de economias de mercado, quando já vão longe os tempos de desenvolvimentismo nacionalista, é, praticamente, anacrônico levantar essa hipótese. Apesar da viabilidade política quase nula, a viabilidade econômica e técnica de um tal modelo pode ser relativamente fácil de estabelecer. E, em função disso, essa hipótese deve ser contemplada.

Em apoio a essa hipótese, considere-se que o recurso água é o mais vital de todos e que o Brasil é detentor de um “excesso” de mananciais e, portanto, esse recurso, estratégico por natureza, torna-se alvo de atenção internacional também excessiva.

Considere-se, também, que existe um conjunto de entidades públicas nacionais administrando e explorando o recurso, como geradoras de energia, institutos de pesquisa, órgãos de monitoramento e proteção, etc. E que a experiência da

presença privada entre as geradoras de energia é de mérito e resultados, no mínimo questionáveis.

Considere-se, finalmente, que os investimentos em muitos desenvolvimentos na área de recursos hídricos são de retorno a longo prazo e, por isso, não interessam à iniciativa privada como também interessam relativamente pouco a conservação e a preservação desses recursos, cujo significado também só será percebido a longo prazo.

Em vista disso, e sendo a água definida como um recurso público e monitorada basicamente por uma rede pública, não parece contraditório que o instrumental necessário para esse monitoramento e controle possa ser produzido, também, na área pública.

Essa hipótese pode se tornar mais atraente, se a missão de produzir esses equipamentos fosse atribuída a uma ou mais das entidades já existentes.

8.3 CONDIÇÕES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

No que diz respeito aos projetos que devem ser desenvolvidos para possibilitar uma produção local de equipamento de monitoramento hidrológico atualizado, podem se distinguir duas categorias: os equipamentos de tecnologia mais acessível, cujo desenvolvimento envolve custos relativamente baixos, da ordem de dezenas ou centenas de milhares de dólares e os que envolvem custos relativamente elevados, na faixa dos milhões.

No primeiro caso estão todos os instrumentos mais simples como pluviógrafos, linígrafos, velocímetros ou tanques de evaporação. No segundo estão os métodos que, como a medição de vazões por radar envolve o uso de recursos caros como, por exemplo, um helicóptero, ou que envolvem pesquisas básicas de elementos sensores ou fenômenos físicos.

Tanto uns como os outros podem ser levados adiante no país com recursos razoáveis já que existem nas universidades, institutos de pesquisa e,

eventualmente, em alguma empresa pública ou privada as capacidades e competências necessárias.

Entre universidades e institutos de pesquisa estão em andamento numerosos projetos de instrumentação de muitos tipos diferentes e qualquer instrumento necessário ao monitoramento hidrológico pode ser alvo de editais de projetos de pesquisa: provavelmente aparecerá mais de um candidato para qualquer deles.

Entre os projetos de baixo custo, incluem-se o de uma bóia de instrumentação e os projetos de torres para instalação dentro da água.

No caso das torres, o mais interessante seria o desenvolvimento de uma família coerente de torres para cobrir todo o espectro de necessidades. Desse trabalho deveria resultar uma norma com projetos padronizados de torres que viabilizasse a sua produção com qualidade adequada em qualquer serralheria bem instalada. A experiência necessária para isso existe em grandes operadores como a CPRM e o conhecimento de engenharia para esse tipo de projeto é bastante corrente.

Já em projetos de alto custo como aqueles envolvendo o uso de radar, a atmosfera é mais rarefeita. Nos anos 80 existiu um grupo forte no CTA (Centro Tecnológico Aeroespacial) que trabalhou em desenvolvimento de radar. Hoje, no mesmo instituto existem vários laboratórios de eletrônica e um de antenas que poderiam colaborar num tal esforço. Além disso, em se tratando da integração de equipamento a uma plataforma de vôo, tanto o CTA como a Embraer e algumas empresas da área aeronáutica possuem as competências necessárias. Talvez o mais difícil seja mobilizar esse potencial em torno de um projeto de uma área “exógena”.

8.4 VIABILIZAÇÃO DE DESENVOLVIMENTOS POR MEIO DE PROJETOS PILOTO PARA A REDE DE MONITORAMENTO

Uma forma de viabilizar e estimular projetos de desenvolvimento tecnológico consiste na instalação de redes de monitoramento como projetos-piloto. A idéia é fazer a substituição ou o acréscimo de uma parte de uma rede pública federal ou estadual utilizando instrumentos de última geração incluindo no projeto verbas e

um tempo para desenvolvimento de parte significativa do equipamento a ser utilizado.

O processo pode ser levado por etapas coerentes, desenvolvendo-se uma parte do equipamento em cada etapa de instalação, fazendo com que os resultados, em termos de nacionalização, se acumulem ao longo do processo.

Esse tipo de proposta permite integrar num mesmo esforço um instituto de pesquisa ou uma universidade e uma empresa, em que ambos colaborem em termos de serviços e a última produza os equipamentos já como licenciada.

9. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Para complementar ou enfatizar considerações feitas acima, principalmente as dos capítulos 4, 7 e 8, seguem-se sugestões e recomendações de caráter mais geral.

Uma primeira necessidade estratégica básica para viabilizar um esforço industrial na área de equipamentos de monitoramento hidrológico é a reforma da legislação de licitação conforme arrazoado contido no item 4.3 incluindo sugestão de modificação provisória do Art 24, inciso XXI, da Lei 8.666 contida no mesmo item.

A prática da implantação de redes de monitoramento e a diversidade de suas finalidades específicas faz com que seja impossível a existência de uma rede única consensual para atender a todos sem duplicações de equipamento. Também é pouco provável, que se consiga um modelo de gestão integrada das redes aceitável pela maioria. Entretanto, é consensual que as redes e os postos avulsos devem ter certo tipo de integração para possibilitar as trocas e cruzamentos de dados, a redução de custos de equipamentos e instalações e a formação de um mercado nacional de equipamentos e serviços mais forte porque mais coerente.

Para realizar o levantamento das necessidades reais a curto, médio e longo prazos, quanto ao número e tipo de PCDs, ou instrumentos isolados, para atender às diversas demandas, sugere-se a formação de um Conselho composto por representantes técnicos dos órgãos envolvidos. Esse levantamento deverá levar em conta as tendências de evolução da legislação ambiental, pois ela terá enorme impacto sobre as demandas de monitoramento.

A partir do levantamento das necessidades é preciso definir a demanda real provável, isto é, como essas necessidades serão efetivamente satisfeitas (ou não), para que se possam fazer projeções de vendas.

Convém frisar que o gargalo principal é o fluxo de recursos.

Por outro lado, é consensual a necessidade de pensar uma política mais global para a integração e o crescimento das redes levando em conta as diversidades regionais e de interesse dos usuários.

O importante é que as ações devem fluir de acordo com um planejamento estratégico integrado e consolidado a nível nacional, obedecendo às peculiaridades regionais e dos usuários, para que, no futuro, resultem numa rede nacional otimizada.

Seguindo-se as orientações descritas nos capítulos 7 e 8, é possível pensar em uma política de nacionalização baseada em projetos reunidos em programas:

- Pesquisa sobre aquisição de dados (agências, universidades e centros de pesquisa);
- Desenvolvimento de sensores (empresas de instrumentação, universidades e centros de pesquisa);
- Desenvolvimento de equipamento de registro e telemetria (empresas de eletrônica, universidades e centros de pesquisa);
- Desenvolvimento de normas para padronização de dados e de equipamentos para instalações (universidades e centros de pesquisa, representantes do setor industrial e ABNT).

Os direitos sobre a propriedade intelectual, advindos dos projetos, poderão ser compartilhados entre a financiadora, a executora e a empresa interveniente.

Podem ser iniciados desenvolvimentos baseados em núcleos regionais mais avançados que poderiam produzir resultados mais rapidamente e com menor custo.

Como diretriz estratégica, todos os programas deverão ter em comum uma orientação voltada para a modernização e a integração das redes de monitoramento com base em uma nacionalização com redução de custos.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Na ordem das citações:

PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM ESTRUTURAS EDIFICADAS, de Geraldo Kindermann reprodução permitida por cortesia do autor.

CRESESB. “Atlas Solarimétrico do Brasil” - CEPEL - COPPE – UFRJ: dados disponíveis em <http://www.cresesb.cepel.br>.

Lei 8666, de 21 de Junho de 1993 disponível em

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm (acesso 21/09/03)

Catálogo Nimbus_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de> (acesso 19/09/03)

Página Orphimedes disponível em

<http://www.ott-hydrometry.de/english/cmcs/home.htm> (acesso em 14/10/03)

Catálogo Kalesto_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de> (acesso 19/09/03)

MORLOCK, S. E. “Hydroacoustic Current Meters For The Measurement Of Discharge In Shallow Rivers And Streams” disponível em

http://hydroacoustics.usgs.gov/reports/SEM_paper.pdf (acesso 11/09/03)

SANTOS, Irani et alii. “Hidrometria Aplicada” LACTEC: Curitiba, 2001.

COSTA J. E. et alii. “Looking to the future: non-contact methods for measuring streamflow” disponível em <http://hydroacoustics.usgs.gov/reports/CostaASCE-Estes%20Park%20paper.pdf> (acesso 11/09/03)

BJERKLIE, D. M. et alii., 2002, “An approach to estimating river discharge from space” disponível em <http://hydroacoustics.usgs.gov/reports/bierklepaper.pdf> (acesso 11/09/03)

Catálogo Pluvio_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de> (acesso 19/09/03)

TUCCI, C. E. M. E BELTRAME, L. F. S. “Evaporação e evapotranspiração” in TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia, Ciência e Aplicação. 3ª Ed. Porto Alegre, Editora UFRGS/ABRH 2002 p. 265

Catálogo Global Water disponível em http://www.globalw.com/evap_pan.html (acesso em 19/09/03)

Catálogo Rickly Hydological Company disponível em <http://www.rickly.com/MI/3590.htm> acesso em 19/09/03

CHEVALIER, P. “Aquisição e processamento de dados” in TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia, Ciência e Aplicação. 3ª Ed. Porto Alegre, Editora UFRGS/ABRH 2002 p. 523.

IBIAPINA^a V. et alii. "Evolução da Hidromentria no Brasil" in O Estado das Águas no Brasil., ANEEL disponível em

<http://www.mma.gov.br/port/srh/ACERVO/publica/doc/oestado/texto/121-138.html>
(acesso 27/08/03)

Sistema Hidro, disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>

ANA, disponível em www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/default2.asp
(acesso em 05/10/2003)


OMM. "Guia de Práticas Hidrológicas. Volumen I – Adquisición y Proceso de Datos". OMM: Genebra,-Suíça, 1984. 280p.

SANTILLI, J. F. R. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) e sua Implementação no Distrito Federal., disponível em www.fesmpdf.org.br/revistas/17_06.pdf (acesso em 30/09/03)

Catálogo Orpheus_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de/> (acesso 16/11/03)

Catálogo Quanta_english.pdf disponível em <http://www.ott-hydrometry.de/> (acesso 16/11/03)

Informações sobre o projeto Ameriflux disponíveis em <http://nigec.ucdavis.edu/publications/annual99/southeast/SEChanton0.html>, (acesso em 16/11/03)



Prospecção Tecnológica
Recursos Hídricos

Clima e Recursos Hídricos

Documento Final

Robin Thomas Clarke
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Pedro Leite da Silva Dias
Instituto Agrônômico e Geofísico
Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. O ESTADO ATUAL DOS SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO	5
2.1 MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO.....	5
2.2 MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO DA EVAPORAÇÃO	12
2.3 MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO DA VAZÃO EM RIOS	15
2.4 MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	16
2.5 MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DO SEDIMENTO TRANSPORTADO EM RIOS.....	17
2.6 OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS	18
2.7 CONCLUSÕES.....	19
3. O USO DE DADOS NA MODELAGEM HIDROLÓGICA DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS	21
3.1 MODELOS HIDROLÓGICOS UTILIZADOS PARA PREVISÃO OPERACIONAL.....	21
3.2 MODELOS HIDROLÓGICOS DISTRIBUÍDOS.....	24
3.3 MODELOS DE PREVISÃO ATMOSFÉRICA	27
3.4 USO COMBINADO DE MODELOS HIDROLÓGICOS COM MODELOS CLIMÁTICOS EM PESQUISA	32
3.5 USO DE MODELOS HIDROLÓGICOS DISTRIBUÍDOS NO PLANEJAMENTO URBANO.....	34
3.6 A REGIONALIZAÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS.....	36
3.7 A ESTIMAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA NO FUTURO DE EVENTOS IMPORTANTES PARA A GERÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS	38
4. NECESSIDADES PARA ESTRUTURAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO FUTURO	39
4.1 ATIVIDADES NECESSÁRIAS PARA MELHORAR AS ESTRUTURAS JÁ EXISTENTES .	39
4.2 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS.....	40
4.3 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO CRESCIMENTO URBANO NO REGIME DE PRECIPITAÇÃO	42
4.5 ESTUDOS DE LONGO PRAZO EM BACIAS PROTEGIDAS PARA CONHECER MELHOR OS FATORES QUE INFLUENCIAM A COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA NOS SISTEMAS HÍDRICOS BRASILEIROS, E A SUA ESTRUTURA BIOLÓGICA.	47
4.6 INTEGRAÇÃO COM TRABALHOS JÁ EM ANDAMENTO	52
5. RECOMENDAÇÕES PRIORIZADAS	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste documento é contribuir para discussões sobre as necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros, quanto aos recursos hídricos, através de uma análise da capacidade existente e com sugestões de uma proposta de investimento de curto e longo prazo em nível de pesquisa e desenvolvimento. A estrutura do trabalho é dividida em quatro partes:

- Levantamento das observações atualmente disponíveis e do monitoramento agora efetuado na gerência dos recursos hídricos brasileiros, das limitações nos sistemas de monitoramento e na disponibilidade dos dados que permitem avaliação das características dos recursos hídricos;
- Levantamento dos usos para os quais os dados hidrológicos e meteorológicos são empregados, e das extensões possíveis;
- Definição de estruturas de observação e monitoramento necessárias, e quais áreas de conhecimento devem ser mais desenvolvidas, para preparar o país para possíveis cenários de mudanças ambientais que possam ocorrer no futuro, e que possam influenciar a distribuição e disponibilidade dos recursos hídricos.
- Uma lista das prioridades necessárias para ampliar o conhecimento das quantidades e a qualidade dos recursos hídricos.

A análise da estrutura observacional existente foi baseada no conhecimento que os autores têm do sistema observacional hidrometeorológico no Brasil, das instituições de pesquisa e ensino e algumas visitas a instituições que mantêm redes de observação hidrometeorológicas ou que sejam usuárias de informações e análise de material publicado sobre o tema no Brasil. Em particular, foram visitadas a Agência Nacional das Águas (ANA), a Operadora Nacional do Sistema (ONS), a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Também foram consultados o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe/CPTEC); a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa),

quanto às necessidades futuras de monitoramento hidrometeorológico para atendimento da demanda de informações sobre recursos hídricos; além dos diversos programas estaduais de Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH), que resulta do esforço conjunto do governo federal, através do Ministério da Ciência e Tecnologia, dos governos estaduais e dos países da América do Sul para aprimoramento dos serviços hidrometeorológicos.

2. O ESTADO ATUAL DOS SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO

É preciso considerar, separadamente, os recursos de água superficial na forma dos rios, lagos, reservatórios e várzeas, e os recursos de água subterrânea. Tanto os recursos hídricos superficiais como subterrâneos são conseqüências dos processos atmosféricos de precipitação e evaporação, que necessitam redes instrumentais para o monitoramento destes processos. É necessário também mencionar os aspectos relacionados não somente às redes instrumentais e a qualidade das observações, mas também as estruturas administrativas que têm responsabilidade pela precisão, controle de qualidade e divulgação dos dados.

2.1 MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A Agência Nacional de Águas (ANA) publica informações compreensíveis da rede instrumental para a observação de precipitação. Atualmente, a rede básica é composta por 2.448 estações, mas a distribuição espacial é muito variável. Adicionalmente, existem mais 5.789 estações operadas por outras entidades. A distribuição é mais densa nos estados altamente urbanizados (São Paulo: uma estação por 169 km²; Distrito Federal, uma por 166 km²; Paraná: 214 km²; etc). Em contraste, o Amazonas tem uma estação por 7.829 km², Pará uma por 5.528 km², e Mato Grosso uma por 4.637 km². As durações dos períodos de observação também são variáveis. De importância especial são as estações que têm longos

registros, porque estes devem ser utilizados para a detecção de tendências nos regimes de precipitação, talvez em consequência de mudanças climáticas ou da variabilidade climática natural de longo prazo.

A ANA identificou 163 estações com registros de mais de 40 anos que poderiam ser utilizados para estudar tendências nos regimes da precipitação no país; por causa de problemas administrativos estes dados essenciais ainda não estão disponíveis para pesquisa. Um dos problemas com a validação dessas séries longas é que não existem informações precisas sobre mudanças na exposição dos instrumentos, causadas por construção de prédios ou crescimento de vegetação. Portanto, é difícil distinguir efeitos climáticos dos efeitos impostos pelas mudanças locais. Algumas séries bastante longas (mais de 100 anos) de precipitação estão disponíveis no Nordeste (em particular em Fortaleza e Quixeramobim, no Ceará) e que deram origem a vários trabalhos científicos sobre o regime de chuvas do NE (Nobre e Shukla 1996; Xavier et al. 2000), Campinas/SP (Cavalli, Guillaomon e Serra Filho 1975) e São Paulo/SP (Xavier et al 1992, 1994) também têm series centenárias de precipitação, entretanto, nem sempre exatamente no mesmo local.

A grande maioria das estações na rede básica de monitoramento de precipitação observam apenas os totais diários. Observações da intensidade da precipitação também são importantes para o planejamento de redes de drenagem urbana e para os estudos da erosividade em áreas agrícolas. Conforme as informações da ANA, existem 1.612 estações com dados sobre a intensidade da precipitação, mas os dados nem sempre são divulgados para uso geral. Muitos dos dados foram obtidos a partir de pluviógrafos que registraram as observações em fita de papel, e relativamente poucas destas fitas foram processadas na forma digital que permite análise e interpretação por computador. A análise destes dados é importante por vários motivos, especialmente no contexto urbano: é necessário estabelecer as relações entre as durações de precipitações intensas, e as suas frequências de ocorrência, para facilitar o planejamento de sistemas de drenagem. Os dados pluviográficos também são necessários para determinar se a expansão em áreas urbanizadas influencia o regime da precipitação.

Além de dados pluviográficos, existem radares meteorológicos no Brasil que podem fornecer informações sobre a intensidade da precipitação e distribuição espacial, conforme apresenta a Tabela 2.1. Existem cinco radares em operação no Estado de São Paulo. A Unesp/Bauru opera dois radares de banda S (10cm), Doppler (mede o vento radial) em Bauru e Presidente Prudente (dados disponíveis no www.ipmet.unesp.br). O Daee opera um radar banda S simples em Ponte Nova que monitora a bacia urbana de São Paulo (<http://www.publico.saisp.br/geral/radar1.htm>) e um radar de apoio à navegação aérea em São Roque (também banda S), não disponível para o público em geral. Há também um radar operado pela Univap, em São José dos Campos (<http://www.labmet.univap.br/>). O Sistema Meteorológico do Paraná/Simepar opera um moderno radar banda S perto de Curitiba (www.simepar.br).

Instituição/Local	Quantidade
Unesp/Bauru	01
Unesp/Presidente Prudente	01
Daee/Ponte Nova	01
Daee/São Roque	01
Univap/São José Dos Campos	01
Simepar/Curitiba	01
Funceme/Fortaleza	01

Tabela 2.1 - Radares meteorológicos existentes no Brasil

O Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) mantém um radar banda S em operação (www.ufpel.tche.br), e a Fundação Cearense de Meteorologia opera de forma não regular um radar banda X (3 cm) para monitoramento de nuvens em Fortaleza. O sistema de proteção ao tráfego aéreo está em processo de renovação de sua rede de radares. No caso da região amazônica, o Sistema de Proteção da Amazônia (Sipam) (www.sipam.gov.br) está em processo de instalação de vários radares (Belém, Manaus, Porto Velho, Boa Vista, Tabatinga, São Gabriel da Cachoeira, além dos radares já em operação em Porto Alegre, Petrópolis e Brasília. Os radares

operados por instituições de ensino ou pesquisa mantêm um banco de dados digital. Entretanto, os radares operacionais para controle de tráfego aéreo não estão dotados de um sistema de armazenamento contínuo que possa ser usado de forma digital. A calibração operacional desses radares também é problemática pois existe a manutenção de uma rede pluviométrica de superfície de alta densidade, o que em geral somente é feito por períodos curtos em função dos custos. O monitoramento da precipitação via satélite está disponível em tempo real em várias instituições americanas (por exemplo, <ftp://140.90.195.110/pub/arad/ht/gilberto/BSL>) e no CPTEC (www.cptec.inpe.br). Entretanto, esses tipos de dados subestimam a precipitação produzida por nuvens estratiformes (baixas) que representam significativa porcentagem das chuvas observadas em algumas regiões, como as tipicamente observadas no litoral do Nordeste. Resultados recentes, provenientes do programa “*Large Scale Biosphere Atmosphere Interaction in the Amazon*” (LBA) (Nobre et al. 1996 e disponível no site <http://lba.cptec.inpe.br/lba/>) indicam que em certos períodos mais chuvosos durante o verão, até 50% do total pluviométrico é proveniente de nuvens estratiformes cuja precipitação é subestimada pelos satélites passivos (por exemplo, aqueles que estimam a chuva pela radiação de onda eletromagnética emitida por nuvens).

Grande expectativa existe com relação ao uso de radares (i.e., sensoriamento remoto ativo) à bordo de satélites, como no caso do programa “Tropical Rainfall Measurement Mission” (TRMM), da Nasa/EUA, em cooperação com a National Space Development Agency of Japan (www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/index_e.htm). O TRMM produz estimativas de precipitação via satélite duas vezes ao dia em cada local, que podem ser usadas para calibração dos métodos passivos baseados no monitoramento de satélite de órbita polar. Entretanto, tanto os sensores ativos como os passivos também requerem redes terrestres para calibração, de alta resolução, e com dados disponíveis com alta frequência temporal e em tempo real, o que coloca restrições operacionais significativas. Os dados pluviométricos via satélite apresentam algumas restrições significativas com relação à resolução espacial e temporal. Em geral, a precisão desses métodos é maior para grandes áreas (da ordem de 100 x

100 km) e escalas de tempo mais longas (pelo menos três horas e melhor ainda no que se refere às estimativas das acumulações mensais).

Uma outra restrição muito importante no uso das estimativas de precipitação via satélite reside na frequência temporal das informações. O satélite com melhor ângulo de visão da precipitação no Brasil é o Goes-8 operado pela Noaa. O satélite europeu da série Meteosat observa apenas a parte leste do Brasil e o Atlântico. O Goes-8 fornecia informações em intervalos de aproximadamente 30 minutos até dois anos atrás, na maior parte do Brasil. Entretanto, em 2000 a Noaa alterou a prática de operação e agora só garante a informação ao sul do equador a cada três horas. O aumento do intervalo entre observações ocorre quando há alguma tempestade ou evento meteorológico adverso no continente americano. Entretanto, para que as estimativas de precipitação (e de vento) por satélite seja precisa, é necessário ter informações, as mais frequentes possíveis, e, portanto, inviabiliza-se o uso desse satélite para estimativa da precipitação no continente sul-americano em várias ocasiões. Apesar de o Brasil estar desenvolvendo um ativo programa espacial, com a construção de sensores de umidade e satélites de comunicação que têm aplicação meteorológica, é fundamental que a política de desenvolvimento espacial no Brasil contemple a possibilidade de dotar o país de um satélite geoestacionário com capacidade de observação frequente (da ordem de 15-30min) sobre o território nacional.

A campanha de observações do programa LBA, realizada em Rondônia, em janeiro/fevereiro de 1999 com radares meteorológicos de última geração, revelou algumas características inéditas da precipitação na Região Amazônica, com relação à partição entre a chuva de origem convectiva, localmente intensa, e a chuva de origem estratiforme ou de nuvens do tipo convectiva, mas muito rasa (e, portanto sem gelo). As nuvens amazônicas nos períodos caracterizados pela chuva leve e contínua apresentavam características marinhas porém sem os núcleos de condensação típicos da região oceânica, por exemplo, ricos em sal. Na realidade, constatou-se que as emissões biogênicas (terpenos e isoprenos) eram responsáveis pelas características físicas das nuvens observadas na Amazônia Oeste no período úmido (Silva Dias et al. 2002a). Com a presença de aerossóis, cuja origem é a poeira do solo ou então de queimadas, as nuvens

tendem a apresentar um caráter mais convectivo e com intensa formação de gelo, o que leva a ocorrência de células muito profundas com chuvas intensas. Uma campanha de observações da estrutura das nuvens no período de transição entre a estação seca e úmida foi conduzida recentemente em Rondônia e foi possível verificar a hipótese de que o material particulado produzido pelas queimadas consiste em eficientes núcleos de congelamento. As nuvens carregadas de aerossóis, provenientes de queimadas, tendem a produzir gelo ainda com baixa altitude, e com bastante intensidade de descargas elétricas. Portanto, uma conclusão do LBA é que a natureza da precipitação tropical é significativamente afetada pelo tipo de aerossol. Uma consequência desse resultado é que mudanças no uso do solo podem levar a alterações significativas da forma como a chuva ocorre (por exemplo, baixa intensidade, longo tempo ou de curta duração e alta intensidade). Resultados semelhantes também são atribuídos à influência da poluição urbana na natureza da precipitação.

É importante mencionar a existência de estimativas de precipitação, em tempo real, em agências americanas com acesso público. Essas estimativas de precipitação são baseadas na manipulação de dados da rede pluviométrica disponível em tempo real (por exemplo, na página da ANA, www.aneel.gov.br) e estimativas via satélite. Um desses produtos, com resolução de 100x 100km está disponível na página: www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/clickmap_90day.html.

O monitoramento de descargas elétricas constitui outra forma indireta de monitorar a precipitação e o efeito elétrico das tormentas de maior intensidade. Esses dados têm grande utilidade prática em tempo real para os sistemas de manutenção das redes de distribuição de energia elétrica. Existem sistemas baseados na propagação de diferentes comprimentos de onda eletromagnética. Os sistemas baseados no monitoramento por sensores na superfície exigem uma distribuição espacial razoavelmente uniforme o que ainda não existe no Brasil. Os sensores de superfície estão integrados numa rede que é mantida em grande parte pelas empresas de geração e distribuição de energia elétrica. Furnas foi a pioneira neste sistema e hoje os dados estão disponíveis em páginas de acesso

público (entretanto não em tempo real) como no Simepar (www.simepar.br) ou em tempo real apenas para as companhias geradoras e de transmissão de energia.

O Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH) resulta do esforço conjunto do governo federal, através do Ministério da Ciência e Tecnologia, dos governos estaduais e dos países da América do Sul. O PMTCRH atua por meio de núcleos estaduais e equipes internacionais de monitoramento de tempo, clima e recursos hídricos formados por pesquisadores e técnicos nas áreas geoambiental, meteorologia, recursos hídricos, sensoriamento remoto, informática e outros. Conjuntamente com os treinamentos, o PMTCRH destaca-se pela aquisição e instalação de equipamentos de ponta de informática e Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCDs). Os dados coletados por essas PCD's estão disponíveis em tempo real tanto na página da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>) como no CPTEC/Inpe (http://www.cptec.inpe.br/dados_observados/). O PMTCRH conta com o suporte técnico-científico-operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Inpe. Cabe ao CPTEC processar dados climatológicos do Brasil e do mundo para monitoramento do tempo e do clima do país.

Entre os serviços regionais de monitoramento do tempo e clima, deve ser destacado o trabalho que vem sendo disponibilizado, em tempo real e gratuito, pelo Ciiagro (www.iac.br) no Estado de São Paulo. Essa página informa em tempo praticamente real as chuvas e fornece informações sobre o balanço hídrico, usando uma base de dados densa e com alto nível de controle de qualidade dos dados. Outros serviços regionais que mantêm boa base de dados de precipitação podem ser localizados nas páginas Funceme/CE, <http://www.funceme.br>, Simepar/PR; <http://www.simepar.br>; Climerh/SC, <http://www.climerh.rct-sc.br/>, e outros serviços regionais que podem ser localizados na página do PMTCRH, <http://www.cptec.inpe.br/~pmtcrh/nova/oficial/html/estados.html>.

É importante destacar o grande progresso que houve na disponibilização de dados pluviométricos convencionais (totais diários) de forma digital, através da página de acesso público da ANA (acima mencionada). Séries históricas podem ser obtidas facilmente e sem custo, por solicitação. Os dados pluviométricos via

radar são complexos. Os dados brutos, necessários para muitos estudos de pesquisa, são compostos por arquivos enormes, de difícil manipulação e exigem software específico para tratamento, em geral não de domínio público, de alto custo. Os radares operacionais do sistema de proteção ao tráfego aéreo armazenam apenas figuras com informações básicas o que limita bastante o uso em pesquisa. As estimativas via satélite também são volumosas, mas estão disponíveis em forma digital em bancos de informação meteorológica, situados nos Estados Unidos. Os dados de descargas elétricas são, em geral, considerados proprietários das companhias que mantêm o sistema de monitoramento e, portanto apresentam custo para recuperação, mesmo para fins de pesquisas.

Também deve ser destacada a iniciativa do Inmet com relação à implementação de um laboratório de recuperação de registros hidrometeorológicos antigos, através do tratamento por processos químicos nas folhas de papel já deterioradas pelo tempo, e posterior digitalização e armazenamento em ambiente adequado. Este laboratório, único no Brasil, certamente tem estrutura física para processar as informações até hoje não digitalizadas. A infra-estrutura desse laboratório poderia atender a demanda do processo de recuperação de dados históricos de outras fontes federais e estaduais. Faltam, entretanto, recursos para a operacionalização do laboratório.

2.2 MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO DA EVAPORAÇÃO

A documentação da ANA mostra que a rede básica hidrometeorológica contém atualmente, 57 estações evaporimétricas. A medição da evaporação é importante no monitoramento de reservatórios, para estimar as quantidades de água evaporada que representa uma perda à atmosfera, suplementando estimativas obtidas por considerações do balanço hídrico. Por isto, é surpreendente que a rede é esparsa. A lei obriga empresas de energia a monitorar as afluentes aos reservatórios, as defluentes, e o volume de água armazenada, mas a empresa não é obrigada a monitorar evaporação. Além do monitoramento das perdas de

água de reservatórios, a estimativa da evaporação obviamente tem grande importância na agricultura para o planejamento de programas de irrigação. As perdas de água por evaporação têm uma importância especialmente crítica no Nordeste que tem pouca água, muitos açudes, e alta evaporação. Além das perdas da água, a evaporação também resulta na salinização de reservatórios, diminuindo, assim, a vida útil.

A evaporação pode ser estimada a partir de: (a) tanques, por fórmulas baseadas em considerações físicas; e, (b) diretamente, pela integração no tempo do produto da componente vertical do vento e conteúdo de umidade do ar em torres micrometeorológicas com medidas de alta frequência temporal (da ordem de dezenas de Hertz).

Não se sabe, em geral, quais são as condições da manutenção dos tanques, nem se a instrumentação é padronizada entre as estações. Como no caso da rede pluviométrica, é também necessário verificar que a exposição das estações não tem sido influenciada por construção de prédios ou crescimento de vegetação. Além de mudanças na exposição, as variáveis utilizadas na estimativa da evaporação (temperatura, por exemplo) são também influenciadas pelo crescimento da área urbanizada, que pode servir como uma “ilha de calor”. Portanto, além da coleta simples de dados meteorológicos, é também essencial monitorar as condições ambientais da estação. Não se sabe se estas informações são disponíveis.

Além das 57 estações na rede da ANA, existem outras estações controladas pelo Inmet e outras agências, em geral associadas às secretarias estaduais de agricultura e com vínculos com o PMTCRH, do Ministério da Ciência e Tecnologia.

As torres micrometeorológicas, usadas para as estimativas diretas da evapotranspiração (ou evaporação em corpos d'água) são mais complexas no que se refere à operação e manutenção. Há um longo histórico de uso desse tipo de instrumento na Amazônia, onde no começo da década de 1980 foram iniciadas as medidas na Floresta Amazônica, no contexto do convênio entre o *Institute of Hydrology* na Inglaterra, o Inpe e o Inpa, em Manaus. Essas foram as primeiras medidas diretas em florestas tropicais úmidas. No início dos anos 1990, o projeto

Anglo-Brazilian Climate Observation Study (Abracos), ainda em convênio entre o *Institute of Hydrology*, o Inpe e várias universidades no Brasil, passaram a fazer medidas em pastagens em Rondônia. Foi então possível monitorar o impacto da mudança do uso do solo, de floresta tropical para pastagens em Rondônia, no balanço energético na superfície. Em meados na década de 1990 surgiu o programa LBA com estudos intensivos do intercâmbio de água entre vegetação de diferentes tipos e a atmosfera na Amazônia e também do cerrado no Brasil Central. A ênfase destes estudos foi, e ainda é, científica, com o objetivo de determinar valores dos parâmetros dos processos físicos a serem incluídos em modelos do clima global. O LBA mantém hoje cerca de 14 torres micrometeorológicas com medidas operacionais de fluxos calor, umidade e CO₂, distribuídas em Rondônia (2), Amazonas (2), Pará (Santarém-3, Caxiuanã 2, Belém-1), Brasília (2), Cuiabá (2). Está em processo de instalação uma torre na Ilha do Bananal. Informações adicionais sobre o programa de torres micrometeorológicas no LBA podem ser encontradas na página <http://lba.cptec.inpe.br/lba/>.

Outras torres micrometeorológicas com medidas de longo prazo, não especificamente relacionadas com os objetivos científicos do LBA, são mantidas pela USP com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (Fapesp) no Norte do Estado de São Paulo, em três diferentes ecossistemas (cana de açúcar, com aproximadamente cinco anos de dados; cerrado não perturbado, cerca de dois anos de monitoramento e em implantação numa floresta de eucaliptos).

O PMTCRH provém informações particularmente relevantes para o monitoramento da evaporação, dado que um significativo número de plataformas de coleta de dados contém instrumentação para monitoramento do balanço de energia na superfície, em particular, com informações sobre radiação solar. Também está nos planos do PMTCRH a instalação de sensores de umidade do solo em alguns sítios específicos, visando a ampliação da rede de monitoramento hoje confinada às torres micrometeorológicas do LBA.

Especial destaque deve ser dados à necessidade de informações sobre a umidade do solo. Esta medida é fundamental na definição das condições iniciais

de modelos atmosféricos e hidrológicos distribuídos (a serem discutidos adiante). A evolução das previsões de tempo, clima e de vazões sofre grande influência do campo inicial da umidade do solo que deve ser fornecido em diferentes profundidades (pelo menos até dois metros). Medidas diretas de umidade do solo podem ser obtidas com sondas de nêutrons mas também pode ser estimada por meio de modelos físicos do balanço de água da superfície, alimentado por dados de precipitação e estimativas da evaporação e percolação (como o que está operacional no CPTEC, através do Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste (Proclima) <http://www.cptec.inpe.br/products/proclima/index.shtml#>, ou no IAC (www.iac.br). Satélites de monitoramento ambiental, como o Acqua, da Agência Espacial Européia (ESA) (<http://www.esa.int/export/esaCP/index.html>) também fornecem estimativas da umidade do solo que poderão ser úteis no monitoramento operacional desta importante variável de estado do solo. No Brasil, tanto a Embrapa como o Inpe desenvolvem pesquisas sobre o uso dos novos sensores de umidade do solo à bordo das novas gerações de satélites ambientais da ESA e na Nasa.

2.3 MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO DA VAZÃO EM RIOS

Conforme a documentação da ANA, a rede básica desta agência contém (em 2002) 1.734 estações fluviométricas e existem mais 1.688 estações operadas por outras agências, principalmente no setor energético. Existem outras estações (~100) que registram cotas de água, mas que não têm curvas-chave necessárias para a estimativa da vazão. Algumas centenas de estações que operam telemetricamente. No cadastro da vazão em rios, a qualidade das curvas-chave é de importância fundamental. A partir da CPRM, a ANA opera um sistema complexo para a atualização das curvas-chave. A forma da curva-chave pode mudar gradualmente no tempo, por causa da deposição ou erosão de sedimentos no leito do rio, e estas mudanças (que podem ocorrer, por exemplo, por causa de mudanças no uso do solo, especificamente urbanização ou desmatamento) necessitam atualização regular da curva, que é difícil de fazer em regiões muito

remotas. Um outro problema é que é freqüentemente necessário extrapolar a curva, para estimar as descargas altas em períodos de enchentes, e as descargas baixas em períodos secos. Por exemplo, nas estações fluviométricas da bacia do Rio Ibicuí, no Rio Grande do Sul, a estimativa da vazão máxima anual necessita extrapolação da curva chave em dois anos a cada três, e a estimativa da vazão mínima necessita extrapolação em um ano a cada três. Assim, as vazões altas, especialmente, são sujeitas a alta incerteza. Estas incertezas não desaparecem com a instalação de equipamentos avançados e telemetria.

No caso dos grandes rios do Brasil, o uso do método ADCP (Accoustic Döppler Current Profiler) é promissor, fornecendo estimativas do transporte de sedimento em suspensão, além da estimativa da vazão; mas o uso dessa técnica é complexo em rios com pouca profundidade. Têm ocorrido várias tentativas de monitorar níveis de água em rios (e várzeas) com altimetria de satélite. Mas, por enquanto, a técnica é difícil de usar; o *footprint* do sensor na superfície terrestre é grande, aumenta muito quando a água não é calma, e a precisão na vertical não é suficiente para o monitoramento do comportamento dos rios. Mesmo assim, é uma técnica que pode tornar-se mais útil no futuro. Estimativas de área alagada também podem ser obtidas via sensoriamento remoto.

2.4 MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Em contraste ao monitoramento de águas superficiais, necessário para a geração de energia, o monitoramento das águas subterrâneas é muito mais fragmentado, sendo uma responsabilidade estadual e não federal. Acredita-se que muitos dados existam, e a CPRM está construindo um banco de dados (Siagas). Além disto, a ANA também está na primeira fase de adicionar dados sobre água subterrânea ao seu banco de dados. É possível encontrar uma resistência à centralização de dados sobre a quantidade e qualidade da água subterrânea, caso seja sempre necessário solicitar autorização para recuperação desses dados no órgão central em vez dos órgãos estaduais.

Os recursos subterrâneos têm grande importância no Nordeste e na região do aquífero Guarani; a partir de uma perspectiva internacional, a integração dos dados deste aquífero está começando com a realização do Projeto Guarani financiado em parte pelo Global Environment Facility (GEF) (<http://oea.psico.ufrgs.br/aguas/pergunta/20001015215042.html>). Além da importância de água subterrânea para o consumo humano (na bacia do Rio Taquarí-Antas, no Rio Grande do Sul, por exemplo, 74 dos 111 municípios usam somente água subterrânea) e irrigação, é muito importante monitorar as condições de poluição da água, causada pelo uso de fertilizantes (N, P) e pesticidas na produção agrícola, e de coliformes e metais pesados em regiões urbanizadas.

2.5 MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DO SEDIMENTO TRANSPORTADO EM RIOS

Conforme as informações da ANA, existem 534 estações sedimentométricas com dados coletados quatro vezes por ano. Não se sabe quantas curvas existem que permitem a estimativa do transporte de sedimento a partir da descarga. O conhecimento do transporte de sedimentos tem uma importância especial para o setor energético, porque a deposição de sedimento diminui a vida útil de um reservatório. Para o setor energético, uma necessidade fundamental é a medição regular da batimetria dos reservatórios; a Aneel tem um grupo que está fazendo uma avaliação dos diferentes métodos, com o objetivo de obrigar as empresas no setor a fazerem este monitoramento no futuro. Atualmente, estas empresas (que tem a obrigação a comunicar a Aneel os volumes de água armazenada) às vezes continuam a usar curvas cota-volume preparadas 30 anos atrás, quando os reservatórios foram desenhados. O problema da sedimentação em reservatórios vem sendo apontado por alguns técnicos como um potencial problema para o setor energético, para a irrigação e para o sistema de abastecimento de água nos centros urbanos. Há indícios de que o tempo de vida originalmente estimado para os grandes reservatórios foi subestimado.

O significado físico da coleta de amostras de água quatro vezes por ano, para determinar a concentração de sedimentos, pode ser questionado dado que as visitas ao campo são determinadas a partir de um cronograma prefixado que raramente coincide com as descargas maiores, quando o volume de sedimentos transportado é também maior. Além disto, em algumas regiões do país as visitas ao campo para coletar amostras sobre o transporte de sedimentos evitam períodos de enchentes visto que é difícil, e até perigoso, aproximar-se dos rios nestas condições. Entretanto, é exatamente em períodos de enchente que os volumes de sedimentos transportados são os maiores.

Além da importância para o setor energético, o sedimento em suspensão serve para espalhar poluição química a partir da adsorção de íons nas superfícies das partículas. Deposição do sedimento resulta na remoção de poluentes, que poderiam aparecer novamente se o sedimento entrar em suspensão quando ocorre uma enchente. Isto sugere a necessidade da observação muito mais freqüente em rios e bacias altamente urbanizadas, especialmente por causa do aumento na disponibilidade de sedimento que resulta da construção de ruas e prédios.

2.6 OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS

Conforme as informações da ANA, existem 457 estações que registram a qualidade da água, e novamente a freqüência da amostragem é de três em três meses. Um quarto das estações estão localizadas na bacia do Rio Paraná. No caso desta rede, as variáveis registradas são temperatura, pH, turbidez e condutividade. Em nível estadual, também existem outras redes de instrumentação com freqüência maior de amostragem, talvez mensal, com análise de aproximadamente 20 parâmetros. Conclusões sobre a qualidade de água dependem muito do (além da freqüência de amostragem) método usado para coletar as amostras, a maneira de armazenar e transportá-las ao laboratório, o tempo de armazenamento e a técnica de análise química utilizada. Portanto é essencial padronizar os procedimentos usados, comparando análises das

mesmas amostras obtidas por distintos laboratórios para identificar diferenças entre as medidas realizadas pelos laboratórios. Esses problemas são reconhecidos, mas levará muito tempo e recursos para colocar dados de qualidade em uma base comum que permita a comparação da qualidade de água em locais diferentes, e/ou em períodos diferentes no mesmo local.

Uma finalidade importante para a coleta de dados sobre a qualidade da água é a construção de modelos que permitam previsão dos efeitos de eventos catastróficos: derrames tóxicos, por exemplo. A coleta esporádica de amostras de três em três meses não permite a formulação destes modelos. É relevante que o relatório “Sistema de informações sobre qualidade de água e para o alerta hidrológico da bacia do Rio da Prata” (1998) tenha, como sua primeira recomendação: “Resulta necessário a ampliação do número de estações de amostragem, da frequência de amostragem, da inclusão de índices de diversidade biótica, de toxidez e de mutagenicidade entre os parâmetros necessários, para poder chegar a uma melhor avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos da bacia do Prata.” A mesma conclusão é válida para outras bacias brasileiras.

2.7 CONCLUSÕES

Em termos dos dados atualmente coletados sobre os recursos hídricos, e da disponibilidade destes dados, as seguintes conclusões são evidentes:

- a) Existem muitos dados que caracterizam a quantidade e qualidade dos recursos hídricos brasileiros;
- b) Como é de se esperar no caso de um país de tamanho continental, os dados são de qualidade variável;
- c) Os dados são distribuídos entre várias agências, e nem todas facilitam a divulgação dos dados para análise crítica por parte da comunidade científica;
- d) Os desafios futuros (possibilidade de mudanças climáticas influenciarem os recursos hídricos brasileiros; aumento da urbanização) necessitarão

coordenação e cooperação em níveis estaduais, federais e das agências, para o país poder obter conhecimento com máxima antecedência.

- e) A constatação de que a natureza da precipitação (convectiva intensa ou leve e contínua) possa estar relacionada com o tipo de material particulado em suspensão na atmosfera (por exemplo produzidos por queimadas ou emissões urbanas), leva à necessidade de um mais eficiente sistema de monitoramento da composição do ar (medidas de concentração de aerossóis).
- f) A frequência de observação das nuvens pelo satélite geoestacionário Goes-8 não atende os requisitos observacionais necessários para o adequado monitoramento da precipitação. É fundamental que o país possa contar com observações via satélite com intervalo de 15-30 minutos.
- g) A infra-estrutura do Inmet para recuperação e processamento de dados históricos vem sendo sub-utilizada. É fundamental investir na recuperação de séries históricas usando essa infra-estrutura laboratorial já disponível.
- h) É fundamental a criação de uma estrutura gerencial federal que coordene as atividades de meteorologia, tanto em nível da coleta das informações como na geração de produtos para usuários. Essa estrutura de gerenciamento deverá dar especial atenção ao atendimento das normas de observação e de qualidade instrumental no sistema observacional.

Os autores deste *position paper* também identificaram nas entrevistas com órgãos geradores de informações e com usuários que existe uma enorme base de dados pluviométricos que são coletados por instituições privadas ou mesmo por pessoas físicas que têm interesse no tema. Algumas empresas coletam os dados em suas próprias bases de operação em função da: (a) necessidade da informação local; e, (b) dificuldade no acesso à informação coletada por algum órgão público em tempo real. Observa-se, também, que muitos desses sensores de precipitação (ou mesmo de outras variáveis meteorológicas) não seguem os padrões indicados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) ou a coleta não é feita no horário preconizado pela OMM. Os sistemas de monitoramento, como um todo, poderiam se beneficiar de um amplo programa de observações voluntárias, semelhante ao que existe em alguns países como nos Estados Unidos e na Inglaterra.

Também foi observado que existe um problema de adequação às normas da OMM com relação ao horário de observação da chuva acumulada diariamente. As normas da OMM especificam que a medida deve ser realizada às 12 GMT, ou seja, às 9:00 horas (hora local), em Brasília. Entretanto, a maior parte das medidas realizadas pela rede hidrológica faz a leitura às 7:00 horas (hora local), de Brasília. Este problema vem sendo apontado pelo Inmet há anos, sem ter havido nenhuma alteração nas práticas de observação.

3. O USO DE DADOS NA MODELAGEM HIDROLÓGICA DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS

A seção anterior descreveu os dados hidrológicos coletados pelas redes instrumentais, e esta seção descreve algumas aplicações que utilizam estes dados. Todas essas aplicações necessitam a construção de modelos estatísticos ou matemáticos, e esses modelos têm que ser calibrados para verificar que dão previsões consistentes com as já observadas no passado. Quanto maior as quantidades de dados confiáveis, tanto melhor a confiança nos resultados fornecidos pelos modelos com referência ao uso e gerência futuros de recursos hídricos e ao manejo de ambientes naturais. Os usos principais destes modelos estatísticos e matemáticos são três: (a) previsão das vazões em rios (e, em consequência, a previsão das afluentes aos reservatórios); (b) análise do impacto de alterações dos sistemas naturais; e, (c) a estimativa da frequência de ocorrência de eventos extremos que dificultam a gerência dos recursos hídricos (principalmente vazões baixas, e enchentes). As seguintes sub-seções tratam desses itens.

3.1 MODELOS HIDROLÓGICOS UTILIZADOS PARA PREVISÃO OPERACIONAL

Do ponto da vista nacional, uma aplicação de importância enorme é a previsão das afluições nos reservatórios utilizados para gerar energia hidrelétrica, uma

responsabilidade do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O ONS utiliza modelos para estimar as vazões com antecedência de dias a algumas semanas e meses. Adicionalmente, o ONS também utiliza modelos hidrológicos para fornecer um cenário do comportamento possível das aflúências, com 12 meses de antecedência ou mais: este é um típico caso em que cenários são traçados, pois não é possível fazer previsões precisas de vazão futura, com este grau de antecedência.

Algumas empresas responsáveis pela operação dos reservatórios fornecem previsões da vazão diária na área de sua responsabilidade; quando estas previsões da vazão diária não são fornecidas pelas empresas em tempo hábil, ou se são fornecidas mas estão fora da realidade, a ONS também calcula previsões de vazões diárias usando seus próprios métodos. Assim, a previsão das vazões em rios brasileiros é extremamente importante para o ONS, tanto nas escalas de tempo diárias e semanais como na escalas mensais, sendo o conhecimento destas vazões necessário para o planejamento da operação do sistema elétrico.

Os modelos hidrológicos utilizados pela ONS são: (a) estocásticos (isto é, os modelos são relações empíricas e não incluem explicitamente conhecimento da fase terrestre do ciclo hidrológico); (b) exprimem a vazão em cada intervalo (semana, mês etc) em termos somente das vazões em períodos anteriores, estas vazões ocorrendo linearmente no modelo (isto é, os modelos não utilizam informações sobre a precipitação ou evaporação, nem as informações sobre o uso do solo dentro de uma bacia hidrográfica); e, (c) a seqüência de vazão registrada a cada posto fluviométrico é modelada separadamente usando um modelo concentrado (isto é, sem levar em conta a variabilidade espacial de vegetação, solo, e processos hidrológicos). Adicionalmente, os modelos (d) não levam em conta explicitamente as correlações espaciais que fazem com que as vazões sejam altas (baixas) em diferentes postos fluviométricos, em períodos úmidos (secos).

Os modelos utilizados pelo ONS pertencem a uma família estatística de modelos denominada Arma (do termo inglês *Auto-Regressive Moving Average*). A explicação para o uso extensivo de modelos desta família é basicamente radicada na história. A Eletrobrás foi obrigada a produzir rapidamente um sistema de

previsão e os modelos Arma eram amplamente disponíveis e relativamente fáceis de calibrar e a entender, e uma vez estabelecidas as relações estatísticas, esses modelos permanecem em uso até o presente. Os modelos da família Arma têm também algumas vantagens: principalmente pelo trivial cálculo dos intervalos de confiança (ou mais corretamente, intervalos de previsão) que incluem a vazão a ser observada no futuro, com uma probabilidade especificada (por exemplo, 95%). Além disto, a calibração de modelos Arma é muito rápida e pode ser rapidamente atualizada após recepção de novos dados. O conjunto de programas que inclui o componente Previvaz, por exemplo, permite a seleção entre vários modelos do tipo Arma, ou de modelos Arma ajustados mês por mês (modelos Parma), com ou sem várias transformações das vazões. Um resultado desta gama extensa de possibilidades é que o modelo usado para previsão pode ser muito diferentes em meses ou semanas consecutivas.

No entanto, os modelos Arma (e suas variações) têm desvantagens no contexto de previsão de vazões futuras e da disponibilidade de energia futura. Uma das desvantagens principais é que as previsões são baseadas somente nas vazões do passado, sem utilizar conhecimento da relação chuva-vazão, nem da equação física de continuidade que representa o balanço hídrico. Além disto, os modelos Arma não são apropriadas para modelar vazões em condições de mudanças no clima (naturais de longo prazo ou de origem antropogênicas) ou no uso do solo. Vários estudos (notavelmente Müller et al., 1998) têm mostrado que os regimes, tanto da vazão como da precipitação, estão em transição na bacia do Alto Paraná, regiões de grande produção de energia hidrelétrica. Também pode ser questionada a validade da base teórica (gaussianidade dos componentes aleatórios; reversibilidade) de modelos Arma no contexto hidrológico. Estas complicações não foram devidamente reconhecidas, ou talvez sejam de menor importância relativamente a outros fatores mais imediatos, quando a decisão de obter previsões de vazão a partir de modelos Arma foi tomada.

Desenvolvimentos recentes, entretanto, permitem hoje o uso de modelos mais complexos, mas mais realistas fisicamente, do que modelos do tipo Arma, especificamente Modelos Hidrológicos Distribuídos, com características

apresentadas na seção seguinte. Estes desenvolvimentos incluem as seguintes considerações:

- Os desenvolvimentos computacionais, tanto em hardware como em software, agora permitem o cálculo de intervalos de confiança para as previsões da vazão de qualquer modelo complexo;
- Nas décadas recentes ocorreram desenvolvimentos estatísticos que permitem a modelagem estatística de precipitações diárias, mesmo que o regime de precipitação não seja estacionário (Stern e Coe, 1984; Coe e Stern, 1982; McCullagh e Nelder, 1989). Assim, no contexto de cenários da vazão produzidos com 12 meses de antecedência, é possível usar estes modelos de precipitação diária, calibrados para cada estação pluviométrica em uma bacia hidrográfica, no cálculo dos cenários. Além disto, o cálculo de (por exemplo) mil cenários futuros, a cada 12 meses, para cada posto pluviométrico, é muito rápido, permitindo estimativa da incerteza no quadro inteiro.

Estes desenvolvimentos fazem com que as vantagens de modelos da família Arma, em termos da facilidade de ajuste e da facilidade de atualização, agora têm uma importância menor. Hoje em dia, existe a possibilidade de usar modelos que utilizam mais dos dados disponíveis, e que aproveitam do maior conhecimento dos processos físicos que fazem a conversão de precipitação em vazão. Assim, uma recomendação dos autores deste *position paper* é que: (i) a previsão de vazões futuras seja prosseguida, em alguns estudos pilotos, a partir de modelos distribuídos, para comparação com as previsões obtidas por modelos tipo Arma; e, (ii) as incertezas nestas previsões sejam avaliadas e comparadas com as incertezas em modelos tipo Arma.

3.2 MODELOS HIDROLÓGICOS DISTRIBUÍDOS

Hoje, a gama de ferramentas disponíveis para previsão de vazão, baseadas na modelagem dos processos físicos aumentou significativamente, como mostrado a seguir:



- Modelos Hidrológicos Distribuídos disponíveis que são baseados na equação de continuidade da água, mantendo o balanço hídrico entre precipitação, vazão, evaporação e infiltração;
- Esses Modelos Hidrológicos Distribuídos podem incorporar as informações sobre o uso do solo obtidas por sensoriamento remoto (satélite ou radares à bordo de aeronaves instrumentadas), e informações sobre o terreno e topografia de uma bacia hidrográfica;
- Modelos Hidrológicos Distribuídos podem ser utilizados em grandes bacias, e podem ser calibrados de forma relativamente rápida (a calibração pode levar algumas horas de um PC, comparado com os milisegundos necessários para o ajuste de um modelo ARMA. Mas esta diferença no tempo de calibração não é significativa quando as previsões as vazão são feitas com semanas ou meses de antecedência).

Nos Modelos Hidrológicos Distribuídos a bacia hidrográfica é tipicamente subdividida em elementos de área, e o uso do solo dentro de cada elemento, é caracterizado em uma ou mais classes, sendo de escolha do usuário o número de classes de vegetação (Collischonn, 2001; Collischonn e Tucci, 2001). A precipitação diária em cada elemento de área é estimada por interpolação entre as estações pluviométricas da bacia, da mesma forma é estimada a evaporação potencial. Um balanço hídrico é calculado para cada classe de vegetação dentro de cada elemento de área, a vazão superficial é calculada e é transferida aos elementos vizinhos, até o exultório da bacia, usando uma forma discretizada da topografia da bacia. A infiltração da água no solo é tratada semelhantemente. Na calibração do modelo, pode-se usar uma técnica de otimização multi-objetiva, a partir de um algoritmo “genético” (Sorooshian et al., 1998; Collischonn, 2001; Gupta et al., 1998; Boyle et al., 2000).

Existem vários modelos distribuídos que poderiam ser incluídos na comparação; um modelo que tem sido usado com sucesso, em várias sub-bacias do Rio Uruguai e na bacia do Alto Paraguai é um modelo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Collischonn, 2001), mas existem outros modelos distribuídos que também deveriam ser avaliados (por exemplo, Topmodel de Beven et al., 1995; o modelo

VIC de Wood et al., 1992, e suas versões posteriores; e o modelo Açumod desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba e já testado em bacias do Nordeste: Passerat de Silans et al., 2000). O modelo de Collischonn (2001) foi usado com sucesso, junto com previsões da precipitação diária calculada a partir de um modelo da circulação atmosférica (veja próxima seção), na bacia do Rio Uruguai. As previsões obtidas pelo uso deste modelo, com até três meses de antecedência, mostraram um desempenho superior às previsões obtidas por modelos estatísticos. Sem incluir as previsões da precipitação, o modelo foi também utilizado na modelagem da sub-bacia do Rio Taquari no Pantanal, e do Rio Taquarí-Antas no Rio Grande do Sul.

Modelos distribuídos são forçados pela distribuição da precipitação no tempo. Evidentemente, no caso de bacias hidrográficas de longo tempo de resposta, a alimentação com a chuva observada pode levar a prognósticos de destreza significativamente mais alta que os modelos estocásticos, desde que devidamente calibrados. Entretanto, em bacias com tempo de resposta curto (por exemplo, da ordem de dias), torna-se absolutamente necessário fornecer estimativas da evolução temporal da precipitação baseadas em prognósticos meteorológicos.

Os modelos hidrológicos distribuídos requerem informações detalhadas das características físicas da superfície com a qual estão acoplados, através de algum modelo de interação solo/planta/atmosfera (Soil Vegetation Atmosphere Transfer models - Svat). Como será visto adiante, os modelos meteorológicos também trocam energia com a superfície através de modelos Svat. Entretanto, em geral, os modelos Svat hidrológicos e atmosféricos são distintos na forma de tratar os processos físicos.

Os modelos hidrológicos distribuídos também exigem um processo bem mais complexo de inicialização em comparação com os modelos estocásticos (onde a condição inicial é essencialmente dada pela vazão observada no passado recente). Além do processo de inicialização, esses modelos também requerem condições de fronteira que, em geral, são fornecidas via sensoriamento remoto (tipo de vegetação e estado da mesma, por exemplo, o índice de área foliar - LAI) ou de análises *in loco*, como as características físicas do solo a diversas profundidades.

3.3 MODELOS DE PREVISÃO ATMOSFÉRICA

A previsão de tempo é normalmente dividida nas seguintes escalas temporais: (a) até 12 horas - muito curto prazo ou *nowcasting*; (b) curto prazo de 12 a 48 horas; (c) médio prazo - até 10 dias; e, (d) longo prazo ou intrasazonal, de 10 a 60 dias. A previsão climática em geral é fornecida na escala de tempo sazonal (por exemplo, até 4 ou 6 meses).

As previsões de tempo no Brasil sofreram grande avanço com introdução da previsão numérica de tempo produzida pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), órgão do Inpe, que começou a operar de forma regular em 1995. Essas previsões são realizadas em computadores de alto desempenho com arquitetura paralela e vetorial e produzida sobre o Brasil com resolução da ordem de 40 km com 72 de antecedência e globais com resolução de aproximadamente 100 km com até 6 dias de antecedência. Os resultados, na forma de figuras ou digital estão disponíveis duas vezes ao dia, com horário inicial às 00 e 12 GMT (<http://www.cptec.inpe.br>). O Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) também faz previsões numéricas regionais operacionais sobre a América do Sul com antecedência de 60 horas, duas vezes por dia (www.inmet.gov.br). Além dos produtos numéricos disponibilizados pelas agências brasileiras, produtos numéricos de previsão de tempo até 10 dias estão disponíveis em páginas internet de acesso público nos Estados Unidos, produzidas pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). A Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha (DHN) também produz operacionalmente previsões numéricas regionalizadas no Atlântico.

As previsões climáticas são realizadas por métodos estatísticos ou através da simulação com complexos modelos dinâmicos em computadores de alto desempenho. A metodologia estatística, produzida em diversos centros, vem fornecendo resultados em geral com destreza acima da climatologia, porém com dificuldade no que se refere à regionalização e falha em condições não típicas. Apesar de existirem alguns centros estrangeiros de previsão climática por simulação em computadores (por exemplo, <http://iri.ucsd.edu/forecast>), desde

1995 e até os dias atuais, o CPTEC/Inpe é o único centro meteorológico na América Latina que operacionalmente produz previsões numéricas de tempo e clima para o Brasil em forma digital com cinco meses de antecedência (www.cptec.inpe.br/products/indexp.html). Os centros de previsão climática no exterior disponibilizam apenas produtos gráficos e interpretações na forma de texto das previsões climáticas sazonais. Entretanto, a previsão produzida pelo CPTEC (assim como os outros centros mundiais), também é de baixa resolução espacial, não fornecendo detalhes regionais (resolução da ordem de 180km).

A regionalização da previsão climática e da previsão de tempo por meio de um sistema predictor de mesoescala (resolução da ordem de poucos km no caso do tempo e poucas dezenas de km no caso do clima) também existe o uso de computadores de alto desempenho. O IAG/USP vem desde 1995 produzindo experimentalmente previsões de mesoescala em São Paulo, com 48 horas de antecedência, e mais recentemente com 72 horas (www.master.iag.usp.br). Previsões climáticas regionais com dois meses de antecedência também estão disponíveis na página do IAG/USP, no mesmo endereço. O CPTEC está implantando experimentalmente um sistema de prognóstico climático baseado no modelo ETA com 80 km de resolução sobre toda a América do Sul. Nos últimos dois anos várias instituições de ensino e pesquisa estão produzindo previsões regionalizadas, baseadas em modelos numéricos de mesoescala (UFRJ, com produtos no endereço www.lpm.meteoro.ufrj.br/; UFRGS.; Sistema Meteorológico do Paraná – Simepar, no endereço www.simepar.br; o Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Unesp, em Bauru – IPMET, no endereço www.ipmet.unesp.br).

Uma das características importantes do modelo do CPTEC e que o torna peculiar com relação aos demais modelos utilizados em centros internacionais de previsão climática e de tempo é o procedimento utilizado para simular os efeitos de trocas de calor, *momentum* e água na superfície continental. O modelo do CPTEC utiliza um procedimento denominado SIB (Simplified Biophere) no qual o papel da vegetação é representado na forma de resistência ao transporte de água entre solo e a superfície das folhas através das raízes e depois entre a superfície das folhas e o ar através dos estômatos. Em adição, consideram-se de forma razoavelmente realista o processo de transferência radiativa no dossel e o

processo de interceptação da água da chuva pelas plantas (e posterior evaporação). Os parâmetros do SIB foram devidamente calibrados com dados representativos de florestas e pastagens no Brasil de forma que os processos de superfície representados pelo modelo são bastante reais. Este é, seguramente, um dos pontos fortes do modelo do CPTEC e que o torna particularmente relevante para estudos da variabilidade climática na América do Sul e também para prognósticos climáticos.

No caso dos oceanos, as trocas de calor, *momentum* e vapor d'água são dependentes da temperatura da superfície do mar (TSM). O CPTEC adota dois procedimentos para fornecer a TSM para o modelo atmosférico durante o período de integração: (a) anomalias de TSM persistidas em todos os oceanos; e, (b) TSM prevista pelo NCEP no Pacífico Equatorial, e TSM prevista por um modelo estatístico (Simoc) no Atlântico Tropical. Fora das áreas tropicais do Pacífico e Atlântico, em todo o Oceano Índico e demais oceanos, utiliza-se a TSM fornecida pela persistência das anomalias observadas no início da integração. Os dois procedimentos são necessários dado que o modelo do CPTEC não é acoplado a um modelo oceânico. Os dois procedimentos também são importantes para testar a influência das anomalias de TSM que têm significativo impacto nas anomalias climáticas observadas em algumas áreas do globo. Em particular, as anomalias de TSM do Oceano Pacífico Equatorial exercem importante controle no clima da região sul do Brasil em função do fenômeno El Niño/La Niña.

A circulação de grande escala e a precipitação na região tropical são completamente determinadas pelas condições de contorno da temperatura da superfície do mar (TSM), segundo Shukla (1998). Uma forma de maximizar o desempenho da previsão sazonal é utilizar a técnica de previsão por conjuntos. Esta técnica consiste em construir um conjunto de possíveis estados iniciais, ligeiramente diferentes entre si, e integrar o modelo numérico a partir de cada estado inicial, produzindo um conjunto de previsões. Para previsão climática sazonal, o método mais utilizado para gerar o conjunto de estados iniciais é escolher condições iniciais separadas de 24 horas. A simplicidade na escolha das condições iniciais pode ser justificada pela escala temporal do problema, pois se supõe que a previsibilidade sazonal não é função do estado inicial, mas sim uma

resposta da atmosfera às condições de contorno (Stern e Miyakoda, 1995). Dado o caráter caótico da dinâmica da evolução do estado da atmosfera, um efeito intrinsecamente associado à não linearidade do sistema, o CPTEC adota a denominada "previsão por conjuntos" (*ensemble forecasting*). Entre 20 e 30 previsões de 6 meses são realizadas mensalmente, partindo de condições iniciais diferentes (dias $i=1$ a 20 ou 30 às 12 GMT). Desta forma é possível estimar o grau de previsibilidade (i.e., a confiabilidade) nas previsões numéricas. O procedimento utilizado pelo CPTEC pode ser considerado de ponta, sendo absolutamente equivalente ao utilizado nos principais centros mundiais de previsão climática. A previsão por conjuntos é fundamentada em estudos teóricos que indicam que a média do conjunto tem acuidade melhor que elementos individuais se as condições iniciais forem representativas da distribuição inicial de probabilidade do campo básico em torno da análise inicial do controle (Leith 1974).

O conjunto de previsões climáticas do CPTEC é, na realidade, composto por dois sub-conjuntos. O primeiro é obtido pelo uso da sistemática de previsão com anomalia de temperatura da água do mar persistida durante a integração e o segundo com a temperatura prevista nas áreas oceânicas tropicais, conforme descrito no item anterior.

No caso da previsão de tempo o CPTEC também adota um esquema semelhante. Neste caso, entretanto, cerca de 10 previsões são geradas a partir de pequenas perturbações da condição inicial. Segundo os autores do método (Zhang e Krishnamurty 1997) utilizado no CPTEC, perturbações geradas a partir deste método apresentam taxa de crescimento maiores do que simples perturbações randômicas.

É interessante considerar a estratégia de previsão usada pelos centros produtores deste tipo de previsão na Brasil. O CPTEC adotou modelos de previsão de tempo originalmente desenvolvidos em instituições nos EUA. No caso do modelo global, a origem do modelo está no Center for Ocean and Land Studies (Cola) e o modelo regional é o desenvolvido no NCEP, denominado modelo ETA. Esses dois modelos vêm sofrendo significativa evolução, tanto do ponto de vista da eficiência numérica (adaptação à arquitetura dos computadores vetoriais disponíveis no CPTEC), como nas parametrizações dos processos físicos. Esses avanços

tecnológicos e científicos estão sendo financiados por projetos financiados pela *NEC Corporation* ou pela *Finep*, envolvendo várias instituições brasileiras, como o Instituto de Matemática Pura e Aplicada (*Impa*), o Instituto de Matemática e Estatística da USP (*IME*), o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (*IAG*).

O *Inmet* contratou o serviço de implementação de um modelo numérico do serviço meteorológico da Alemanha nos computadores de alto desempenho (de arquitetura paralela) adquiridos com recursos orçamentários. Foram inicialmente contratados especialistas em previsão numérica para manter o sistema em funcionamento e para adaptá-lo as condições brasileiras. Entretanto, a equipe inicial não pode ser mantida e o sistema é hoje mantido de forma muito próxima àquela originalmente implementada há vários anos. Um procedimento semelhante foi seguido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha.

O *IAG/USP* optou pelo uso de um modelo de mesoescala denominado *Rams* (*Regional Atmospheric Modeling System*), com código proprietário (uma parceria entre a *Colorado State University* e a empresa *Atmet*, nos EUA, <http://www.atmet.com/>). A opção pelo *Rams* foi baseada no fato deste modelo ser suficientemente flexível para trabalhar com grades da ordem de metros de resolução (de interesse para estudos sobre dispersão de poluentes e microfísica da precipitação) até centenas de km (por exemplo, para previsão de tempo e clima). A eficiência numérica do código vem do paralelismo dos algoritmos de solução numérica, baseados na quebra em subdomínios atribuídos a cada processador, uma forma eficiente em computadores de arquitetura paralela com memória distribuída (mais baratos). No caso do *Rams*, há um esforço financiado pela *Finep* para desenvolvimento de uma versão do *Rams* mais adaptada à realidade brasileira.

Nos últimos anos houve significativo progresso no uso de outros modelos de previsão de tempo em mesoescala de forma operacional. Significativo esforço foi colocado no sentido de implementar códigos de domínio público, como o *MM5*, do *NCAR/EUA*, www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html (como no caso da *UFRJ*); e o modelo *ARPS/EUA*, <http://tornado.caps.ou.edu/wx/> (no caso do *Simepar*). O *IPMET/Unesp* usa o *MAL* (*Modelo de Área Limitada*), originalmente desenvolvido

pela Japan Meteorological Agency (JMA) (ver www.ipmet.unesp.br/modelos/modelo.html). Todos esses modelos foram especificamente desenhados para simulações e previsões de tempo em mesoescala (malhas da ordem de km até centenas de km).

Uma análise mais detalhada da capacidade dos modelos meteorológicos ora em uso no Brasil em reproduzir características básicas dos balanço de água e de energia revela que é essencial promover especial esforço no sentido de aprimorar a capacidade dos modelos atmosféricos em reproduzir esses balanços nos diversos ecossistemas naturais e agrícolas existentes no Brasil. As parametrizações usadas nos modelos em geral são adaptadas de modelos desenvolvidos em latitudes mais altas ou com base em dados tropicais essencialmente de regiões oceânicas. Os resultados de experimentos de observação na Amazônia, como no caso do LBA, estão revelando diferenças significativas entre os valores previstos por modelos e os observados.

Outro esforço importante, e que já está em andamento, é o de aprimorar a eficiência numérica dos códigos dos modelos, de forma a adequá-los a computadores de arquitetura paralela, de menor custo e, portanto, acessíveis a grande parte da comunidade científica brasileira.

3.4 USO COMBINADO DE MODELOS HIDROLÓGICOS COM MODELOS CLIMÁTICOS EM PESQUISA

Na seção anterior foram descritas algumas características dos Modelos Hidrológicos Distribuídos. O desenvolvimento histórico destes modelos hidrológicos segue em paralelo ao desenvolvimento de modelos da circulação atmosférica, a um nível que hoje é possível prever cenários de evolução da precipitação diária com alguns meses de antecedência.

Na prática, as previsões obtidas a partir de um modelo da circulação atmosférica global (GCM), de baixa resolução (da ordem de 100-200km) ou de modelos de previsão climática regional de alta resolução (30-80km), aninhados nos GCM, resultam da iniciação do modelo com condições iniciais em dias sucessivos,

fazendo com que é necessário trabalhar com um conjunto ou *ensemble* de previsões.

Assim, é possível hoje vincular o Modelo Hidrológico Distribuído com as previsões de um GCM, para providenciar previsões da vazão futura. Os autores deste *position paper* recomendam que o desempenho destas previsões da vazão, obtidas a partir das previsões da precipitação dadas por um GCM, seja estudado em outros estudos piloto.

Também é recomendado que a modelagem dos processos de superfície dos modelos hidrológicos distribuídos e dos modelos atmosféricos sejam compatíveis, ou preferencialmente, que sejam idênticas no que se refere à formulação dos processos físicos. Observa-se hoje que os modelos são desenvolvidos de forma independente e o nível de acoplamento entre o modelo hidrológico e atmosférico é feito ao nível apenas da precipitação diária prevista pelo modelo atmosférico. É preciso colocar ênfase no desenvolvimento de modelos efetivamente acoplados, visando a integração com modelos de outras componentes do sistema ambiental, i.e., de um modelo simulador do ambiente como um todo.

Modelos hidrológicos distribuídos devem ser usados para avaliar o impacto da variabilidade natural e das mudanças climáticas. A variabilidade natural do clima ocorre em diferentes escalas temporais: (a) intrasazonal (20-60 dias), (b) interanual (2-5 anos), (c) interdecadal e (d) séculos ou escalas mais longas. No último caso, as principais forçantes são de origem solar (os ciclos de Milankovitch). A interação oceano atmosfera também é bastante efetiva nestas longas escalas de tempo em particular em função dos ciclos de longo prazo (decadais e seculares) das circulações oceânicas no Atlântico e Pacífico que alteram as temperaturas superficiais e portanto com forte impacto no clima regional e global (vide exemplo da influência do El Niño/Oscilação Sul). Mais, especificamente, recomenda-se o uso de modelos distribuídos para estudos sobre:

- influência da El Niño/Oscilação Sul no regime hidrológico das principais bacias hidrográficas que apresentam correlação com este evento (em particular as bacias do sul do Brasil e da Amazônia);

- influência de anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico sobre o regime de chuvas no Brasil;
- impacto de alterações no uso do solo. Em particular, efeito dos grandes desenvolvimentos agrícolas e da urbanização;
- impacto dos cenários de mudanças globais associados ao aumento da concentração de gases de efeito estufa. Possíveis cenários podem ser retirados das simulações desenvolvidas para o International Panel for Climate Change (2001);
- análise de extremos climáticos associados à variabilidade decadal (ou de escala de tempo mais longa). Esses cenários podem ser definidos em função do comportamento climáticos no período de dados históricos disponíveis (praticamente nos últimos cem anos) ou inferidos a partir de dados paleoclimáticos baseados em registro de anéis de árvores, paleolimnológicos ou outras formas de reconstituição do clima do passado.

3.5 USO DE MODELOS HIDROLÓGICOS DISTRIBUÍDOS NO PLANEJAMENTO URBANO

Os desenvolvimentos da infra-estrutura urbana têm sido realizados de forma inadequada, o que tem provocado impactos significativos na qualidade de vida da população. A drenagem urbana tem sido um dos principais veículos de deterioração deste ambiente, devido à própria concepção do sistema de drenagem pluvial e a ações externas, como a produção de resíduos sólidos e os padrões de ocupação urbana. Além disso, as soluções adotadas, no âmbito de engenharia, para a drenagem urbana as vezes têm produzido mais danos do que benefícios ao ambiente.

Para a tomada de decisões torna-se necessário que os resultados das alternativas potenciais sejam avaliados. As mesmas são estabelecidas dentro de cenários definidos pela ocupação do espaço urbano e pelo risco de projeto. Os cenários de ocupação do espaço urbano são definidos a partir de padrões de uso

do solo e da projeção de tendência futura dentro de horizontes de 10, 20 ou 30 anos. O risco é escolhido com base na capacidade de investimento e dos prejuízos potenciais.

A simulação de alternativas é então uma das principais etapas no planejamento da drenagem urbana. As simulações a serem realizadas abrangem diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e futura; ou a diferentes padrões de ocupação da bacia (Villanueva e Tucci, 2001). Os modelos utilizados nessas simulações são de dois tipos: (a) *modelo chuva-vazão*: modelo hidrológico que calcula a partir da precipitação a vazão resultante que entram nas galerias e canais; (b) *modelo de rios, canais, galerias e reservatórios*: modelo hidrológico ou hidráulico que simula o escoamento em canais, galerias, detenções, etc.

A prática de utilizar modelos distribuídos vem da necessidade de estimar a vazão que aporta em diferentes pontos na rede de macrodrenagem; e da grande variabilidade do grau e características da urbanização. Além do mais, a variabilidade acontece não só na condição atual da urbanização, mas também nos cenários de urbanização futura adotados para o planejamento.

O adequado dimensionamento dos projetos (e funcionamento das obras) depende de simulações de boa qualidade. Por sua vez, simulações de boa qualidade só são obtidas quando é possível estimar com boa precisão os parâmetros dos modelos utilizados. Nas condições usuais de trabalho os parâmetros do modelo hidrológico devem ser estimados com base em características físicas da bacia ou da rede de drenagem, seja por ausência de dados para ajuste ou para simular situações futuras. A partir disso é claro que há necessidade de dados fundamentalmente para dois fins: i) ajuste (calibração) dos modelos para simulação de situações atuais; ii) desenvolver relações entre valores dos parâmetros e características da bacia, fundamentalmente características da urbanização.

Além disso, diferentes estudos mostram que, em áreas urbanas, as características das precipitações podem variar muito em curtas distâncias (Silveira, 1997). Portanto, escassez (ou ausência) de pontos de medição de chuva na cidade pode significar erros grandes nas precipitações de projeto, e a partir

delas em todo o resto do processo. Esses erros se traduzem em prejuízos à população, seja por mal funcionamento do sistema de drenagem pluvial, seja por sobrecustos, e freqüentemente pelas duas coisas simultaneamente. É possível provar (Allasia, 2002) que os custos de monitoramento de áreas urbanas, além de não serem intrinsecamente altos, são quase desprezíveis quando comparados aos sobrecustos e prejuízos causados pelos erros devidos à falta de dados em quantidade e qualidade suficientes.

3.6 A REGIONALIZAÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS

Ocorre freqüentemente que não existem observações da vazão a ponto de um rio onde uma obra está sendo planejada; também, se existem observações da vazão, acontece que a seqüência é curta demais para ser útil. Nestas situações, é necessário utilizar técnicas de regionalização hidrológica para estimar as características do regime de vazão: isto é, utilizam-se os registros mais extensos da vazão em locais vizinhos para fazer inferências ao local de interesse (veja, por exemplo, Tucci, 1991). As técnicas de regionalização hidrológica são freqüentemente fundamentadas em regressão múltipla: por exemplo, a vazão média anual (ou a vazão máxima anual; vazão mínima anual com sete dias de duração, entre outras possibilidades) é calculada em cada dos locais vizinhos, e estas médias são correlacionadas com as características físicas das correspondentes bacias hidrográficas (área de drenagem, declividade etc). Conhecimento dessas características ao local de interesse possibilita estimação da vazão média anual (e outras características da vazão).

Este método de regionalização a partir de regressão múltipla contém duas limitações:

- A primeira, e possivelmente a mais séria, é que depende na suposição de que todas as seqüências da vazão aos locais vizinhos são estacionárias. Mas, notavelmente na bacia do Alto Paraná, tem muita evidência na literatura hidrológica da não-estacionaridade (por exemplo, Müller et al., 1998), tanto nos regimes da precipitação como da vazão – os regimes



estão em estados de mudança, talvez de um estado estável para um outro estado estável, associado com desmatamento e a transição a uma agricultura intensiva. É necessário o desenvolvimento de técnicas modificadas de regionalização, que levam em conta esta não-estacionaridade. Resultados de pesquisa nesta área importante estão aparecendo na literatura (Clarke, 2002a), mas muito mais problemas existem;

- A segunda limitação é que a regionalização a partir de regressão múltipla não utiliza as informações sobre a configuração espacial das estações cujos dados são utilizados na obtenção da regressão múltipla. Isto é, sendo a regressão calculada a partir dos dados de N postos fluviométricos, não se leva em conta o fato que alguns destes postos são mais próximos ao local de interesse – e, portanto deveriam ter um peso maior – do que os outros. É desejável estender as técnicas de regionalização hidrológica, para aproveitar das informações sobre a disposição geográfica dos postos, relativos ao local de interesse.

Relacionado à regionalização hidrológica é o tópico da extensão dos registros hidrológicos. Quando existe somente uma curta seqüência de observações da vazão a um local de interesse, uma abordagem freqüente envolve a procura de uma ou mais seqüência(s) mais extensa(s) da vazão, registrada em estações vizinhas da região. A mesma técnica se usa também para estender as seqüências de observações meteorológicas. Supõe-se que esta transferência de informações (que na forma mais extrema às vezes envolve a extensão das seqüências até uma data inicial comum) é sempre desejável, mas isto não é verdade; se a escolha das seqüências mais extensas não se faz cuidadosamente, é possível perder informações, a transferência simplesmente resultando em uma diluição dos dados disponíveis à estação com curta seqüência. Uma recomendação deste *position aper* é a divulgação deste perigo e de alguns estudos pilotos para ilustrar e quantificar as situações nas quais estas perdas da informação ocorrem.

3.7 A ESTIMAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA NO FUTURO DE EVENTOS IMPORTANTES PARA A GERÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Além da previsão de vazões futuras que ocorrerão nas próximas semanas ou meses, um outro uso extremamente importante de dados hidrológicos é para estimar a frequência de ocorrência no futuro de eventos que dificultam a gerência de recursos hídricos: por exemplo, vazões baixas que poderiam prejudicar a produção de energia ou sistemas de irrigação, e enchentes que poderiam danificar infra-estrutura. A suposição crítica na qual se baseia toda a técnica hidrológica para a estimação das frequências destes eventos no futuro é que a sua frequência no passado continuará a mesma no futuro. Na presença de mudanças no uso do solo ou do clima, é claro que esta suposição (já mencionada acima, na discussão sobre regionalização) se torna inválida, por causa da não-estacionaridade as seqüências de dados; por exemplo, uma enchente que no passado ocorreu com período do retorno cem anos, em uma bacia extensivamente florestada, não ocorrerá com a mesma frequência após desmatamento e a substituição da floresta por cultivos anuais. Portanto, a detecção de tendências em séries de vazão é importante para a gerência de recursos hídricos. O mesmo problema surge no contexto de planejamento urbano, se o crescimento urbano modifique as intensidades de precipitações intensas.

No contexto da estimação da frequência de eventos extremos no futuro, é necessário o monitoramento cuidadoso de vazões extremas e de precipitações intensas, junto com o desenvolvimento de técnicas estatísticas apropriadas para a detecção de tendências nas séries. Nota-se que as técnicas de estatística elementar geralmente utilizadas na detecção de tendências são, na melhor das hipóteses, ineficientes, e na pior das hipóteses, incorretas. A presença da correlação serial entre os valores de uma seqüência hidrológica, ou uma correlação espacial entre vazões registradas em postos fluviométricos da mesma região, resulta na superestimação de tendências. Técnicas apropriadas para a detecção e estimação de tendências em seqüências hidrológicas de vazão e de precipitação têm sido publicadas recentemente (Clarke, 2001b,c,d), entretanto

mais pesquisa é necessário, especialmente na inclusão dos efeitos da correlação espacial.

4. NECESSIDADES PARA ESTRUTURAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO FUTURO

Nos próximos itens serão discutidas algumas medidas necessárias para aprimorar as estruturas já existentes no sentido de melhor atender a demanda atual e para que seja possível tomar ações que venham a atenuar impactos provocados pela variabilidade e mudança climática, incluindo os efeitos da urbanização.

4.1 ATIVIDADES NECESSÁRIAS PARA MELHORAR AS ESTRUTURAS JÁ EXISTENTES

As conclusões listadas na seção 2.7 sugerem que várias atividades são necessárias para melhorar o conhecimento, na grande escala, dos recursos hídricos do Brasil. Um grande desafio será o aprimoramento das redes instrumentais, da frequência da observação no caso de parâmetros que definem a qualidade química das águas, e das estruturas administrativas responsáveis para a coleta, controle de qualidade, e divulgação dos dados. O período necessário para implementação das mudanças necessárias é muito extenso, e envolve considerações e talvez redefinições das responsabilidades e interações entre os organismos municipais, estaduais e federais. Além da escala temporal, a escala espacial é também problemática em um país de tamanho continental das quais grandes áreas são difíceis de acesso.

Uma ação governamental urgente é o estabelecimento de um mecanismo integrador na área de meteorologia, semelhante ao que foi estabelecido para os recursos hídricos, com a implantação da ANA. Já existe uma proposta de criação de uma agência nacional de Meteorologia que visa a coordenação das atividades no setor. Esta proposta surgiu no âmbito da Sociedade Brasileira de Meteorologia

e foi profundamente discutida por vários segmentos dos usuários dos serviços meteorológicos e por órgãos governamentais. Entretanto, a implementação das propostas ainda não foi efetivada. O resultado é que as iniciativas por parte de diferentes ministérios, em particular no Ministério da Agricultura e do Ministério da Ciência e Tecnologia não são harmônicas e levam a desperdício de recursos públicos.

É preciso pensar muito cuidadosamente como se pode usar uma quantidade restrita de financiamento pelo CT-Hidro, para maximizar o seu efeito. Será lógico definir alguns poucos estudos de grande importância, e para concentrar os esforços para maximizar o benefício para um dado custo. Para isto, é necessário definir os desafios principais que enfrentem o Brasil nos próximos 25-50 anos. As próximas seções apresentam as opiniões dos autores sobre estes desafios. As seções 3.3. e 3.4 identificam procedimentos que poderiam ser implementados quase imediatamente, se os dados que agora existem fossem liberados para análise. Essas análises são abordagens que procuram solucionar questões de grande importância para o Brasil.

4.2 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS

Em geral, o país é bem dotado com recursos hídricos, mesmo que estes recursos não sejam bem distribuídos espacialmente. No entanto, as previsões do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sugerem que a distribuição da precipitação no mundo poderia ser alterada em consequência das concentrações elevadas dos gases estufa, se estes continuarem a ser produzidos às taxas atuais e depositados na atmosfera. É cientificamente aceito que possa haver mudanças significativas nos regimes hidrológicos no Brasil, que poderiam afetar significativamente a distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos. Além disso, o IPCC sugere que as mudanças climáticas que resultam do efeito estufa poderiam ser acompanhadas por maior frequência de eventos atmosféricos extremos, com maior incidência de temporais e enchentes.

Estas mudanças, se ocorrerem, terão importância altíssima para o Brasil, mas por enquanto o conhecimento do comportamento físico dos oceanos, da atmosfera e da interação entre eles não é suficientemente avançado para fazer previsões sobre a dimensão exata dessas mudanças, exatamente quando ocorrerão (se no início, meados ou final do presente século) e, sobretudo, os aspectos regionais de onde ocorrerão. As mudanças poderiam influenciar a produção energética, a produção agrícola, a água disponível para consumo humano e industrial, e o transporte fluvial. Portanto, é necessário monitorar cuidadosamente os regimes hidrológicos do Brasil, para detectar evidências de mudanças.

Duas possibilidades existem, envolvendo atividades fundamentadas na análise de dados. A primeira opção envolve uma análise estatística dos longos registros de precipitações diárias, e neste caso o ponto de partida é o conjunto de 163 estações pluviométricas com mais de 40 anos de dados, mencionadas na seção 2.1. A primeira etapa é a análise dos totais anuais e mensais, mas isto deve ser suplementada pela análise das ocorrências de precipitação diária, e as quantidades de chuva diária. O motivo é que tendências no regime de precipitação diária nem sempre são percebidas nos totais mensais (por exemplo, chuvas diárias mais intensas, separadas por maiores períodos sem chuva, poderiam resultar no mesmo total mensal; este fenômeno foi detectado no Pantanal). Para essas análises não é essencial que os registros de precipitação diária sejam completos e sem falhas (e é preferível não preencher as falhas, porque a análise estatística pode ser ajustada na presença de falhas sem dificuldade). Mas é essencial que os pluviômetros sejam bem situados e livres de influências externas que possam introduzir tendenciosidade nos dados.

Uma segunda opção sugerida neste trabalho, e discutido mais amplamente em uma seção abaixo, é o estabelecimento de pequenas sub-bacias hidrográficas que seriam intensivamente instrumentadas com aparelhos de alto desempenho, mantidos cuidadosamente e diariamente. Estas bacias seriam mantidas em sua forma prístina e natural, facilitando a detecção de mudanças climáticas fora das influências que mascarariam os efeitos de maior interesse. As bacias também serviriam o duplo propósito do monitoramento de áreas de conservação proposto

pelo Ibama. Essas bacias preservadas também poderia ser usadas para estudos sobre funcionamento da biodiversidade e sua interação com o meio ambiente.

Uma outra opção que deve ser considerada refere-se ao uso de modelos climáticos acoplados aos modelos hidrológicos (preferencialmente os modelos hidrológicos distribuídos). É importante usar os cenários desenvolvidos pelo IPCC para alimentar modelos hidrológicos nos diversas bacias hidrográficas brasileiras. Também deve ser dada ênfase ao desenvolvimento da capacidade de modelagem ambiental usando modelos cujas diversas componentes do sistema sejam devidamente acopladas e validadas com base nas observações coletas nos experimentos de campo.

4.3 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO CRESCIMENTO URBANO NO REGIME DE PRECIPITAÇÃO

A seção anterior discutiu-se sobre a necessidade de manter algumas sub-bacias no estado natural para monitoramento de mudanças. A maior parte da população brasileira mora em cidades que continuam a apresentar crescimento alarmante. É bem conhecido que a urbanização modifica o clima por causa do efeito “ilha de calor”, que faz com que as temperaturas máximas e mínimas anuais freqüentemente mostram tendências positivas com o crescimento da área urbanizada. Mas além das mudanças nas temperaturas extremas, também existe a possibilidade de modificações ao regime de precipitação: o calor armazenado em prédios e ruas urbanas poderia causar convecção mais intensa e precipitação mais intensa e/ou mais freqüente, e a ocorrência de vendavais e granizo. As mudanças no regime de precipitação também podem ocorrer em função do impacto dos aerossóis e gases associados à poluição. Parte dos aerossóis de origem antropogênica exercem o importante papel de núcleos de condensação de nuvens. Outra parcela dos aerossóis funciona tem eficiente papel como núcleo de congelamento da água em nuvens. Os estudos sobre o impacto dos aerossóis na física da precipitação indica que o excesso de núcleos de condensação pode levar à formação de gotas de nuvens muito pequenas e diminuição de chuvas,

sobretudo as precipitações mais leves. De fato, este efeito foi observado em São Paulo, onde a frequência de chuvas leves diminuiu de forma estatisticamente significativa (Xavier et al 1992 e 1994). Por outro lado, a presença de mais núcleos de congelamento, pode levar a formação de nuvens mais profundas e portanto as chuvas intensas podem aumentar. Também foi observado em São Paulo um aumento das chuvas mais intensas, sobretudo no período de verão. E as chuvas intensas em áreas urbanas são uma das causas principais dos deslizamentos que causam mortes e danificações à infra-estrutura urbana.

As tendências na intensidade e ocorrência da precipitação em áreas de crescimento urbano poderiam ser estudadas a partir das análises da intensidade da chuva em períodos menores do que um dia. Mesmo quando esses dados existem, é difícil localizá-los e obter acesso para análises; e quando os dados são localizados, nem sempre são de uma forma que permite análise rápida por serem em fitas de papel não-digitalizadas. Aqui entra o papel fundamental que poderá ter o laboratório de recuperação de dados históricos do Inmet, desde que haja um investimento significativo no processamento das informações.

4.4 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA MUDANÇA DO USO DO SOLO NO REGIME DE PRECIPITAÇÃO

Além da evidente mudança da composição química da atmosfera, a influência humana também ocorre através de alterações nas características físicas da superfície da Terra. As alterações induzidas pelo uso do solo podem ter significativas influências climáticas e os efeitos são ainda pouco conhecidos, como reconhecido nos levantamentos do IPCC. Em particular, é importante conhecer os efeitos das alterações do uso do solo no ciclo hidrológico e do carbono. Os casos específicos da Amazônia e do cerrado são de particular interesse no contexto regional e global, conforme discutido a seguir.

O ciclo hidrológico é o produto integrado do clima e de atributos biogeofísicos da superfície. O clima é determinante das características da superfície, pois atua no processo de formação do solo, do tipo e características da vegetação, das feições

do relevo e da estrutura de drenagem. Ao mesmo tempo, a superfície exerce uma marcante influência sobre o clima, através de fatores: (i) físicos, tais como relevo e características físicas do solo; e, (ii) biológicos, no qual destaca-se a vegetação. Esse conjunto de fatores é determinante na interação entre a umidade atmosférica, a precipitação, o escoamento superficial e o balanço de energia na forma de calor latente e sensível. Pesquisas recentes da interação superfície-atmosfera sugerem uma forte dependência entre os processos de superfície e o clima (Shukla e Mintz, 1982; Sud et al., 1990; Nobre et al., 1991; Wood, 1994, Betts et al., 1996).

No Brasil, a Floresta Tropical Úmida é o ecossistema de maior biodiversidade e com intensas trocas de CO₂ e H₂O, ocupando uma área aproximada de 3.5x10⁶ km² na Amazônia Legal Brasileira. As áreas desmatadas na Amazônia somam hoje aproximadamente 15% do seu total, estando concentradas principalmente em Rondônia e no Pará. Grande parte dessa área é utilizada como pastagens. Azevedo e Adámoli (1988) relatam que as principais formas fisionômicas do Cerrado (Campo Cerrado, Cerrado Sensu Stricto e Cerradão) somam aproximadamente 1,39x10⁶ km². Medidas de evapotranspiração sobre estes ecossistemas mostram grande variabilidade (Tabela 4.1); o fato de as pastagens, e provavelmente a maior parte das formas de Cerrado, apresentarem redução significativa da evapotranspiração na estação seca resulta do estresse hídrico da camada herbácea. Adicionalmente, as regiões de Cerrado encontram-se em áreas do continente onde existe uma estação seca definida de maio a agosto, o que reforça a idéia da redução sazonal da fonte de umidade para a atmosfera.

Ecossistema	Estação úmida	Estação seca
Floresta tropical úmida amazônica	3.9	3.5
Pastagem na Amazônia	2.0	3.5
Cerrado D.F	4.2	2.1

Fonte: adaptado de Rocha e Silva Dias (1994)

Tabela 4.1 - Evapotranspiração em alguns tipos de vegetação no Brasil, em mm dia⁻¹

Mudanças nos parâmetros (características da vegetação) e variáveis climáticas de superfície (tipo de cobertura, umidade do solo) alteram os fluxos de água e energia para a atmosfera. A absorção de energia solar na vegetação depende das dimensões do dossel e da fração de cobertura vegetal e solo nu. A temperatura de superfície é função da quantidade de energia disponível em todos os comprimentos de onda, e de como essa energia é fracionada em aquecimento (fluxo de calor sensível) e umedecimento (fluxo de calor latente ou evapotranspiração) do ar. Os dosséis altos e densos exercem um substancial arrasto aerodinâmico, reduzindo o vento próximo à superfície e gerando turbulência que estimula a transpiração, a evaporação da precipitação interceptada e a difusão turbulenta de vapor d'água na camada limite. A interação entre o tipo de solo e a vegetação é mais importante para a hidrologia, infiltração da precipitação e escoamento superficial ou de sub-base. Enquanto a vegetação controla grande parte da infiltração e da interceptação pelo dossel, o tipo de solo controla a taxa de retenção da água infiltrada, e também regula o total de água disponível para ser extraído pelo sistema radicular da vegetação, o que em última instância determina a oferta hídrica.

Os resultados de modelagem do efeito do desmatamento completo da Amazônia, com substituição da vegetação nativa por pastagens revela, na maior parte dos experimentos, uma redução da precipitação da ordem de 20-30% e aumento de temperatura de 2-3°C (Silva Dias e Marengo, 1999). Entretanto, a modelagem de cenários mais reais, como o desmatamento ocorrido em Rondônia, em áreas de dimensão da ordem de muitas dezenas a poucas centenas de quilômetros, indicam um possível aumento de precipitação, associado ao fato de o contraste de temperatura floresta/pastagem gerar uma circulação local, do tipo brisa, que favorece a formação da precipitação sobre a pastagem em detrimento das chuvas na floresta, principalmente nas vizinhanças da fronteira pastagem/floresta (Silva Dias e Regnier 1996; Silva Dias et al. 2002b). Este último efeito pode ter um efeito realimentador no desmatamento por aumentar o risco de fogo. Esses resultados de modelagem numérica encontram suporte em observações (Cutrim et al. 1995).

Apesar da preocupação mundial e do aumento dos esforços internacionais para a conservação dos recursos naturais, as florestas tropicais continuam a

desaparecer a taxas sem precedentes. No estabelecimento de sistemas de manejo e exploração sustentáveis para florestas tropicais, de vital importância são as questões relativas ao modo como uma intervenção antropogênica afeta as capacidades básicas de auto-renovação das florestas e como preservar processos ecológicos básicos tais como produtividade biológica e reciclagem de nutrientes e de água. Presume-se que a alteração dos ciclos de água, energia solar, carbono e nutrientes, resultantes da mudança da cobertura vegetal na Amazônia, possa acarretar consequências climáticas e ambientais em escalas local, regional e global. A conversão de florestas tropicais primárias para áreas agrícolas ou vegetação secundária representa uma das mais profundas mudanças no meio ambiente global da época atual. A fim de entender essas consequências e atenuar seus efeitos negativos, tornam-se necessário um melhor conhecimento da interação tanto de florestas nativas, quanto de vegetações secundárias e de outras formas de usos da terra com a atmosfera.

O entendimento dos processos físicos e químicos associados às trocas de energia, água e carbono entre as florestas tropicais e a atmosfera constitui um enorme desafio para a comunidade científica. O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) é uma iniciativa internacional de pesquisa liderada pelo Brasil em resposta a esse desafio. O LBA está planejado para gerar novos conhecimentos, necessários à compreensão do funcionamento climatológico, ecológico, biogeoquímico e hidrológico da Amazônia, do impacto das mudanças dos usos da terra nesse funcionamento, e das interações entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da Terra (Nobre et al, 1996). Entretanto, é preciso estender o trabalho hoje realizado no âmbito do LBA na Região Amazônica para outros ecossistemas brasileiros, em particular o cerrado onde ocorre grande pressão antropogênica no sentido de alterar o uso do solo por meio da agricultura.

4.5 ESTUDOS DE LONGO PRAZO EM BACIAS PROTEGIDAS PARA CONHECER MELHOR OS FATORES QUE INFLUENCIAM A COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA NOS SISTEMAS HÍDRICOS BRASILEIROS, E A SUA ESTRUTURA BIOLÓGICA.

Qualquer rio, várzea, lago ou volume extenso de água subterrânea é um sistema muito complexo cujo estado em cada instante é uma consequência das ações e interações entre um número enorme de fatores. A precipitação e a demanda evaporativa da atmosfera são os fatores primários que influenciam a quantidade da água; as interações entre a água, a atmosfera, e a matriz sólida (leito de um rio; partículas em suspensão; o solo pelo qual a água percola; as rochas de um aquífero etc) influenciam a composição físico-química. Tanto a quantidade de água como a composição físico-química (pH; temperatura; oxigênio dissolvido; nutrientes; iluminação pela luz do sol etc) influenciam a estrutura e função das comunidades biológicas, compreendendo o plâncton (fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton), os organismos bentônicos, entre os quais se destacam, além de fungos e bactérias, muitos insetos e outros invertebrados, as macrófitas aquáticas que fornecem alimentação e abrigo para inúmeras espécies de invertebrados, e os vertebrados (peixes, anfíbios, pássaros, mamíferos) que representam o topo da pirâmide alimentar. As interações e retroações são altamente complexas, e a complexidade é aumentada ainda mais pela mobilidade tanto da água como das populações que dela dependem.

Um exemplo que ilustra a complexidade do sistema é o seguinte: na sua fase de reprodução, algumas espécies de peixes migratórios retornam, depois de migrações de duram entre três e seis anos, para depositar seus ovos nos cascalhos das mesmas cabeceiras onde nasceram. Assim, um só temporal que perturbe muito estes cascalhos e assim destrua muitos ovos, influencia: (i) a densidade populacional da espécie nos anos seguintes; (ii) o número de peixes que voltam depois da migração para depositar ovos; e, (iii) outras espécies que se alimentam dos peixes migratórios, não necessariamente apenas nas cabeceiras. E este exemplo não menciona os efeitos das influências humanas em termos de

poluição, agricultura intensiva e exploração das populações de peixes e/ou outras espécies. A interação entre a qualidade da água e as comunidades biológicas permitem desenvolver métodos de indicação biológica da qualidade da água (bioindicadores), sob a forma de índices de diversidade biótica, presença/ausência de organismos-chave etc, que em determinadas circunstâncias podem ser mais eficientes e econômicos que os métodos físico-químicos tradicionais.

No planejamento e operação dos recursos hídricos, é freqüentemente necessário fazer previsões sobre as conseqüências de um proposto desenvolvimento; a hidrovía do Alto Paraguai é um exemplo, a construção de reservatórios hidrelétricos é um outro. Para fazer estas previsões em termos quantitativos, e não em termos de adivinhações indefinidas, é necessário um bom conhecimento dos efeitos da multiplicidade de interações entre os aspectos físicos, químicos e biológicos do sistema. Este conhecimento somente resulta a partir de estudos detalhados, de longo prazo, por equipes multidisciplinares, em locais mantidos afastados das influências que resultam da urbanização e outros tipos de desenvolvimento. A hipótese aqui proposta é que não se podem fazer previsões sobre como um determinado ecossistema aquático responderá a novos fatores exteriores, antes de entender como o mesmo funciona em condições naturais. Atualmente, no Brasil, existem poucos grupos interdisciplinares de cientistas que trabalham a longo prazo (30 anos ou mais), em um bioma específico. Um deles está no Inpa, em Manaus, com experiência na ecologia dos lagos de várzea e de igarapés florestais. O programa LBA é um bom exemplo de estudo integrador com forte componente físico, associado aos aspectos climáticos e hidrológicos e outra componente relacionada com o balanço de carbono nos ecossistemas amazônicos, além de uma recente componente de dimensões humanas, voltada para o entendimento da dinâmica do desmatamento e dos impactos sociais produzidos pelas alterações ambientais regionais. Outros grupos multidisciplinares incluem a Universidade Federal de São Carlos e a USP (Campus de São Carlos), com experiência no sistema do Rio Tietê; o Cena/USP no Rio Piracicaba e em Rondônia, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com estudos do Sistema Hidrológico do Taim, no âmbito do Programa Integrado

de Ecologia – Pesquisas Ecológicas de Longo Prazo (PELD), do CNPq; e o Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura (Nupelia), da Universidade Estadual de Maringá, com um grupo bem consolidado, atuando em afluentes do Rio Paraná e suas planícies de inundação (este grupo tem atuado no Reservatório de Itaipu).

A proposta deste documento é de estabelecer, dentro de cada bioma principal, um ou preferivelmente dois locais – pequenas sub-bacias, áreas de várzea, setores de reservatórios, conforme a natureza do bioma – a serem mantidos invioláveis, e devotados à pesquisa para elucidar a complexidade das interações entre os fatores físicos, químicos e biológicos. Estes locais (*benchmark* locais) seriam preservados por um tempo de 20 anos ou mais, e seriam usados adicionalmente: (a) para monitorar os efeitos de mudanças climáticas; (b) para funcionar como laboratórios a céu aberto; e, (c) para fornecer dados de alta qualidade para fundamentar modelos quantitativos dos processos físicos, químicos (eventualmente), biológicos e ecológicos.

O caso específico do Cerrado merece uma atenção especial. É no Cerrado onde ocorreram e deverão ocorrer as maiores alterações ambientais em função da expansão da fronteira agrícola. Certamente haverá uma enorme pressão para aumento da produção agrícola nos próximos 10-30 anos. Algumas estimativas conservadoras, baseadas em taxas de crescimento de exportação em níveis baixos, indicam aumento de 30-40% nos próximos 10 anos. A questão que se coloca aqui é a seguinte: como este aumento será obtido? Através do aumento da área utilizada pela agricultura? Ou com o aumento da produtividade? Em ambos cenários deverá haver significativo impacto nos ecossistemas naturais e no ciclo hidrológico da região. Algumas perguntas de fundamental importância são:

Quais são os impactos ambientais:

- no solo ?
- nas água subterrânea?
- nas águas superficiais

- nas emissões de gases traço pelas atividades agropecuárias (óxidos de nitrogênio, ozônio, metano e outros hidrocarbonetos etc)?
- nas emissão de aerossóis (biogênicos, solo, queimadas)?
- no clima regional (mudança do uso do solo, efeito dos aerossóis/gases na estrutura microfísica das nuvens e precipitação, balanço de energia)?

É fundamental dar início a estudos de riscos sobre o impacto da variabilidade e mudança climática no funcionamento dos recursos hídricos nas regiões onde a agricultura deverá passar por grande expansão nos próximos anos. Também é importante que haja um maior investimento em pesquisas que indiquem caminhos sustentáveis para esse modelo de crescimento agrícola, indicando possíveis medidas de políticas públicas que sejam necessárias para preservar a os sistemas naturais em níveis compatíveis com a sustentabilidade dos sistemas econômico e social.

A complexidade do sistema físico-químico-biológico é enorme. Portanto, é necessário começar com estudos intensivos das partes que são mais simples de elucidar. Estas partes são os componentes físicos do sistema, que envolve aspectos do ciclo hidrológico e das variáveis conservativas a ele vinculadas, especialmente transporte e deposição de sedimentos. Especificamente, o trabalho inicial (Fase A) em cada *benchmark* local consistiria das seguintes atividades:

- Planejamento e extensão das redes para a medição da precipitação (inclusive a medição da intensidade da chuva por instrumentos com memória digital) e de outros parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade, ventos e pressão atmosférica;
- Atualização e manutenção contínua da curva-chave, instalação de novos postos para a medição das cotas e das vazões dentro do sistema;
- Instalação de equipamentos para a estimacão da evaporação potencial e atual, e para a medição da evaporação atual a partir do método de fluxo turbulento de umidade e de carbono (já que o entendimento da evapotranspiração passa pela dinâmica da vegetação);
- Medidas de umidade do solo a diversas profundidades;



- Medição no campo das curvas que descrevem o comportamento da água no solo (curva que relaciona umidade no solo com a tensão, e a curva que relaciona umidade do solo com a condutividade não-saturada);
- Estudos sobre a taxa do transporte de água fora da zona das raízes até os aquíferos;
- Estudos sobre a erosividade da precipitação, sobre o transporte superficial de sedimentos, e sobre o transporte e deposição de sedimentos nos trechos dos rios;
- (Muito importante) revisão regular (trimestral?) dos dados coletados, preparação de um relatório para divulgação na Internet;
- (Muito importante) utilização dos dados para desenvolver modelos do comportamento hidrológico-sedimentológico de cada *benchmark* local.

A Fase B do trabalho em cada *benchmark* local juntaria aspectos químicos com os aspectos físicos da Fase A, e também poderia ser conduzida em paralelo com ela, uma vez que se tomem decisões sobre os seguintes tópicos:

- A frequência e o método utilizado para coletar amostras de água;
- As variáveis mais apropriadas para a quantificação da qualidade química da água;
- As técnicas analíticas a serem utilizadas nos laboratórios na determinação destas variáveis;
- Comparações entre laboratórios de modo que os padrões de qualidade de água em diferentes *benchmark* locais sejam comparáveis;
- Planejamento da rede de locais nos quais pretende-se coletar amostras de água;
- Concordância sobre os métodos a serem usados para interpolação da qualidade de água nos locais onde amostras não podem ser coletadas; e, talvez, desenvolver estes métodos se não existirem métodos satisfatórios.

A Fase C do trabalho em cada *benchmark* local desenvolveria os estudos biológicos necessários para responder às perguntas do tipo “O que vai acontecer se...?” (“*what if...?*”) no contexto biológico-ecológico, e para estender a

capacidade dos modelos físico-químicos. O trabalho, que cobre uma gama enorme, poderia ser desenvolvido em paralelo com os trabalhos das Fases A e B, necessitando atenção aos seguintes tópicos (entre muitos outros):

- Conhecimento do ciclo de vida das espécies principais do fitoplâncton e zooplâncton, de invertebrados, de vertebrados e de macrófitas aquáticas, incluindo reprodução e as influências de fatores físicos (temperatura, luz, concentração de sólidos em suspensão etc.) e químicos (pH, oxigênio dissolvido, N, P, metais pesados etc) sobre a reprodução;
- Estudos da dinâmica populacional de cada espécie de importância na cadeia alimentar;
- Estudos das interações presa-predador entre populações, e dos efeitos de fatores físicos e químicos sobre estas interações; estudos de preferência alimentar das espécies;
- Estudos da estrutura de comunidades de invertebrados bentônicos, de peixes etc, em função da qualidade da água e dos impactos de atividades antrópicas sobre a qualidade, com vistas a estabelecer bioindicadores para monitorar a qualidade da água.

4.6 INTEGRAÇÃO COM TRABALHOS JÁ EM ANDAMENTO

Alguns locais já existem que são “laboratórios a céu aberto” para universidades e centros de pesquisa, e que possivelmente poderiam ser incorporados no quadro aqui proposto. As vantagens disto são óbvias (já existe infra-estrutura, redes básicas de observação, transporte etc), mas ao mesmo tempo é preciso evitar expediência e se lembrar que os *benchmark* locais seriam planejados para monitorar sistemas naturais que não serão afetados por fatores humanos (urbanização, mudança extensa no uso do solo etc) nos 20 ou mais anos necessários para monitoramento de longo prazo. Cabe lembrar aqui o programa do CNPq denominado Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (Peld), com diversos sítios de pesquisas já selecionados no Brasil, dos quais foi mencionado

acima o Sistema Hidrológico do Taim, mas que envolve também outros sítios com predominância de sistemas hídricos como o Pantanal Sul, o Pantanal Norte, o Sistema Lacustre do Médio Rio Doce, as Restingas e Lagoas Costeiras do Norte Fluminense, a Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, e o Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Adjacente (mais informações no endereço eletrônico <http://www.icb.ufmg.br/~peld/home.html>).

5. RECOMENDAÇÕES PRIORIZADAS

No decorrer desse trabalho foram enumeradas diversas ações fundamentais para contribuir para o aprimoramento da capacidade observacional dos sistemas hídricos no Brasil, dando ênfase ao fato de haverem enormes diferenças regionais no funcionamento dos sistemas hídricos. Também foi enfatizada a necessidade de estudos sobre a influência antrópica, sobretudo em função do avanço da agricultura moderna, de alta eficiência e que coloca uma demanda extra nos recursos hídricos. Particular atenção foi dada ao fato de a influência antrópica ocorrer de forma particularmente intensa e concentrada nos grandes centros urbanos.

Alguns tópicos que requerem especial atenção são:

- São necessários melhores modelos (por exemplo, modelos chuva-vazão distribuídos) de previsão para o setor energético;
- Extensão destes modelos para incluir previsões e simulações da precipitação e da evaporação;
- Estabelecimento de bacias **benchmark** para monitoramento de mudanças no regime hidrológico, e para melhorar o conhecimento dos sistemas naturais (interações entre processos físicos-químicos-biológicos);
- Desenvolvimento de sistemas de observação e modelagem do transporte de sedimentos, e do assoreamento dos reservatórios;
- Formação de uma base de dados que unifique os dados meteorológicos, da água da superfície, e da água subterrânea.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allasia, D. 2002. Impacto Das Incertezas No Custo De Uma Rede De Macrodrenagem. Dissertação De Mestrado, Iph, Ufrgs. Porto Alegre Brasil.

Azevedo, L.G., J. Adámoli, 1988. Avaliação Agroecológica Dos Recursos Naturais Da Região De Cerrados. In: Simpósio Sobre O Cerrado, 6, Brasília, Embrapa/Cpac, 729-761.

Betts, A. K., J. H. Ball, A. C. M. Beljaars, M. J. Miller And P. Viterbo, 1994: Coupling Between Land-Surface, Boundary-Layer Parameterizations And Rainfall On Local And Regional Scales: Lessons From The Wet Summer Of 1993. Fifth Conference On Global Change Studies: Amer. Meteor. Soc., 74th Annual Meeting, Nashville, Tenn., Jan 23-28.

Beven K J, Lamb R, Quinn P, Romanowicz R, Freer J. 1995. Topmodel. In: Singh, V P. (Editor) Computer Models Of Watershed Hydrology (Water Resources Publications, Highlands Ranch, Co, Usa. 1130p

Boyle, D P, Gupta H V, Sorooshian S. 2000 Toward Improved Calibration Of Hydrologic Models: Combining The Strengths Of Manual And Automatic Methods. Water Resour. Res. 36(12) P3663-74.

Clarke R T. 2002a. Frequencies Of Future Extreme Events Under Conditions Of Changing Hydrologic Regime. Geophys. Research Letters (Aceito Para Publicação)

Clarke R T, 2002b. Estimating Trends In Data From The Weibull And A Gev Distribution. Water Resources Research, June 2002.

Clarke R T 2002c. Estimating Time Trends In Gumbel-Distributed Data By Means Of Generalized Linear Models. Water Resources Research, July 2002.

Clarke R T. 2002d. Fitting And Testing The Significance Of Linear Trends In Gumbel-Distributed Data. *Hydrology And Earth System Sciences* 6(1) 17-24.

Clarke R T. 2001. Separation Of Year And Site Effects By Generalized Linear Models In Regionalization Of Annual Floods. *Water Resources Research*, Vol37, No. 4, Pp 979-986.

Coe R, Stern R D. 1982. Fitting Models To Daily Rainfall. *J. Appl. Meteorol.* 21, 1024-31.

Collischonn W 2001. Simulação Hidrológica De Grandes Bacias. Tese De Doutorado, Iph-Ufrgs P 194.

Collischonn, W. E C. E. M. Tucci, 2001: Simulação Hidrológica De Grandes Bacias. *Rbrh*, V6, 1, 95-118.

Cutrim, E., D. Martin, R. Rabin, 1995: Enhancement Of Cumulus Clouds Over Deforested Lands In Amazonia. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 76, 1801-1805.

Gupta H, Sorooshian S, Yapo P O 1998. Toward Improved Calibration Of Hydrologic Models: Multiple And Noncommensurable Measures Of Information. *Water Resour. Res.* 34(4) P751-63.

Mccullagh P, Nelder J A 1989. *Generalized Linear Models (2a Edição)*. Chapman & Hall, Londres.

Nobre P. And J. Shukla 1996: Variations Of Sea Surface Temperature, Wind Stress, And Rainfall Over The Tropical Atlantic And South America. *J. Climate*, 9, 2464-2479.

Nobre, C. A., J.C. Gash, R. Hutjes, D. Jacob, A. Janetos, P. Kabat, M. Keller, J. Marengo, J. R. Mcneal, P. Sellers, D. Wickland, S. Wofsy, 1996: The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment In Amazonia (Lba). Concise Experimental Plan. Compiled By The Lba Science Planning Group. Staring Center-Dlo, Wageningen, The Netherlands.

Passerat De Silans, A. M. B; Almeida, C. N., Albuquerque, D. J. S.; Paiva, A. E. D. B 2000 Aplicação Do Modelo Hidrológico Distribuído Açumod À Bacia Hidrográfica Do Rio Do Peixe – Estado Da Paraíba. Revista Brasileira De Recursos Hídricos, Vol. 5 No. 3.

Rocha, R. Da Rocha And P. L. Silva Dias, 1994: The Energy Balance In Central-Northeast Brazil And The Meteorological Systems. An.Acad.Bras.Ci., 66 (Supl. 1), 101-108.

Shukla, J., Mintz, Y., 1982. Influence Of Land Surface Evapotranspiration On The Earth's Climate, Science, 215, 1498-1501.

Shuttleworth, W. J.1988. Evaporation From Amazonian Rain Forest. Proc. Roy. Met. Soc. B, 233: 321-346.

Silva Dias, M. A. F. And P. Regnier 1995. Simulation Of Mesoscale Circulation In Deforested Areas Of Rondonia In The Dry Season. In Amazon Deforestation And Climate, Eds. J.C.H. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts And R. Victória. John Wiley & Sons, Chichester, Uk, P. 531-548.

Silva Dias, P.L. E J. Marengo, 1999: Águas Doces Do Brasil: Águas Atmosféricas, Capital Ecológico, Uso E Conservação. Editado Por A.Rebouças, B. Braga E J. Tundizi. Instituto De Estudos Avançados E Academia Brasileira De Ciências, Pp 65-115.

Silva Dias, M.A., S. Rutledge, P. Kabat, P.L. Silva Dias, C.A. Nobre, G. Fisch, A.J. Dolman, E. Zipser, M. Garstang, A. Manzi, J.D. Fuentes, H. Rocha, J. Marengo, A. Plana-Fattori, L. Sá, R. C. Alvala, M.O. Andrea, P. Artaxo, R. Gielow, L. Gatti, 2002a: Cloud And Rain Processes In A Biosphere Atmosphere Interaction Context In The Amazon Region. In Press For Publication In J.Geophys.Res..

Silva Dias, M.A.F., W. Pettersen, P.L. Silva Dias, R. Cifeli, A.K. Betts, M. Longo, A.M Gomes, G.F. Fish, M. A.Lima, M.A. Antônio, R.I. Albrecht, 2002b: A Case Study Of Convective Organization In Precipitating Lines In The Southwest Amazon During The Wetamc And Trmm Lba. Accepted For Publication In The J. Geophys. Res.

Silveira, André L. Lopes da, 1997. Provável Efeito Urbano Nas Relações Idf Das Chuvas De Porto Alegre. Revista Brasileira De Engenharia, Vol. 2, Nro. 2.

Sud, Y.C., Sellers, P.J., Chow, P., Walker, G.K., Smith, W.E., 1990. Influence Of The Biosphere On The Global Circulation And Hydrological Cycle - A Gcm Simulation Experiment. Agric. For. Met., 52. 133-188.

Sorooshian S, Gupta V K. 1995. Model Calibration. In: Singh, V J (Editor): Computer Models Of Watershed Hydrology (Water Resources Publications, Highlands Ranch, Co, Usa. 1130p

Sorooshian S, Gupta H V, Bastidas L A 1998. Calibration Of Hydrologic Models Using Multi-Objectives And Visualization Techniques. Final Report Ear 9418147. Dep. Hydrology & Water Resources, University Of Arizona 78p.

Stern R D, Coe R. 1984. A Model Fitting Analysis To Daily Rainfall. J. R. Statist. Soc., A 147, 1-34.

Tucci C E M 1998. Modelos Hidrológicos. Abrh Editora Da Ufrgs. Porto Alegre 669p

Tucci C E M 1991. Regionalização De Vazões Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre: Iph-Ufrgs.

Villanueva, A. O. N., and C. E. M. Tucci. 2001. Simulação De Alternativas De Controle Para Planos Diretores De Drenagem Urbana. Em: Soluções Para A Drenagem Urbana Em Países Da América Latina, Seminário De Drenagem Urbana Do Mercosul - V Seminário Nacional De Drenagem Urbana, Porto Alegre, 2001, Porto Alegre: Editora Abrh.

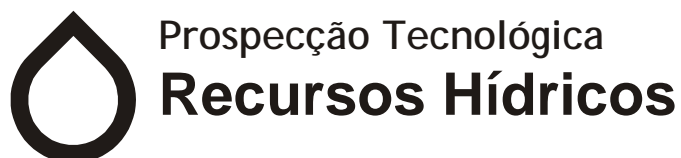
Wood E F, Lettenmaier D P, Zartarian V G. 1992 A Land Surface Hydrology Parameterization With Subgrid Variability For General Circulation Models. J. Geophys. Res., 97(D3) P2717-28.

Wood, E.F. 1994. Scaling, Soil Moisture And Evapotranspiration In Runoff Models. Adv. Water Res. ,17. 25-34.

Xavier, T. M.B.S., M.A.F. Silva Dias E A.F.S. Xavier, 1992: Tendências Da Pluviometria Na Grande São Paulo E A Influência Dos Processos De Urbanização E Industrialização. Anais, Vii Congresso Brasileiro De Meteorologia, V1, 220-224.

Xavier, T.M.B.S , A.F.S.Xavier E M.A.F.Silva Dias, 1994: Evolução Da Precipitação Diária Num Ambiente Urbano: O Caso Da Cidade De São Paulo. Rev. Brasileira De Meteorologia, Vol. 9, 44- 53.

Xavier, T.M.B.S., A.F. Xavier, P.L. Silva Dias E M.A.F.Silva Dias, 2000: A Zona De Convergência Intertropical - Zcit E Suas Relações Com A Chuva No Ceará (1964-98). Rev. Bras. De Meteorologia, 15,1, 27-43.



Racionalização do Uso da Água no Meio Rural

Documento Final

Andres Troncoso Vilas
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE

Dezembro, 2003

SUMÁRIO

1. Antecedentes	5
1.1 Fundo Setorial de Recursos Hídricos	5
1.2 Prospecção Tecnológica para o CT-Hidro	5
2. Justificativa	9
3. Objetivo	11
4. Cenário mundial	12
4.1 Uso eficiente	12
4.2 Crescimentos da demanda e da oferta	14
4.3 Água na agricultura	18
4.4 Eficiência técnica e econômica	19
4.5 Dessalinização	22
4.6 Cenário mundial da água	24
5. Cenário brasileiro	28
6. Água no meio rural	37
6.1 Principais usos da água no meio rural	37
6.2 Eficiência do uso da água no meio rural	40
6.3 Práticas adotadas no mundo para aumento da eficiência no uso da água e as já desenvolvidas no Brasil	42
6.4 Principais aspectos de CT&I que necessitam de desenvolvimento	47
6.4.1 Estudos sobre biomas e ecossistemas brasileiros	50
6.4.2 Desafios e oportunidades de CT&I	52
6.5 Principais grupos de pesquisa	60
6.6 Lacunas em perfis de pesquisadores, para superação dos gargalos científicos e tecnológicos identificados	62
6.7 Questões a serem discutidas no "workshop"	63
6.7.1 Questões relacionadas à demanda	64
6.7.2 Questões relacionadas à oferta	65
6.7.3 Questões relacionadas à qualidade	66
CONTRIBUIÇÕES INSTITUCIONAIS E REGIONAIS	69
Dr. B. E. Santo	70

7. Ações futuras de CT&I	71
8. Estratégias de articulação intersetorial	72
8.1 Parcerias estratégicas no plano federal, estadual e municipal	73
8.2 Sistema institucional de gestão de recursos hídricos	73
9. Referências bibliográficas	76
10. Anexos	79
Anexo 2: Necessidade de desenvolvimentos de CT&I em evaporação	81
Anexo 3: Seca no nordeste do Brasil: condições para o desenvolvimento sustentado da região	84
Anexo 4: O Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária	88
Anexo 5: Reúso da água	89
Anexo 6: Parceiros potenciais em P&D (unidades da Embrapa)	90
Centro-Oeste	90
Norte	90
Nordeste	90
Sudeste	90
Sul	90
Anexo 7: Programa Prospectar/MCT	91

1. ANTECEDENTES

1.1 FUNDO SETORIAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Os Fundos Setoriais de CT&I foram criados para incentivar o desenvolvimento científico e tecnológico em áreas estratégicas e construir uma nova forma de financiamento de investimento em CT&I, apoiando “desde encontros, congressos, publicações, auxílios individuais, infra-estrutura de pesquisa, bolsas de formação e de fomento tecnológico, projetos cooperativos entre universidades e empresas, rede cooperativas, entre entidades de pesquisa, até grandes projetos estruturantes.” (MCT, 2000).

O Fundo de Recursos Hídricos (CT-Hidro) foi criado pela Lei 9.993, de 24/07/2000, e se baseia em recursos para compensação financeira pela exploração de recursos hídricos. As prioridades básicas do financiamento das atividades pelo Fundo estabelecidas na referida Lei prevêem: “financiamento de projetos científicos e de desenvolvimento tecnológico, destinados a aperfeiçoar os diversos usos da água, de modo a garantir à atual e às futuras gerações alto padrão de qualidade, utilização racional e integrada com vistas ao desenvolvimento sustentável, e à prevenção e defesa contra fenômenos hidrológicos críticos ou devido ao uso inadequado de recursos naturais”.

1.2 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA PARA O CT-HIDRO

As bases conceituais deste exercício de prospecção tecnológica em recursos hídricos assentam-se nos princípios orientadores das Diretrizes Estratégicas do CT-Hidro, que ressaltam os principais desafios em CT&I, a partir de uma avaliação da questão da água no Brasil e no mundo, conforme apresentadas a seguir:

- escassez da água em termos quantitativos e qualitativos;
- proteção contra o excesso de água;

- deterioração da qualidade da água nos ecossistemas;
- percepção inadequada de decisores e do público em geral sobre a gravidade da questão da água;
- fragmentação e dispersão das ações de gerenciamento dos recursos hídricos;
- fontes de financiamento insuficientes para a resolução dos problemas relativos aos recursos hídricos;
- potenciais conflitos em rios compartilhados por mais de estado ou um país;
- potencial mudança climática e seus efeitos no uso e conservação da água.

As linhas de ações associadas aos desafios foram caracterizadas em:

(a) *Pesquisa e desenvolvimento:*

- sustentabilidade hídrica de regiões semi-áridas;
- água e o gerenciamento urbano integrado;
- gerenciamento dos impactos da variabilidade climática sobre sistemas hídricos;
- uso e conservação dos solos e de sistemas hídricos;
- usos integrados dos sistemas hídricos e conservação ambiental;
- prevenção e controle de eventos extremos;
- qualidade da água dos sistemas hídricos;
- gerenciamento das bacias hidrográficas;
- uso sustentável dos recursos hídricos costeiros.

(b) *Estudos de base:* ações voltadas para o conhecimento das características e do funcionamento de ambientes e sistemas hídricos brasileiros.

(c) *Produtos e processos:* ações de apoio ao desenvolvimento tecnológico de produtos e processo para recursos hídricos, tais como equipamentos de

monitoramento e de laboratório, dispositivos para controle e uso da água, aplicativos de simulação, sistemas de apoio à decisão para gerenciamento.

(d) *Recursos humanos*: ações de capacitação formal de pessoal em diferentes níveis.

(e) *Infra-estrutura*: ações de apoio ao desenvolvimento e à consolidação da infraestrutura para laboratórios de qualidade da água, aferição de equipamentos, simulação hidráulica, entre outros.

O Plano Plurianual de Investimentos do CT-Hidro se baseou em programas e identificou temas que careciam de maior aprofundamento, definindo-se, assim, a necessidade de realização de estudos prospectivos. Os programas, estabelecidos em áreas específicas, permitiram definir linhas de investimentos prioritárias, enquanto que os estudos prospectivos visavam estabelecer focos de investimentos de CT&I dentro da realidade nacional. Assim, em 2002, foram selecionados os temas abaixo relacionados:

- Qualidade da água;
- Racionalização do uso da água no meio rural;
- Desenvolvimento de produtos e equipamentos;
- Qualidade da água subterrânea;
- Avaliação e observação dos sistemas hídricos brasileiros;
- Transferência de tecnologia em saneamento.

A metodologia utilizada para este exercício de prospecção tecnológica em recursos hídricos envolveu as seguintes etapas: (a) seleção de um ou mais consultor para preparação de documento de base para discussão; (b) avaliação por parte do CGEE do documento; (c) discussão do documento com um painel de especialistas no assunto; (d) revisão do documento após as sugestões dos especialistas e, na seqüência, revisado pelo CGEE; (e) apresentação do documento revisado em workshop, envolvendo os seis temas selecionados visando sua integração, identificação de interfaces, discussão e recomendações; (f) revisão final por parte do consultor e do CGEE para publicação.

Este documento refere-se ao tema racionalização do uso da água no meio rural, e foi utilizado para a discussão em painel de especialistas da área.

2. JUSTIFICATIVA

No mundo e no Brasil, o crescimento populacional, industrial e agrícola tem provocado um aumento cada vez maior da demanda por recursos hídricos. A água doce seja superficial ou subterrânea, vem sendo considerada por alguns especialistas como o recurso natural mais valioso desse milênio. Na Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin, Irlanda, em janeiro de 1992, já se alertava sobre a escassez e o mau uso da água como fatores de grande e crescente risco ao desenvolvimento sustentável e à proteção do meio ambiente.

Os problemas atuais relacionados à gestão de recursos hídricos são desafiadores e urgentes. Em vários biomas, na agricultura e na indústria, a água é um insumo estratégico e finito. Para prover safras abundantes e garantir a segurança alimentar às populações, a água é fundamental, principalmente no desenvolvimento crescente da agricultura irrigada, sendo um grande desafio o seu uso mais racional. Dentre os diversos pontos abordados na Declaração de Dublin, destaca-se aquele em que se discutem a reutilização e a conservação da água. Na área industrial, em especial, estima-se que a reciclagem de água poderia reduzir em 50% o consumo das indústrias e proporcionar o benefício adicional de redução da poluição. Para isso, foi ressaltada a necessidade de capacitação técnica dos setores de avaliação e gestão dos recursos hídricos.

No Brasil, em vista da importância da água e os problemas associados à sua escassez, foi criada, em 17 de julho de 2000 (Lei nº 9.984), a Agência Nacional de Água (ANA), uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério de Meio Ambiente. A criação da ANA para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e atuar como agente regulador no uso desses recursos, demonstra a preocupação do governo brasileiro com a gravidade do problema e sua disposição em atuar de forma incisiva na busca de soluções.

A água desempenha papel fundamental em várias fases da agricultura, pecuária e agro-indústria. A irrigação é o maior usuário de água em nível mundial e, também, no Brasil. Mas, as práticas de utilização da água na irrigação têm

mostrado, nos últimos anos, que o desperdício é muito alto na captação, distribuição, uso e drenagem dos sistemas. O custo da irrigação é relativamente elevado e uma parcela importante de terras produtivas não pode ser utilizada por falta de água. Torna-se, assim, importante para a definição de novos projetos do CT-Hidro identificar pesquisas e ações voltadas para o aumento da disponibilidade hídrica e para o uso racional da água na agricultura, por meio de: desenvolvimento de sistemas de captação e irrigação mais eficientes, aprimoramento de equipamentos mais eficientes e econômicos, adoção de práticas agrícolas sustentáveis, maior conhecimento das relações água/solo/planta, reuso de águas urbanas e industriais, dessalinização, climatologia, conhecimento dos processos de previsão de chuvas, entre outros.

O tema, racionalização do uso da água no meio rural, objeto deste estudo prospectivo, apresenta várias facetas, todas importantes. Para facilitar a identificação de gargalos científicos e tecnológicos mais relevantes, as principais questões de P&D relacionadas com o uso da água no meio rural e desenvolver um eficiente esforço analítico sobre a temática, foi estabelecido um foco, ou seja, foram considerados como pontos mais relevantes no tema, as questões relacionadas com o aumento da eficiência técnica e econômica no uso da água para irrigação.

3. OBJETIVO

O objetivo deste documento é o de apresentar um estudo de natureza prospectiva sobre a racionalização de uso da água no meio rural, identificando linhas de investimentos prioritárias nesse tema.

Para alcançar esse objetivo, foram estabelecidas as seguintes metas específicas:

- identificar os principais usos da água no meio rural, no país, buscando caracterizar a importância socioeconômica de cada componente;
- discutir a eficiência do uso da água no meio rural, de acordo com os componentes anteriores, destacando ineficiências e as principais causas a elas relacionadas;
- verificar as práticas adotadas no mundo para aumento da eficiência no uso da água e as já desenvolvidas no Brasil;
- apresentar os principais aspectos de C & T que necessitam desenvolvimento para propiciar aumento da eficiência do uso da água no meio rural;
- identificar os principais grupos de pesquisa habilitados para trabalhar com a questão do aumento da eficiência do uso da água no meio rural;
- apresentar gargalos científicos e tecnológicos identificados;
- apresentar questões a serem discutidas no painel de especialistas e no workshop sobre o tema.

4. CENÁRIO MUNDIAL

A água é a base da vida em nosso planeta; sem ela as terras férteis se tornam áridas e os animais e as plantas são incapazes de sobreviver. No início do terceiro milênio a água se converteu em um recurso estratégico por sua escassez e pelas dificuldades de se obter água fresca de boa qualidade a um custo aceitável. Portanto, existe necessidade urgente de estabelecer estratégias com objetivo de obter uso sustentável dos recursos hídricos.

Parecem incríveis as várias estimativas de falta de água no mundo, ao considerar que este é um planeta cuja superfície é coberta principalmente por água. Mas, 97% desta é imprópria para consumo humano ou para irrigar cultivos, por ser salgada e parte do resto está fora de alcance em aquíferos profundos, glaciais e calotas polares.

O maior setor consumidor individual de água é a agricultura, foco deste estudo. A ineficiência desse setor é relativamente grande no uso da água. Em termos gerais, estima-se que metade da água direcionada para a agricultura nunca produz alimento algum.

4.1 USO EFICIENTE

A seleção do tipo de plantio pode produzir importante impacto no consumo de água. O cultivo de hortaliças por meio dos tradicionais sistemas de irrigação requer 40% mais água do que o cultivo dessas mesmas hortaliças com sistemas de irrigação localizada, por exemplo, como o gotejamento. O cultivo de arroz irrigado em algumas localidades, como, por exemplo, no Nordeste brasileiro, não é racional em termos de eficiência técnica e econômica: a opção pelo uso da água, um insumo escasso, para a irrigação no cultivo de frutas tropicais, produtos mais rentáveis, naquela região é mais adequada segundo vários critérios técnicos e/ou econômicos.

Mesmo a dieta humana produz efeito na demanda geral de água pela população. O cultivo de uma tonelada de milho utiliza cerca de 100 a 200 mil litros de água, dependendo das condições de solo, clima e sistemas de irrigação. O milho pode ter usos mais ou menos nobres e eficientes. Em alguns países, ele é usado para criação e engorda de gado em sistemas intensivos com confinamento, o que demanda de 2.000 a 8.500 litros de água para produzir uma tonelada de carne. Pode-se conservar muita água, simplesmente alterando a tecnologia de produção de carne, de intensiva para extensiva, por exemplo, criando gado em pastagens no Centro-Oeste brasileiro, sem o uso de milho.

A localização de populações usuárias de água também determina grandes diferenças em ganhos de eficiência no uso da água. Cem mil empregos, em setor de alta tecnologia, como a eletrônica na Califórnia, podem ser mantidos com 1,2 milhões m³ de água por ano. A mesma quantidade de água usada na agricultura extensiva suportaria cerca de 10 empregos. Uma impressionante diferença que permite prever que ocorrerá uma pressão crescente entre as demandas de água para o setor agrícola e outros setores, mais desenvolvidos e menos intensivos no uso da água. Se as comunidades no meio rural não adotarem medidas conservadoras e mais eficientes no uso da água, aumentarão os conflitos entre os setores urbanos e rurais.

No setor energético, o Brasil tem grande dependência da água para gerar energia. Em termos mundiais, o Brasil é um dos grandes produtores de energia hidrelétrica com 10% produção mundial, com um sistema singular pela dependência de hidroelétricas. Mas o setor de energia, tido como eficiente, com planejamento setorial e profissional, passa por uma crise de oferta de energia com conseqüências sobre o crescimento de sua economia, emprego, qualidade de vida da população etc.

A matriz energética brasileira é baseada em disponibilidade hídrica, pois 83% da produção são provenientes de hidrelétricas. Nos últimos anos, o setor vem alertando a sociedade e os governantes da grande possibilidade de falta de energia devido ao descompasso de aumento de demanda com menor investimentos em oferta. O recente racionamento de energia não foi pior porque, nos últimos anos, as chuvas possibilitaram vazões acima da média, aumentando

transitoriamente a energia gerada. Se a tendência climática fosse de seca, a crise teria sido ainda mais séria.

A variabilidade climática pode desequilibrar um sistema hidrelétrico por períodos longos, quando a matriz é fortemente dependente da hidrologia. Além disso, em várias regiões brasileiras, como no Nordeste e no Centro-Oeste, a água também é demandada para uso crescente na agricultura irrigada, o que possibilita conflito com o uso na geração de energia.

Esses conflitos poderão ser minimizados pela racionalização do uso da água dentro de uma visão sustentável. O caminho é longo e demanda muito conhecimento científico e tecnológico para administrar diferentes usos, conservação ambiental e conflitos de interesses que compõem o sistema socioeconômico.

Em síntese, os desafios que a humanidade enfrenta quanto ao uso e escassez da água são:

- usar a água disponível de forma mais eficiente;
- revisar as prioridades para o uso da água;
- identificar ofertas alternativas desse precioso recurso natural finito.

4.2 CRESCIMENTOS DA DEMANDA E DA OFERTA

Enquanto a demanda 'per capita' da água está crescendo com uma taxa pequena ou se estabilizando, o consumo total da água teve grande aumento e consolidou-se no final do século passado. Como resultado, a pressão para construir novas represas tem diminuído nas últimas décadas. Embora a população, a industrialização e a produtividade econômica tenham crescido nos países desenvolvidos, a taxa de retirada de água para consumo humano de aquíferos, rios e lagos, tem crescido menos. Em algumas regiões do mundo, essa demanda tem, inclusive, diminuído.

Conforme apresentado na figura 4.1, nos anos 1960 a 2000, a retirada de água de rios, aquíferos e outras fontes aumentou nove vezes, enquanto a retirada "per

capita” somente aumentou duas vezes. Ainda que essas tendências sejam razoáveis, vários especialistas no tema manifestam preocupações com o futuro, quando a escassez de água poderá predominar em muitos países. Estimativas da disponibilidade de água potável “per capita” para o ano de 2025 indicam que 40% da população mundial, então 7,2 bilhões de pessoas, poderão enfrentar sérias limitações com falta de água para consumo humano, industrial ou agrícola.

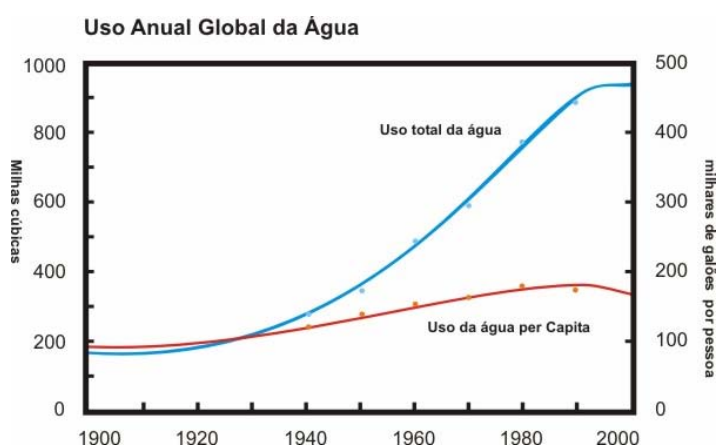


Figura 4.1 - Tendência do uso da água e o consumo “per capita”

A disponibilidade de água apresentada na figura 4.1 depende de vários fatores como condições políticas e econômicas, mudanças de padrões climáticos e tecnologias disponíveis.

Três conjuntos de fatores determinantes são: (a) em alguns países existem práticas de racionalização de uso da água; b) prioridade de racionalização da água contra a busca de novos mananciais; e, c) progressos científicos e tecnológicos têm viabilizado maiores eficiências técnicas e/ou econômicas.

Nos últimos anos, em vários países, a quantidade de água consumida por pessoa tem diminuído, também, graças a um conjunto de novas tecnologias que tem ajudado a conservar água nos lares, nas indústrias e nas fazendas.

Com o crescimento da população mundial, mais barragens, aquedutos, canais e outros tipos de infra-estrutura deverão ser construídos particularmente em países em desenvolvimento em que as necessidades básicas de suas populações ainda não foram satisfeitas. Tais obras deverão obedecer a padrões mais adequados a

essas populações e ao meio ambiente, do que o observado no passado. Ou seja, devem-se encontrar meios para satisfazer demandas com recursos menores, danos ambientais mínimos e menos dinheiro.

A solução mais rápida e barata é expandir o uso produtivo e eficiente da água. Em muitos países, 30% ou mais da oferta de água para o consumo humano nunca chega ao seu destino final, desaparecendo em perdas em tubulação, equipamentos defeituosos ou em sistemas de distribuição mal mantidos. Quando a água chega aos consumidores finais, em muitas cidades ela também é mal gasta. Em vários países, como Canadá, Estados Unidos e México existem esforços para reduzir em 70% a quantidade de água usada nos “toilets”. Por certo, isso resulta de uma contribuição à racionalização importante, cuja relação benefício/custo tem sido tão favorável, que várias cidades têm implementado, com sucesso, programas para estimular esse ajuste e promover um uso mais racional da água.

Outras opções para racionalização do uso da água em países desenvolvidos e em desenvolvimento estão disponíveis ou sendo pesquisadas nas áreas de detecção de vazamentos, máquinas e equipamentos de lavar mais eficientes, irrigação localizada por micro aspersão ou gotejamento e estações de tratamento de água para reuso, entre outras.

Nos locais de água escassa, o reuso da água tem sido uma das alternativas para parte do consumo da água. A água de reuso é utilizada para fins menos nobres. Não é justificável o uso de água nobre de qualidade para descargas em “toilets” ou para regar jardins. Muitos países desenvolvidos gastam bilhões de dólares para coletar e tratar água usada antes de lançá-la a um rio ou oceano. Por outro lado, em alguns países pobres, a água usada é simplesmente despejada sem tratamento em um rio ou lago onde pode causar problemas à saúde humana ou ao meio ambiente.

Recentemente, maior atenção tem sido dada ao tema de reuso dessas águas. Águas servidas podem ser tratadas para uso em diferentes situações tais como recarga de aquíferos, usos industriais, irrigação de certas culturas, ou mesmo para aumentar a oferta de águas potáveis, em períodos mais secos, como ocorre na Namíbia, em Israel e nos Estados Unidos.

Novas estratégias para satisfazer as necessidades do uso da água são de difícil implementação, pois razões econômicas e institucionais ainda estimulam o desperdício de água e danos ambientais. Destacam-se:

- preços relativamente baixos da água;
- informação inadequada sobre tecnologias mais eficientes;
- alocações desiguais desse recurso natural;
- subsídios governamentais para o cultivo intenso no uso da água em regiões áridas, ou para construção de barragens nessas áreas;
- persistência de idéias antiquadas de gestores de águas nas cidades ou nos campos.

Parte da dificuldade está na predominância de velhas idéias sobre o planejamento e a gestão de recursos hídricos. A busca de soluções para os problemas mundiais relacionados com a água requer mudanças fundamentais ao equacionar esses problemas. Em vez de continuamente tentar encontrar mais água para satisfazer as projeções de demandas futuras, já é tempo de encontrar meios para satisfazer necessidades atuais e futuras com a água que está disponível, por meio de maior eficiência e da utilização de tecnologias que permitam maior produtividade no uso desse recurso finito, preservando os ciclos ecológicos que são fundamentais para o bem-estar humano.

4.3 ÁGUA NA AGRICULTURA

Um crescente número de pessoas depende da irrigação de cultivos, nos países desenvolvidos. Cerca de 40% da produção mundial atual de alimentos é produzida em solos irrigados que representam 18% da área total cultivada com a agricultura no mundo. Agricultores que usam a irrigação em muitas lavouras temporárias podem colher duas safras todo ano e obter maiores produtividades nos seus cultivos. Como resultado, a adoção da irrigação tem sido um fator fundamental na ampliação da produção mundial de grãos, que triplicou nos últimos 50 anos. Certamente, a irrigação continuará a ter um papel de destaque nos esforços para prover segurança alimentar à população mundial, mas essa dependência da agricultura irrigada também implica em riscos significantes.

Atualmente, a irrigação demanda 2/3 da água usada em todo mundo e 90% dessa demanda em muitos países em desenvolvimento. Para satisfazer as demandas da agricultura projetadas para 2025, quando a população do mundo deverá ser de 8 bilhões de pessoas, serão necessários 192 milhões de m³/ano de água a mais, um volume equivalente a 10 vezes o fluxo de água que passa no rio Nilo. As incertezas são de como essa oferta adicional de água poderá ser fornecida, preservando as fontes atuais para uso futuro. A escassez severa de água em algumas regiões do mundo é o maior desafio para a produção de alimentos no futuro. Já na atualidade, muitas fontes de água fresca, aquíferos e rios estão na sua capacidade-limite. Cerca de 8% da produção mundial de alimentos cultivada com água subterrânea retira água de aquíferos mais rapidamente do que sua recarga necessária e muitos rios são tão usados para irrigação que já não levam água ao mar durante vários meses do ano.

Quando a população urbana alcançar 5 bilhões, em 2025, os agricultores deverão competir ainda mais com as cidades e indústrias pela água por esse recurso natural finito. Portanto, se o mundo tem esperança de alimentar sua crescente população, os sistemas de irrigação terão de ser mais difundidos e, principalmente, mais eficientes em termos técnicos e econômicos.

Apesar desses desafios, especialistas em agricultura estão contando com solos irrigados para produzir a maior parte dos alimentos adicionais que serão

necessários em várias partes do mundo. Melhores manejos de solo e água com sistemas de cultivo mais produtivos e tecnologicamente mais eficientes podem aumentar a produção em áreas anteriormente cultivadas, dependendo somente de chuvas. Para viabilizar esse potencial, a agricultura irrigada necessita de uma reengenharia baseada em três pilares:

- redução da demanda de água nos sistemas de irrigação;
- sistemas de irrigação tecnicamente mais eficientes;
- equipamentos com custos mais baixos para os agricultores mais pobres.

4.4 EFICIÊNCIA TÉCNICA E ECONÔMICA

Existe espaço para o crescimento de produtividade do uso da água na agricultura. Uma primeira abordagem é o aumento da eficiência de irrigação. Atualmente, muitos agricultores irrigam seus cultivos em canais, onde a água escoar por gravidade. As plantas, assim irrigadas, absorvem somente uma pequena parte dessa água, o restante é drenado para rios e aquíferos ou evaporam. Em muitas regiões, esse sistema, além de desperdiçar água, também degrada o solo com erosão, saturação e salinização. Tecnologias mais eficientes e que preservem o meio ambiente existem e podem reduzir a demanda por água na agricultura em cerca de 50%.

Sistemas de irrigação locais, com irrigação por micro aspersão e gotejamento tem um grande potencial, pois permitem aos agricultores direcionar a água às raízes das plantas, praticamente eliminando os desperdícios. Nesses sistemas, a água é conduzida sob pressão por meio de uma rede de tubos plásticos perfurados, instalados na superfície do solo ou enterrados. Assim, ela é disponibilizada para as plantas por meio de gotejadores ou micro aspersores em quantidades programadas.

Como as plantas são cultivadas em um ambiente com umidade adequada, a irrigação por gotejamento viabiliza maiores produtividades nesses cultivos. Resultados desse tipo de irrigação em vários países como Arábia Saudita,

Espanha, Estados Unidos, Índia, Israel, Jordânia, comprovam que a irrigação localizada reduz o uso da água de 30 a 70% e aumenta a produtividade dos cultivos de 20 a 90%, quando comparado com os sistemas de irrigação por inundação. O desafio é reduzir os custos desses sistemas de gotejamento que ainda são relativamente caros. No Brasil, em várias regiões e principalmente no Nordeste, resultados semelhantes são obtidos com a utilização desse sistema de irrigação, sobretudo na fruticultura.

A irrigação com micro aspersão é quase tão eficiente quanto o sistema anteriormente mencionado, com relação à economia de água. Sistemas tradicionais de irrigação por aspersão jogam água no ar para cobrir uma área de solo relativamente grande. O problema é que a água em contato com o ar evapora e, no solo, ela atinge áreas que não estão plantadas, portanto, com desperdícios. Micro aspersores, instalados sob a copa de árvores frutíferas, tem reduzido a demanda por água para irrigação com muita eficiência.

Também existe um grande potencial para aumentar a eficiência técnica dos sistemas de irrigação via programação do tempo, frequência e quantidade de água que as plantas necessitam. Medidas de fatores climáticos, tais como temperatura e precipitação pluviométrica, podem alimentar aplicativos computacionais que calculam a quantidade de água que uma planta está demandando. Muitos agricultores usam esses parâmetros para determinar, com maior eficiência, quando e quanto irrigar cultivos específicos. Pesquisas realizadas em vários países, inclusive no Brasil, onde uma nova agricultura é desenvolvida com irrigação via sistemas de micro aspersão, indicam que a redução no consumo de água pode chegar de 20 a 50% e produtividades podem aumentar de 40 a 80% com ganhos significantes na produtividade no uso da água.

Outra importante alternativa para a agricultura irrigada é o reuso de águas urbanas ou industriais. A água tratada e de reuso representa 30% da oferta de água para a agricultura em Israel, com expectativas de representar 80% em 2025. Um meio óbvio de aumentar a eficiência do uso da água no meio rural é usá-la mais de uma vez, para os cultivos perenes como cana, café, pastagens e algumas frutas.

A genética também já está contribuindo para um uso mais racional da água na agricultura. O desenvolvimento de novas variedades de plantas menos intensivas na demanda por água também representa um outro importante potencial de avanço tecnológico. Outra linha de trabalho viável é através de desenvolvimento de plantas com ciclos menores e também poupadoras de água. O desenvolvimento de plantas precoces ou mais tardias também tem permitido dois ou três cultivos ao ano, aproveitando melhor os períodos de chuvas ou uso de irrigação complementar com menos água.

Contribuições muito importantes também têm ocorrido na indústria produtora de equipamentos de irrigação. Avanços tecnológicos nos sistemas de captação, elevação e distribuição de água têm viabilizado importantes reduções e custos. Há alguns anos a instalação de irrigação por micro aspersão custava de US\$ 4.000 a US\$ 5.000 por hectare, atualmente esse custo varia de US\$ 2.500 a US\$ 3.000. Essa redução resulta de ganhos de eficiência técnica na indústria de equipamentos de irrigação, uso de novos materiais como plásticos importados e nacionais mais baratos, maior competição com aberturas de mercados e economias de escala na produção, decorrentes de maiores vendas para segmentos do setor com demanda crescente.

Obviamente, uma outra maneira de reduzir o uso da água na agricultura é promovendo mudanças nas dietas alimentares das populações. Usualmente, consomem-se grandes quantidades de alimentos que demandam muita água para sua produção, como arroz irrigado, derivados lácteos e carnes. Um ajuste a favor de dietas com alimentos menos intensivos no uso de água como frutas cultivadas com irrigação localizada, seria uma medida poupadora de água, mas esse ajuste não ajuda muito a minimizar o problema de escassez de alimentos em várias regiões do mundo, onde populações desnutridas precisam de uma maior oferta de alimentos. Para isso, a agricultura irrigada deverá continuar crescendo e o desafio é viabilizá-la com o maior desenvolvimento tecnológico que possibilite um uso mais racional da água no meio rural.

4.5 DESSALINIZAÇÃO

A obtenção de água potável dos oceanos é uma técnica antiga que está ganhando força graças ao progresso científico e tecnológico, que também tem potencial na agricultura, viabilizando a dessalinização de águas subterrâneas salobras para a irrigação. Enfrentar a escassez de água com técnicas de dessalinização era uma opção limitada a países com regiões áridas no Oriente Médio, Caribe e Mediterrâneo. Atualmente, graças a desenvolvimentos tecnológicos, reduções do custo dos processos de dessalinização e devido aos aumentos do preço e do consumo da água em várias outras regiões, essa tecnologia está sendo mais usada.

Grandes estruturas de dessalinização estão sendo construídas, em vários países desenvolvidos, em diferentes partes do mundo. Nos Estados Unidos, várias instalações de dessalinização estão em funcionamento. Desenvolvimentos recentes ocorrem na Baía de Tampa, na Flórida, onde se constrói uma usina com capacidade de produção de 25 milhões de galões diários de água dessalinizada. As autoridades locais estão contando com a tecnologia de dessalinização para suplementar a oferta local de água e atender aos requerimentos de demandas futuras. A cidade de Houston (EUA) também está utilizando dessalinização de água obtida do Golfo do México para atender às demandas.

Por vários anos, a tecnologia de dessalinização tem sido usada com base na evaporação da água do mar, que deixa sais e outros elementos separados. Nesse processo, a água salgada é aquecida para aumentar a velocidade de evaporação, o vapor de água é obtido e destilado. Esse processo funciona bem, mas requeria grandes quantidades de energia para produzir calor e seus custos são relativamente elevados. Por isso, inicialmente só foi usado por países com disponibilidades de recursos financeiros, como Kuwait e Arábia Saudita. Atualmente, usinas mais modernas de dessalinização produzem energia elétrica, utilizam o calor residual no processo de evaporação, reduzindo custos. Isso tem permitido que outros países e regiões, como Aruba, Curaçao, França, Israel, Japão e Rússia também utilizem essa tecnologia.

Um desenvolvimento tecnológico mais barato é a dessalinização por membranas que possibilitou a expansão da dessalinização a vários outros países. Essa tecnologia se baseia em processo de osmose reversa, no qual uma fina membrana, semipermeável, é colocada entre um volume de água salgada e outro de água doce. A água salgada é pressurizada para liberar moléculas de água que passam através da membrana para o lado de água pura, mas as partículas de sal e outras impurezas são retidas. Em síntese, o processo separa água doce de água salgada.

A maioria das pesquisas, nos últimos anos, tem sido desenvolvida com base no processo de osmose reversa porque os filtros e outros componentes usados são muito menores que as câmaras de evaporação usadas nas usinas de evaporação e destilação. Os equipamentos e as unidades de dessalinização com osmose reversa são mais compactos e eficientes no uso de energia. Entretanto, as primeiras membranas feitas de fibras de poliamida ou de lâminas de acetato de celulose eram frágeis, com durabilidade máxima de três anos de uso. Além disso, esses materiais eram susceptíveis a contaminações de diferentes origens, sensíveis ao cloro que endurece essas membranas e algas, fungos e bactérias que as estragam. Portanto, sistemas de pré-tratamento das águas a serem dessalinizadas, com filtração e sedimentação, devem ser implementados e exigem uma operação cuidadosa.

Graças a progressos científicos e tecnológicos, uma nova geração de membranas, feitas de filmes de poliamidas está sendo disponibilizada, com potencial para eliminar esses problemas, embora ainda sujeitas a contaminações. Essas membranas provêm melhor separação de água doce e salgada, são mais resistentes e podem ter uma durabilidade de 10 anos de uso.

Atualmente, vários fornecedores já estão vendendo milhares desses equipamentos. Essas unidades de dessalinização têm capacidades de alguns litros ao dia a vários milhões de litros ao dia, com usos urbanos e também rurais para dessalinização de água salobra resultante de perfuração de poços em áreas agrícolas e resíduos que podem ser usados na produção animal, criação de tilápias e camarões.

Estima-se que até 2002 já estavam em funcionamento, em várias regiões do mundo, cerca de 13.700 unidades de dessalinização comercial, com processos térmicos e com utilização de membranas. Sem dúvida, esse é o começo de um processo que tende a se intensificar com avanços nas tecnologias de membranas, de evaporação, com reduções de custos e aumentos de produtividade, que deverão tornar essas tecnologias cada vez mais eficientes, econômicas e disponíveis para países com problemas de escassez de água.

4.6 CENÁRIO MUNDIAL DA ÁGUA

Uma visão futura, por parte de especialistas, indicada no estudo de prospecção tecnológica industrial sobre as águas, realizado pelo Observatório de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI), na Espanha, proporciona informações muito relevantes a respeito dos desenvolvimentos tecnológicos futuros relacionados com a água.

Destacam-se dois temas básicos no cenário futuro do desenvolvimento tecnológico relativo à água (figura 4.2): (a) o reconhecimento generalizado da água como um bem escasso que necessita de uma gestão racional; e, (b) a proteção do meio ambiente como objetivo global da humanidade.

Acredita-se que a diminuição racional do consumo da água se converterá em um tema essencial, que contribuirá para uma melhora progressiva da qualidade física, biológica e química das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, de estuários e marinhas.

Um outro fator decisivo será alcançar uma melhor qualidade dos efluentes para oferecer às gerações futuras água substancialmente mais pura e um controle maior sobre as fontes de contaminantes.

Essa melhoria na qualidade poderá ser conseguida por um esforço importante das empresas em otimizar seus processos e o uso de suas matérias primas (menos tóxicas e mais biodegradáveis), em separar as correntes contaminantes para otimizar seus tratamentos antes de seu despejo e reutilizar ao máximo a

água em função de sua qualidade dentro da empresa, o que se traduzirá em um uso racional, economia significativa e importante benefício ambiental.

Três grandes tendências são destacadas para uso sustentável da água nos próximos anos:

- diminuição do consumo específico da água em todos os setores;
- melhoria da qualidade da água e controle de seus efluentes;
- reutilização como fonte alternativa para um recurso escasso.

Diminuição do consumo de água

A irrigação é um dos usos que influem de forma decisiva na demanda total dos recursos hídricos. Um dos desafios do setor agrícola é sua modernização relacionada com as técnicas de irrigação. Fatores como o zoneamento agrícola, a planificação da agricultura com o objetivo de otimizar cultivos, zonas ecológicas e recursos disponíveis, desenvolvimento da irrigação e um maior conhecimento de fisiologia vegetal, configuram o entorno adequado para o desenvolvimento de tecnologias mencionadas a seguir:

- desenvolvimento de processos de irrigação que minimizem perdas por evaporação (irrigação localizada), que tenham um controle automatizado da oferta de água com controle automatizado de temperatura, umidade ambiental, evapotranspiração vegetal, adequados a diferentes tipos de solos e cultivos;
- sistemas coordenados de armazenamento e distribuição de água;
- desenvolvimento de sensores em evapotranspiração;
- desenvolvimento de aplicativos que avaliem o déficit hídrico em longo prazo.

Além do desenvolvimento tecnológico visando diminuir o consumo de água na agricultura, como principal usuário dos recursos hídricos, buscar-se-á um novo conceito global de gestão de recursos hídricos baseado na racionalização e na classificação da demanda, facilitando a gestão unificada do ciclo completo da água.

Esse conceito será impulsionado pelo estabelecimento de um preço mais real para a água tendo em conta os custos de captação, manejo, distribuição, uso e tratamento.

Melhoria da qualidade da água e controle de seus efluentes

A melhoria na qualidade da água e o controle de seus efluentes, como tendências, se traduzem em desenvolvimentos futuros para melhorar as fontes de captação de água, o desenvolvimento de sistemas que incorporem a economia da água e o desenvolvimento de tecnologias e tratamentos avançados para adequar águas residuais, urbanas e industriais.

Relacionados a aspectos de melhoria da qualidade da água, destaca-se que o desenvolvimento urbano agrava o déficit de muitas comunidades e exige elevados custos de serviços para garantir seu abastecimento com qualidade e quantidade, aumentando a competição urbana e rural.

Segundo o relatório da referida prospecção tecnológica, o cenário futuro irá propiciar o desenvolvimento de tecnologias de tratamento (biológico, físico, químico) para absorver as vazões e contaminações sazonais e coincidirá com a maior sensibilidade ambiental de usuários e populações beneficiadas e uma maior capacidade de gestão, controle da água e de seus efluentes e afluentes.

Reutilização da água

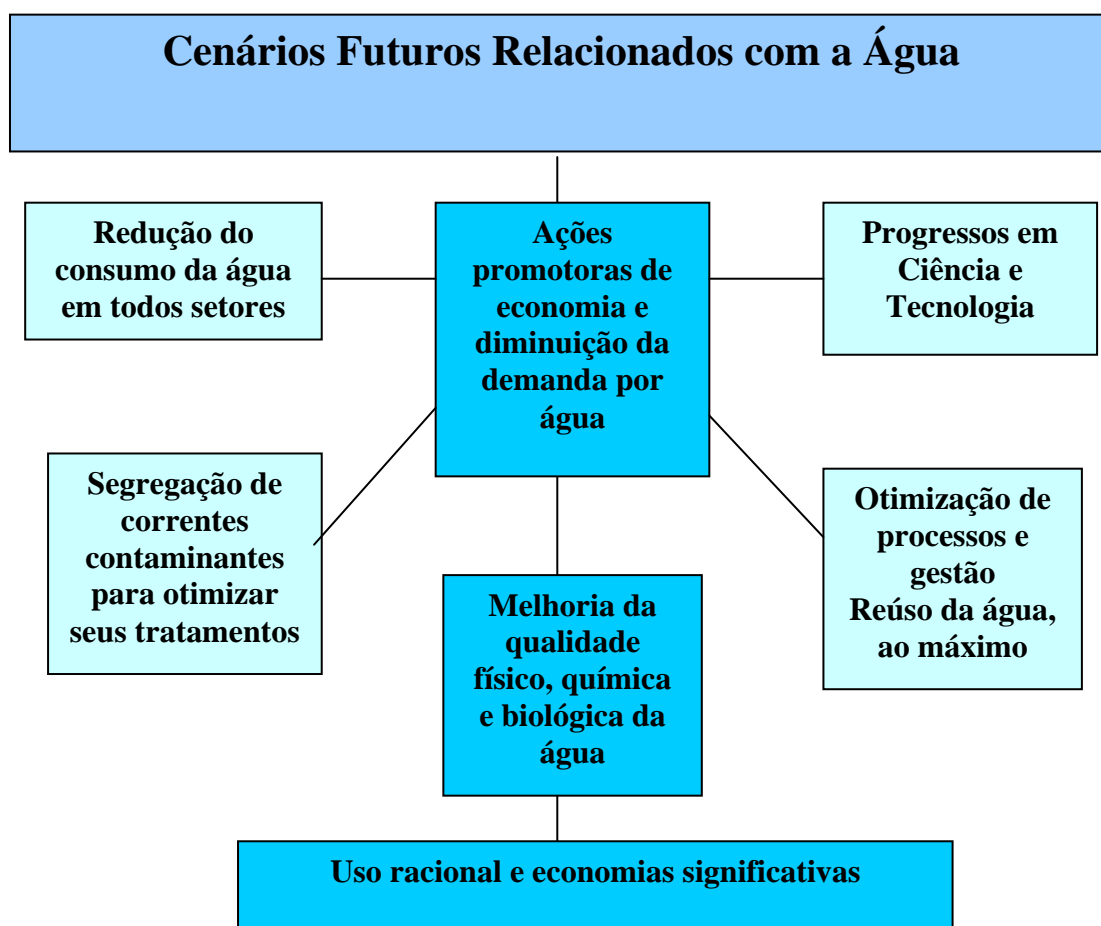
Os cenários e hipóteses, considerados como muito prováveis por especialistas no tema, revelam o interesse suscitado pela reuso como alternativa para mitigar os problemas gerados em torno da água. Dois aspectos são destacados:

- a viabilidade tanto na qualidade conseguida quanto na desinfecção;
- normas que regulem as diferentes qualidades da água a ser reutilizada, em função dos seus usos, principalmente na agricultura.

Esse cenário futuro assume uma conscientização social e industrial da necessidade de reutilizar as águas residuais depuradas e de um incremento de

custo/preço da água. O desenvolvimento tecnológico se dará ligado a tratamentos terciários e sistemas de desinfecção mais adequados como:

- melhoria e utilização de tecnologias de separações;
- tecnologias de filtração em areia, com carvão ativado e por membranas;
- outros procedimentos de filtração como nanofiltração;
- eliminação de certos componentes da água residencial urbana da água industrial;
- desenvolvimentos de processos biológicos de tratamento mais eficientes;
- técnicas para o transporte de água dos centros de tratamento aos lugares de reuso.



Fonte: Opti/CITNA – Observatório de Prospectiva Tecnológica Industrial, Espanha, 2001.

Figura 4.2 - Cenários prospectivos relacionados com a água

5. CENÁRIO BRASILEIRO

Na Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin (Irlanda), em 1992, estabeleceram-se, como princípios gerais para a gestão dos recursos hídricos, a abordagem integradora envolvendo a sociedade, a proteção de ecossistemas naturais, a necessidade de participação social e o reconhecimento da água como um bem econômico. Esses pressupostos resultam de uma crescente preocupação quanto às reservas mundiais de água potável e seu fornecimento à humanidade. A problemática da disponibilidade de água para os povos é considerada por especialistas, poder público, iniciativa privada e organizações ambientalistas, como o maior desafio que a humanidade enfrentará neste novo século. O recurso é renovável, mas finito e, da sua disponibilidade e adequada gestão, dependerá a própria sobrevivência do homem.

No Brasil, todos esses princípios foram incorporados à Lei 9.433, da Política Nacional de Recursos Hídricos, de janeiro de 1997, que dá respaldo legal ao estabelecimento de mecanismos e instrumentos para efetivação dos pressupostos estabelecidos em Dublin. Principalmente, a questão da gestão participativa, por meio da criação dos conselhos nacional e estaduais, de comitês de bacias hidrográficas, de agências de bacia e, da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, além do estabelecimento do instrumento econômico de gestão: a cobrança pelo uso da água. Em vários Estados, também já foram adotados, em seus respectivos arcabouços jurídicos, os mesmos princípios da referida lei.

O Modelo de Gestão de Recursos Hídricos instituído na Lei 9.433 e complementado pela Lei 9.984 é moderno porque propõe um novo ordenamento para a gestão dos recursos hídricos baseado no que há de mais avançado na administração pública: o fortalecimento das relações entre o poder público e a sociedade civil.

A instituição dos comitês de bacias hidrográficas e das agências de água e ainda dos conselhos nacional e estaduais de recursos hídricos apresenta uma visão organizacional e social futura com possibilidades de gerar inovação e sustentabilidade na solução dos graves problemas ambientais brasileiros.

A interdependência entre comitês e agências deverá garantir a participação efetiva dos diversos usuários das águas, do poder público, e da sociedade civil de uma bacia hidrográfica no processo decisório. Caberá aos comitês a tomada de decisões sobre as metas de qualidade e quantidade dos recursos hídricos de uma bacia e a busca da viabilidade financeira para a efetividade de suas decisões. O apoio técnico e a execução estarão a cargo das agências que serão subordinadas àqueles.

Os comitês de bacias são órgãos integrantes do sistema de gestão nacional ou estadual, sendo órgãos colegiados de Estado, em consonância com um determinado governo. Trata-se de um organismo novo na estrutura administrativa pública nacional e estadual, constituindo-se em instância direta de grupos organizados de decisão no âmbito local de cada bacia hidrográfica.

Da capacidade da sociedade de se articular por meio desses órgãos colegiados, dependerá o sucesso ou o fracasso desse instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos. A instituição dos conselhos consolida a descentralização da gestão, pois, a integração das metas nas bacias para o alcance de uma meta comum de Estado e de país é feita nesses fóruns, que mantêm a representatividade dos usuários, da sociedade civil e do poder público.

Um dos papéis administrativos principais do Conselho Nacional de Recursos Hídricos é o de conciliar e integrar as gestões de recursos hídricos daqueles Estados que compartilham bacias hidrográficas. De acordo com a Constituição de 1988, compete aos Estados a gestão de seus bens públicos, dentre eles as águas de seu domínio. À União compete a gestão dos cursos de água que banham mais de um Estado. É ainda do domínio dos Estados a água subterrânea, um dos aspectos fundamentais que deverá balizar os Planos de Recursos Hídricos.

A ordenação proposta é a de que ao conselho cabe a definição de políticas e princípios doutrinários gerais, e aos comitês a definição das políticas e dos princípios doutrinários locais. Aos agentes outorgantes dos Estados e da União, nesse último caso, a caberia a ANA a execução dessa política geral.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos vem a ser o grande arcabouço institucional da gestão dos recursos hídricos no Brasil. O suporte das atividades de gestão está desenhando numa estrutura político-administrativa – descrito no art. 33 da Lei 9.433/97, que tem no vértice o Conselho Nacional de

Recursos Hídricos (CNRH), ao qual se conferiu importante papel normativo e de articulador dos planejamentos nacional, regionais, estaduais e dos setores usuários (Lei 9.984/00, art. 2º).

A estruturação do sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos manifesta uma verdadeira arquitetura político-administrativa, que pondera pesos e valores específicos, consagrando o que cabe a cada qual por força da lei. As Leis 9.433/97 e 9.984/00 são explícitas a respeito, com clara intenção de assegurar uma política nacional, articulada e eficaz. Para tanto, há necessidade de observância dos diferentes níveis de competência e unidade de comando. Formulação de políticas e articulação de planejamento são atributos intrínsecos do CNRH.

Esse modelo foi construído sob o conceito de que o processo de gerenciamento dos recursos hídricos busca a conciliação social do desenvolvimento econômico e da conservação da qualidade ambiental, compatibilizando as demandas e oportunidades de desenvolvimento da sociedade com a capacidade de suporte do ambiente na bacia hidrográfica, com a participação de todos e o balizamento técnico dado pelas Agências ou outras estruturas de governo.

Instrumentos de gestão de recursos hídricos

Como suporte ao Modelo de Gestão de Recursos Hídricos, a Lei 9.433 institui instrumentos de gestão dos quais se destacam: Plano de Recursos Hídricos, Enquadramento dos Corpos de Água; Outorga pelo Direito de Usos e Cobrança pelo Uso.

Plano de Recursos Hídricos: O Plano de Recursos Hídricos constitui-se no instrumento de planejamento estratégico da bacia hidrográfica e atende às recomendações de Dublin, que estabelece que o “Gerenciamento de Recursos Hídricos” consiste em um processo de planejamento integrado que leva em consideração tanto às necessidades de longo prazo quanto horizontes mais curtos, incorporando considerações ambientais, econômicas e sociais dentro de um princípio de sustentabilidade. O gerenciamento deve incluir, igualmente, as necessidades de todos os usuários, assim como os imperativos de prevenção e

mitigação das catástrofes associadas às águas, constituindo-se, finalmente, em parte indissociável do processo de planejamento do “desenvolvimento”.

O fundamental na execução desse Plano é o envolvimento da sociedade civil e dos principais usuários dos recursos hídricos, no processo de sua elaboração. Esse processo pode ser dividido em três partes fundamentais: (a) um diagnóstico para o conhecimento das condições ambientais e do potencial hídrico; (b) estabelecimento de modelos de gestão de recursos hídricos; e, (c) plano diretor com metas e estratégias de aproveitamento dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável da bacia.

Na definição das metas e estratégicas, estabelece-se o modelo de desenvolvimento adequado aos recursos hídricos potenciais da bacia. As metas de qualidade da água subsidiarão o processo de enquadramento dos seus cursos d'água, as prioridades de uso para a obtenção de outorga e os planos de investimento, que serão a base para o cálculo dos valores de cobrança pelo uso da água, além de estudos sobre a capacidade econômica da população usuária da bacia. É importante a participação da sociedade no desenvolvimento de todo estudo para a elaboração do Plano Diretor, desde a fase de diagnóstico até sua fase final. Para garantir essa participação, a Lei 9.433 estabelece que cabe aos comitês, com o apoio das agências, a análise e a aprovação dos planos diretores, cabendo também a ele as providências para a execução das ações indicadas no plano.

Enquadramento dos corpos de água: A Resolução Conama/20, de 18 de junho de 1986, estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional e define o enquadramento, a efetivação do enquadramento e dá outras providências. De acordo com essa resolução, as águas doces são assim classificadas:

Classe especial – águas destinadas: (a) ao abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção; (b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

Classe 1 – águas destinadas: (a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; (b) à proteção das comunidades aquáticas; (c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); (d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; (e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Classe 2 – águas destinadas: (a) ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; (b) à proteção das comunidades aquáticas; (c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); (d) à irrigação de hortaliças e de árvores frutíferas; (e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Classe 3 – águas destinadas: (a) ao estabelecimento doméstico após tratamento convencional; (b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; (c) à dessedentação de animais.

Classe 4 – águas destinadas: (a) à navegação; (b) à harmonia paisagística; (c) aos usos menos exigentes.

Nota-se que a classificação é dada de acordo com o uso a que a água se destina. Esse mesmo tipo de classificação apresentada para as águas doces é feito para as águas salobras e salinas. Nessa mesma Resolução, nos artigos 4º ao 11, para cada classe associam-se limites e/ou condições mínimas de qualidade com base em parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas, também fixados no regulamento. Para os usos mais nobres há um maior rigor dos parâmetros exigidos.

No seu art. 2º a defini-se o de enquadramento e a efetivação do enquadramento, da seguinte forma:

Enquadramento – estabelecimento no nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo.

Efetivação do enquadramento – conjunto de medidas necessárias para colocar e/ou manter a condição de um segmento de corpo d'água em correspondência com sua classe.

Percebe-se que o enquadramento é uma meta de qualidade de água a ser alcançada e sua efetivação pode envolver investimento na bacia, com a instalação de aparelhos e equipamentos para a melhoria de qualidade dos lançamentos de efluentes sólidos e gasosos. Dessa forma, o enquadramento deve estar estreitamente relacionado ao Plano Diretor.

Os investimentos para o alcance das metas estabelecidas para o enquadramento deverão subsidiar os cálculos dos valores a serem apresentados na bacia para a cobrança. Isso implica na necessidade da comunidade da bacia hidrográfica, por meio de suas representações, atuar no processo de enquadramento e esse processo deve buscar formas de envolvimento da população em todas as fases de sua implantação.

Outorga de direito de uso: A outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com a Lei 9.433, objetiva “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a água”. É importante salientar que esse instrumento legal estabelece que a outorga é o ato da autoridade competente do poder público e que não indica alienação parcial das águas, mas o simples direito de uso. Ressalta-se, ainda, no texto legal, que a outorga poderá ser recompensa parcial ou total em circunstâncias especiais.

Para efetuar o ato de outorga, o que se faz é um balanço entre a quantidade de água existente, medida em unidade de vazão ou volume, em um determinado ponto de um curso d'água (que é o seu potencial hídrico) e as demandas já autorizadas a montante e a jusante nos pontos de contribuição desse curso, considerando, ainda, uma vazão remanescente ou fluxo residual mínimo que, também é denominado de vazão ecológica. O resultado contábil desse processo é comparado à solicitação de uso de volume/vazão, feito no requerimento da outorga.

A outorga não é licenciamento ambiental, mas é uma resposta à questão da disponibilidade hídrica da bacia, em análise para que se autorize ou não o uso solicitado em determinado ponto de um determinado curso d'água. É um

instrumento de gestão que trabalha com o estabelecimento de parâmetros para uso racional e planejado da água, considerando sua variação sazonal, épocas de abundância ou escassez e para a solução de conflitos de uso.

Mesmo que a outorga seja para lançamento de efluentes, permanece o raciocínio contábil, ou seja, calcula-se a vazão/volume necessária em um determinado trecho para a diluição desse efluente.

Para a efetivação do balanço hídrico, dois parâmetros de vazão/volume precisam ser previamente definidos. O primeiro é a vazão/volume outorgável, ou vazão/volume de referência, que é a quantidade de água que será utilizada para determinar o potencial hídrico do curso d'água. A vazão/volume de um mesmo curso é variável, portanto é preciso utilizar um valor médio representativo. A título de exemplo, o órgão gestor do Estado de Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão da Águas (Igam) utiliza como vazão outorgável 30% da chamada $Q_{7,10}$ - vazão mínima, que tem 7 dias de duração, e ocorre uma vez a cada 10 anos (vazão de referência para captação a fio d'água). O segundo parâmetro, de difícil definição, é a vazão/volume remanescente ou ecológica entendida como aquela vazão/volume da sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e necessidades de abastecimento futuro.

Esse instrumento exige uma real participação da comunidade usuária da bacia, principalmente para estabelecer as prioridades de usos para a efetivação da outorga. Embora, legalmente, a outorga seja exclusiva competência da entidade gestora dos recursos hídricos, esta deverá concedê-la de acordo com as prioridades de uso definidas pelos comitês, quando esses existirem. A comunidade deve também exercer um papel incentivador para a legalização de todos os usos; por meio desse ato, única forma de se garantir a vazão solicitada para a operação dos empreendimentos instalados na bacia.

A outorga é um instrumento que permite avaliar a real condição da bacia hidrográfica em termos de potencial hídrico. É por meio do cadastro dos usos outorgados que se torna possível conhecer a capacidade de suporte da bacia para o desenvolvimento desejado. Assim, esse instrumento é básico na confecção do Plano Diretor, dá suporte às proposições de enquadramento, além de apoiar a discussão dos termos em que se dará a cobrança pelo uso da água.

Cobrança pelo uso da água: A cobrança pelo uso da água é o suporte financeiro do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos e base fundamental para a garantia da independência decisória dos comitês.

Levantamento sobre as experiências e estudos existentes no Brasil indica que a tarefa da aplicação da cobrança não é simples e não está reduzida ao encontro de um algoritmo que estabeleça um valor econômico otimizado e um referencial para o estabelecimento desse instrumento de gestão em um Estado.

A cobrança é um instrumento de aplicação complexa, que não deve ter a aparência de mais um imposto, ou taxa, de um modelo arrecadador. Portanto, a cobrança não deve ser instrumento punitivo e deve ser acordada com o usuário como em um sistema de condomínio onde a cobrança deriva de um acordo social. Quando de sua aplicação, deve-se estabelecer as motivações dessa cobrança, e o sujeito cobrado, seja pessoa física ou jurídica, deve ser cúmplice da motivação objetivada.

A cobrança pelo uso da água se dá sobre dois aspectos: a) os usos da água disponível no ambiente (água bruta) como fator de produção ou bem de consumo final; b) o uso da água disponível no ambiente como receptor de resíduos. Assim, a motivação da cobrança sobre esses dois aspectos deve estar claramente definida quando de sua implementação.

Entende-se que a motivação para a cobrança mais adequada é aquela que resulta de um processo de planejamento em que os valores arrecadados serão destinados a aplicação exclusiva e não transferível na gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica de origem e que o instrumento de cobrança esteja vinculado à existência de intervenções estruturais e não estruturais aprovadas para a respectiva bacia, sendo vedada a formação de fundos sem que sua aplicação esteja assegurada e destinada no Plano de Bacia Hidrográfica.

Assim, a cobrança estará associada a um plano de metas específicas e consensadas para a bacia.

As referências para a cobrança se constituem em um pilar importante para a sustentabilidade desse sistema. O pagamento da cobrança deve envolver todos os usuários, levando-se em conta sua capacidade de pagamento e considerando-se a sua exata intervenção nos parâmetros de qualidade, quantidade e regime no corpo hídrico, tendo como referencial o estado antecedente à intervenção. Ou

seja, o usuário paga, na exata medida, do que ele efetivamente usa e altera. Deve também considerar mecanismos de compensação quando este usuário faz intervenções que resultem na melhoria desses parâmetros.

O estabelecimento de um algoritmo que definirá o valor base da cobrança pelo uso da água, por alguns agentes da política pública ambiental, não deve ser apenas um resultado matemático, mas de todo um processo de definição de políticas de desenvolvimento, de meio ambiente e de recursos hídricos, que deverá responder a perguntas básicas tais como o que cobrar e como cobrar. Desta forma, apoiar o estabelecimento da motivação para a cobrança e a referência para a cobrança, definindo-se critérios, motivações e prioridades de onde e como aplicar os valores oriundos da cobrança.

Desse modo, a sistemática administrativa para a aplicação da cobrança deve ser implementada sem nenhum desvio das competências estabelecidas na Lei 9.433 pela autoridade outorgante ou por entidade por ela delegada. E estará condicionada à aprovação do conselho nacional ou estadual, da proposta encaminhada pelo respectivo comitê de bacia, tecnicamente fundamentada e de acordo com o plano de investimentos definido no respectivo Plano de Recursos Hídricos.

Persiste uma grande preocupação com a sistemática administrativa para a aplicação dos recursos advindos da cobrança pelo uso da água. O Sistema Financeiro Nacional é de grande complexidade, o que dificulta a efetividade de uma agência de bacia atuar como agência de fomento na bacia de sua área de abrangência. Por essa razão, na Lei 9.984, de 2000, que institui a ANA, em seu artigo 21, estabelece que os recursos são encaminhados à “conta do Tesouro Nacional, enquanto não forem destinadas para as respectivas programações”. Os brasileiros têm fartos exemplos, ao longo de sua história de contribuintes, para saber o que isso realmente pode significar.

A cobrança tem interação com os instrumentos de gestão. De fato, o ato de cobrar é sobre o uso outorgável, fazendo com que os sistemas de outorga e cobrança sejam intimamente relacionados e que estes sejam construídos sobre um sistema consistente de informação. Em consonância com os conceitos apresentados, a cobrança só pode ser efetivada por ato e vontade da comunidade usuária. O texto normativo é explícito nessa matéria, ao colocar para os comitês a

competência para “estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados”. A competência dos Comitês para gerir esses instrumentos é o grande desafio que a Política Nacional de Recursos Hídricos introduziu para a grande sociedade civil.

6. ÁGUA NO MEIO RURAL

6.1 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NO MEIO RURAL

No meio rural, a água, além de utilizada diretamente para consumo humano e de animais, é usada como insumo, principalmente para a produção de alimentos, via agricultura e pecuária, incluindo a criação de pequenos e grandes animais. Em várias regiões brasileiras, os recursos hídricos também são usados para a criação extensiva e/ou intensiva de peixes, ainda que de maneira incipiente.

Entre os diversos usos da água no meio rural, o mais relevante é na agricultura irrigada. Esse uso tende a crescer; provocando aumento do conflito potencial entre o uso da água para irrigação e o seu uso para geração de energia elétrica. Na maioria dos casos, o uso em geração provê maiores ganhos de eficiência econômica para a água.

Destacam-se, também, os desafios relacionados com a implementação da Lei 9.433 que trata de planos de recursos hídricos, enquadramento dos corpos de água, outorga de direito de uso e cobrança pelo uso da água, temas estratégicos para o uso racional da água no meio rural.

Advém desse quadro a hipótese de trabalho desta prospecção tecnológica: as questões relacionadas com o aumento da eficiência técnica e econômica do uso da água para irrigação são as mais relevantes, portanto, devem constituir-se no foco prioritário das análises e ações de P&D.

Uma importante análise desse tema é apresentada no trabalho *Uso Sustentável da Água na Agricultura*, realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em abril de 2002, e entregue à secretaria técnica do CT-Hidro como contribuição às Diretrizes Estratégicas do Fundo Setorial de Recursos

Hídricos. Várias dessas contribuições relevantes são incorporadas nesta prospecção tecnológica.

Crescimento da demanda

No Brasil, à semelhança das tendências mundiais, com as expansões da urbanização, industrialização e da agricultura irrigada, é crescente a demanda por água, quer para consumo direto, para a utilização em diversas fases da produção, ou para usos não consuntivos (lazer, paisagismo), aumentando a competição por um recurso natural que se torna cada vez mais escasso.

Além disso, a qualidade dos mananciais em algumas regiões brasileiras vem deteriorando-se rapidamente pela ação do homem. A competição pelo uso intenso da água tem comprometido a qualidade do meio ambiente e o desenvolvimento de atividades humanas nas áreas de saúde, segurança, recreação, transportes, entre outros, afetando o próprio crescimento econômico de setores que dependem da disponibilidade de recursos hídricos, em quantidade e qualidade.

A migração populacional rural-urbana e a industrialização, além de exercerem crescentes demandas sobre as águas dos mananciais, também exigem o crescimento do parque gerador de energia elétrica, que implica na necessidade de maiores aproveitamentos hidrelétricos. Adicionalmente, a necessidade de aumentar a produção de alimentos, via agricultura irrigada, também tem pressionado essa maior demanda pelos recursos hídricos.

Em síntese, o crescimento da demanda, por água de boa qualidade, no Brasil e no mundo, a uma taxa superior à capacidade de renovação do ciclo hidrológico é, consensualmente, previsto nos meios técnicos e científicos internacionais, tornando-se um grande problema por nossa sociedade.

Potencial de recursos hídricos

O Brasil detém o maior potencial de recursos hídricos entre os demais países do mundo, estimado em 5.330 km³ de águas superficiais renovados a cada ano, representando uma média “per capita” nacional de aproximadamente 32.000 m³/hab/ano. Entretanto, sua distribuição regional é bastante heterogênea, sendo

que e essa média cai para: 4.000 m³/hab no Nordeste; 4.800 m³/hab no Sudeste e; 15.900 m³/hab no Sul.

Considerando-se um valor médio nacional de evapotranspiração de 1195 mm/ano e uma área total cultivada de 52 milhões de ha, estima-se um uso anual de aproximadamente 620 bilhões de m³ da precipitação. Entretanto, as plantas retêm apenas cerca de 3% a 5% da água consumida, o que significa que a superfície agrícola brasileira retorna anualmente cerca de 590 bilhões de m³ de água limpa, na forma de vapor, para manutenção do ciclo agro-hidrológico. Os cerca de 5% que são retidos (30 bilhões de m³) são, em grande parte, transformados em alimentos para pessoas e animais.

Degradação ambiental

As degradações ambientais, provocadas por desmatamentos desordenados, compactação e erosão de solos, não só afetam esse potencial de evapotranspiração e, conseqüentemente, a produção de água limpa para o ciclo hidrológico, como também provocam escoamentos superficiais excessivos que carregam sedimentos e dejetos, que irão depositar-se nos rios e reservatórios, tendo como resultado o assoreamento e a poluição ambiental. As conseqüências de médio em longo prazo desses fenômenos são o comprometimento da capacidade produtiva e de conservação de água e solo nas propriedades rurais, além da redução na capacidade de armazenamento dos grandes reservatórios, comprometendo a produção de energia. O efeito conjunto desses vários fatores é a degradação das micro-bacias e bacias hidrográficas.

A agricultura, como um grande setor usuário dos recursos hídricos, é eventualmente considerada como uma dos principais responsáveis pelo uso insuficiente da água. Contudo, embora seja fonte de problemas, a agricultura também pode ser a solução de grande parte deles. O manejo adequado da água na agricultura pode ser mais eficiente no processo de produção agrícola, se analisado sob um enfoque sistêmico.

Enfoque hidroagrícola

As medidas de adequado manejo integrado de bacias hidrográficas transcendem o enfoque puramente agrícola resultando em garantia de abastecimento hídrico, tanto em quantidade, quanto em qualidade para a população urbana, processamentos industriais, vida útil de reservatórios, geração de energia e fonte de lazer. Assim, o espaço rural assume relevância na produção de alimentos e fibras, mas, também, como “produtor” de água em quantidade e qualidade satisfatórias, para utilização múltipla por outros segmentos da sociedade.

O agricultor “produtor de água” é aquele que usa tecnologia e conceitos relacionados à agricultura sustentável, que aumenta a infiltração de água no solo. Dentro de seu sistema de produção, esse “agricultor produtor de água” considera a água como um de seus insumos, mas, também, como um de seus produtos e seu manejo adequado no processo de produção agrícola ocorre no contexto de um sistema integrado com clima, água, solo, planta e tecnologia.

6.2 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NO MEIO RURAL

A alimentação humana e animal têm base na agropecuária e as expectativas brasileiras e mundiais apontam para uma necessidade crescente de produção de alimentos, com uma projeção de duplicação dessa demanda até o ano 2025. O programa Fome Zero, recentemente lançado pelo atual governo brasileiro, entre suas várias iniciativas, também deverá promover um significativo aumento na produção de alimentos para a população carente. Isso implica na ampliação da área agrícola e no aumento da sua eficiência na produção de alimentos, o que significa um aumento na demanda de água para uso agrícola, com um esperado aumento na eficiência agrícola no uso da água no meio rural.

A intensificação da prática da irrigação é uma opção estratégica de grande alcance para aumentar a oferta de produtos destinados aos mercados interno e externo, altamente competitivo, e melhorar os níveis de produção, produtividade, renda e emprego no meio rural e nos setores urbano-industriais brasileiros.

No Brasil, 5% da área plantada é irrigada e responde por 16% da produção agrícola. A agricultura irrigada é a principal usuária, responsável, em termos

nacionais, pelo uso de aproximadamente 34 bilhões de m³/ano. A eficiência média da irrigação está estimada em 60%. Isso significa que, desses 34 bilhões de m³/ano, 20 bilhões são usados pelas culturas, que evapotranspiram mais de 95% do total consumido, representando, um retorno de pelo menos 19 bilhões para a atmosfera, na forma de água limpa (vapor), o que não se observa nos outros setores usuários.

Se essa eficiência média for elevada, por meio de atividades de pesquisa e transferência de tecnologia, para um patamar conservador de 65%, isso representará uma economia de água da ordem de 2 bilhões de m³/ano, volume que poderia abastecer uma população equivalente a cinco vezes a da cidade de Belo Horizonte, ou irrigar uma área adicional de mais de 285.000 ha, quase 10% da área total atualmente irrigada no Brasil.

Eficiência técnica

Obviamente, a eficiência técnica do uso da água no meio rural é bastante variável dependendo da região brasileira, de sua população rural, sua maior ou menor tradição e experiência com a irrigação, dos sistemas de irrigação utilizados, dos cultivos irrigados e dos solos onde a agricultura irrigada é desenvolvida.

Os parâmetros técnicos para o manejo racional da água no meio rural, para arroz irrigado no Sul, com inundação, ou para milho no Centro-Oeste, com pivô-central, ou para fruticultura no Nordeste, com gotejamento, são muito distintos. Mas, em geral, a eficiência técnica do uso da água na agricultura pode ser bastante maior.

Eficiência econômica

Ganhos de eficiência econômica podem ser obtidos no uso da água na agricultura irrigada embora esteja prevista em lei a cobrança pelo uso da água, ainda não foi implementada para a agricultura. O fator limitante no uso da água é basicamente o **custo variável** da energia elétrica ou do óleo diesel necessário para elevar e distribuir essa água, ou o **custo fixo** do investimento na captação, em canais de distribuição, em casos de irrigação por gravidade e bombas, filtros, tubulações, equipamentos de distribuição pressurizada, ou seja, pivôs-centrais, auto propélidos, micro aspersão ou gotejamento.

A água “grátis”, como qualquer insumo de baixo valor econômico, é usada sem muita racionalidade econômica, principalmente quando esse insumo é um importante fator na função de produção agrícola pecuária. É notório que a irrigação em regiões brasileiras específicas, em momentos oportunos, viabiliza a produção com produtividades por hectare maiores e rentabilidades mais elevadas. Desse modo, a cobrança pelo uso da água, estabelecida pela Lei 9.433, determinaria um uso mais austero desse insumo produtivo. Por certo que seu uso não é determinado só pelo seu preço, mas segue a demanda derivada da função de produção do produto final, no cultivo do qual se usa a água. Assim, a eficiência econômica do uso da água para um agricultor irrigante de melão, manga ou uva, no Nordeste, é muito distinta daquela de um irrigante de arroz ou milho, no mesmo Nordeste ou em outra região brasileira.

Sólidas evidências dessas diferenças são dadas pelas distintas rentabilidades indicadas na Tabela 6.1, sobre produtividade e renda bruta de principais cultivos agrícolas brasileiros.

Em geral, um agricultor irrigante, produtor de uva, por exemplo, com elevada rentabilidade econômica, estará mais disposto a pagar um maior preço pelo insumo água e o usará com maior eficiência econômica que um agricultor produtor de arroz irrigado, cujas rendas bruta e líquida, por hectare, são bastante menores.

6.3 PRÁTICAS ADOTADAS NO MUNDO PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA E AS JÁ DESENVOLVIDAS NO BRASIL

Conforme indicado anteriormente, destacam-se dois temas básicos relativos à água: (a) o reconhecimento dessa como um bem escasso que necessita de uma gestão racional; e, (b) a proteção do meio ambiente como objetivo global da humanidade. Mais especificamente, em vários países desenvolvidos, o uso racional da água já é uma prática essencial e a melhora progressiva da qualidade física, biológica e química das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, é promovida por legislação, avanços tecnológicos e estímulos econômicos.

O uso racional da água em vários setores, e a melhoria na sua qualidade têm sido conseguidos por um esforço importante das empresas agropecuárias industriais em otimizar seus processos e usar matérias-primas menos tóxicas e mais biodegradáveis, em separar as correntes contaminantes para otimizar seus tratamentos, antes de seu despejo, e em reutilizar ao máximo a água com usos mais racionais, maiores ganhos econômicos e significativos benefícios ambientais.

Produtividade e rendimentos por hectare de frutas e grãos		
Frutas/Grãos	Produtividade (1) (Ton/Ha/ano)	Renda Bruta (2) (US\$/Ha/ano)
Abacate	10,0	3.000
Abacaxi	40,0	6.000
Banana	40,0	12.500
Goiaba	20,0	10.000
Graviola	10,0	9.500
Limão	20,0	13.500
Manga	20,0	12.000
Maracujá	12,0	9.000
Melão (3)	50,0	11.000
Papaya	25,0	12.000
Tangerina	20,0	6.000
Uva (3)	40,0	20.000
Arroz	4,0	300
Feijão (3)	2,4	1.600
Milho (3)	6,0	660
Soja	2,5	400
Trigo	2,0	300

Tabela 6.1 – Produtividade e rendimentos

Três grupos de práticas são verificados no uso da água nos principais países: (a) diminuição do uso específico da água em todos os setores; (b) melhora da qualidade da água e controle de seus efluentes; e, (c) reuso da água como um recurso natural escasso.

Redução do uso de água

Em vários países, a irrigação é o setor que mais influi de forma significativa na demanda total por água. Buscou-se, então, a modernização das técnicas de irrigação, complementadas com zoneamento agrícola, para otimizar cultivos e áreas de conservação, desenvolvimento da irrigação localizada, o maior conhecimento de climatologia e fisiologia vegetal, e uso de programação e automação, conforme indicado a seguir:

- desenvolvimento de processos de irrigação localizada que minimizem perdas em geral, com controle automatizado da oferta de água, de temperatura, umidade ambiental, evapotranspiração vegetal, adequados a diferentes tipos de solos e cultivos;
- sistemas coordenados de armazenamento e distribuição de água;
- desenvolvimento de sensores em evapotranspiração;
- desenvolvimento de "aplicativo" que avalia o déficit hídrico a diferentes prazos.

Além do desenvolvimento tecnológico para diminuir o uso de água na agricultura, como principal usuário dos recursos hídricos, busca-se um novo conceito de gestão de recursos hídricos baseado na eficiência técnica e econômica e na classificação da demanda. Busca-se a gestão eficiente do uso da água com legislação adequada e mecanismos econômicos, como a cobrança pelo seu uso e o pagamento por serviços, no caso de perímetros e outros usos coletivos, para cobrir custos com captação, manejo, distribuição, uso e tratamento.

Melhoria da qualidade da água e controle de seus efluentes

O uso de defensivos no meio rural contribui para o déficit de água potável para muitas comunidades o que acarreta, muitas vezes, elevados sobre custos de serviços para garantir o abastecimento com qualidade e quantidade, e o que aumenta a competição urbano-rural.

A melhoria na qualidade da água e, o controle de seus efluentes, em vários países, traduz-se em: (a) desenvolvimentos para melhorar as fontes de captação de água; (b) desenvolvimento de sistemas que incorporem a economia da água; e, (c) desenvolvimento de tecnologias e tratamentos avançados para adequar águas residuárias.

Verifica-se que, em vários países desenvolvidos e em desenvolvimento, as inovações tecnológicas de tratamentos biológicos, físicos, químicos para minimizar contaminações agrícolas coincidem com a maior sensibilidade ambiental de governos e populações beneficiadas, e uma maior capacidade de gestão, controle da água de seus efluentes e afluentes por parte dos gestores e usuários.

Reuso da água

O reuso é outra prática que está tendo utilização crescente em vários países desenvolvidos, como alternativa para mitigar os problemas gerados pelo intenso uso da água. Essa tendência se fundamenta em: (a) viabilidade técnica de obter água tratada com boa qualidade; (b) viabilidade técnica de conseguir desinfecções adequadas; (c) regulamentações diferenciadas por qualidade da água a ser reutilizada em função de usos distintos; (d) viabilidade técnica de reuso, principalmente na agricultura, em cultivos perenes.

Essa prática tem sido facilitada por crescente conscientização social e empresarial pela necessidade de reutilizar as águas residuárias depuradas e por um contínuo incremento de preço/custo da água. O desenvolvimento tecnológico está ocorrendo nas áreas de: (a) melhoria e utilização de tecnologias de separações; (b) tecnologias de filtração, uso de carvão ativado e membranas; (c) outros procedimentos de filtração e nanofiltração; (d) eliminação de resíduos de agrotóxicos das águas de uso agrícola e industrial; (e) desenvolvimentos de processos biológicos mais eficientes; (f) técnicas para o transporte de água dos centros de tratamento aos lugares de reuso.

À semelhança do que se verifica em vários países onde o uso da água no meio rural é importante, no Brasil, também, constatam-se as seguintes práticas que

estão necessitando de ações de P&D, conforme indicados, por levantamentos da Embrapa.

Racionalização do uso e aumento de eficiência

- a) melhor aproveitamento da água de chuva (harmonização entre as características ambientais, genéticas e manejo de culturas);
- b) estratégias de manejo de água e outros insumos na agricultura irrigada para aumentar a produtividade (física e econômica) por unidade de água;
- c) desenvolvimento ou adaptação de culturas (cultivares) aos estresses ambientais, com ênfase nos estresses hídricos;
- d) desenvolvimento, automação e modelos de tomada de decisão (sensores, sensoriamento remoto, SIG etc).

“Produção” de água

- a) técnicas de contenção do escoamento superficial para recarga do lençol freático;
- b) identificação/análise de zonas preferenciais de recarga de aquíferos para sustentação/incremento de infiltração e conservação de água;
- c) técnicas de “colheita de água”, em pequenas propriedades, para estabilização de produção, aumento de produtividade, recuperação da cobertura vegetal em micro-bacias;
- d) plantio direto (redução de evaporação e compactação de solos);
- e) monitoramento e avaliação de impactos da agricultura na “produção” de água;
- f) manejo integrado sustentável de recursos naturais em micro-bacias e sub-bacias para adequação de interveniência antrópica (ordenamento de uso).

Qualidade de água

- a) re-utilização de águas residuais, inclusive dessalinização de águas salobras no semi-árido, em pequenas propriedades, para consumo humano e animal, e estratégias de manejo do rejeito;
- b) monitoramento e avaliação da qualidade da água de mananciais que suprem sistemas agrícolas, ou recebem sem fluxo de retorno, para detecção de possíveis efeitos nocivos e adequação de uso;
- c) avaliação da toxidez por substâncias presentes em águas a montante ou a jusante de áreas agrícolas, que possam contaminá-las, ou ser por elas contaminadas.

Outros temas

- a) desenvolvimento da base de Dados
- b) desenvolvimentos de Estudos de Caracterização e Mudança Climática
- c) avaliação dos Efeitos dos Eventos extremos

6.4 PRINCIPAIS ASPECTOS DE CT&I QUE NECESSITAM DE DESENVOLVIMENTO

A seguir, são apresentados alguns temas e desafios de ciência e tecnologia que devem ser enfrentados para propiciar aumento da eficiência do uso da água no meio rural.

Conforme indicado no documento Diretrizes Estratégicas do CT-Hidro, os principais componentes que caracterizam o desenvolvimento tecnológico-científico voltado para o aproveitamento sustentável em recursos hídricos dependem de uma visão integrada dos seguintes componentes: a) biomas brasileiros; b) condicionantes socioeconômicos; c) sistemas hídricos; e, d) disciplinas do conhecimento, como esquematizado na figura 6.1.

Os principais biomas brasileiros apresentam características hídricas distintas quanto ao comportamento. São eles: Amazônia, Pantanal, Semi-Árido (caatinga), Cerrado, Costeiro (mata atlântica, dunas e manguezais) e Sul/Sudeste (mata atlântica e campos sulinos).

O componente socioeconômico envolve desenvolvimento urbano e rural, com energia, transporte, produção agrícola, conservação e impacto ambiental, efeitos dos eventos extremos de secas e estiagem.



Figura 6.1 - Componentes do Gerenciamento dos Recursos Hídricos (MCT, 2001)

Os sistemas hídricos são: águas atmosféricas, bacias hidrográficas, rios, lagos, reservatórios e aquíferos que podem ser vistos isoladamente ou integrados.

O componente é constituído pelas disciplinas do conhecimento e fazem parte a hidrologia, hidráulica, qualidade da água, limnologia, economia, sedimentologia, meteorologia, entre outras.

Como produto, a componente gestão de recursos hídricos envolve o disciplinamento do uso da água e a implantação da decisão descentralizada e participativa, no bojo de uma visão sustentável.

A implantação plena dos sistemas de gestão de recursos hídricos no país é um esforço que demandará desenvolvimento científico e tecnológico, quer pelo próprio conhecimento dos sistemas hídricos, quer pelo desenvolvimento dos instrumentos de gestão. O apoio ao decisor virá com o desenvolvimento tecnológico e o estabelecimento de sistemas de informação em recursos hídricos, com o funcionamento dos sistemas de outorga, com a elaboração dos planos de bacia, tudo isso de forma integrada entre os diversos setores, principalmente com as áreas de saneamento e meio ambiente.

O sistema socioeconômico é representado pelos diversos usos da água e seus respectivos impactos, que são:

Desenvolvimento urbano: proteção de mananciais, saneamento, drenagem urbana e inundação ribeirinha, destinação de resíduo sólido e controle da erosão urbana.

Desenvolvimento rural: ao desenvolvimento rural estão associados usos da água tais como abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação e drenagem. Ocorre alteração da cobertura vegetal e do solo em função da agricultura, modificando a bacia hidrográfica e o ciclo hidrológico. Esse desenvolvimento produz impactos nos rios por meio da poluição difusa, erosão e sedimentação dos rios.

Energia: É a principal fonte de energia elétrica utilizada no Brasil (91%), mas apresenta vantagens tecnológicas e desvantagens ambientais que devem ser balanceadas em cada região.

Navegação: o uso do sistema hídrico para transporte apresenta, geralmente, boa economia de escala, mas pode acarretar impactos ambientais negativos na medida em que altera o sistema fluvial.

Recreação: o uso dos sistemas naturais para entretenimento da população, se bem controlado apresenta baixo impacto ambiental, permitindo criar condições econômicas e ambientais sustentáveis.

Eventos críticos: os eventos críticos de estiagem ou de inundações são situações geradas pela variação natural dos sistemas hídricos, com as quais deve-se procurar conviver, visando a sustentabilidade de longo prazo. O sistema natural é formado pelo conjunto de elementos físicos, químicos e biológicos que caracterizam a bacia hidrográfica e os rios, lagos e oceanos. A complexidade do seu funcionamento indica que há, ainda, muito desafio de CT&I a ser explorado nessa área.

6.4.1 Estudos sobre Biomas e Ecossistemas Brasileiros

Algumas das características dos principais biomas brasileiros quanto ao uso dos recursos hídricos, aos impactos desses usos e ao meio ambiente, são destacados na Tabela 6.2. Nos usos da água, são identificados os principais usos do bioma e dos principais impactos ambientais associados a esses e outros usos da água. Os impactos sobre a sociedade envolvem os aspectos relacionados com a água que, de alguma forma, são afetadas, como as inundações e as doenças de veiculação hídrica. No item impacto ambiental, as ações antrópicas que afetam os recursos hídricos e o ambiente como um todo.

Destacam-se alguns fatores fundamentais que ocorrem na maioria dos ecossistemas: impactos devido aos efluentes das cidades, inundações, saúde da população comprometida por doenças de veiculação hídrica, erosão do solo e desmatamento.

Além desses, observa-se, adicionalmente:

- o uso dos recursos hídricos ainda se processa a partir de uma visão setorial, necessitando uma visão integrada que promova o uso racional desses recursos;

- o impacto da variabilidade climática sobre todos os sistemas hídricos é desconhecido;
- a integração de ações que envolvem os diferentes setores como agricultura, água e saneamento, saúde e energia, é fundamental para o uso racional da água;
- o conhecimento sobre o comportamento hídrico dos biomas brasileiros é ainda incipiente;
- falta qualificação técnica para gestão dos sistemas hídricos em grande parte dos estados brasileiros abrigam esses biomas.

Biomass	Principais aspectos
Amazônia	
<i>Usos</i>	Navegação e energia
<i>Impactos dos usos</i>	Efluentes das cidades, controle da navegação e reservatórios de energia
<i>Impactos sobre a sociedade</i>	Inundação e saúde (doenças de veiculação hídrica)
<i>Impactos ambientais</i>	Desmatamento, queimadas e mineração.
Pantanal	
<i>Usos</i>	Agropecuária, abastecimento e navegação
<i>Impactos dos usos</i>	Navegação e efluentes das cidades
<i>Impactos sobre a sociedade</i>	Inundações e saúde
<i>Impactos ambientais</i>	Mineração, desmatamento, queimadas e erosão.
Cerrado	
<i>Usos</i>	Irrigação, abastecimento e energia
<i>Impactos dos usos</i>	Efluentes das cidades, reservatórios hidrelétricos, drenagem de áreas agrícolas
<i>Impactos sobre a sociedade</i>	Saúde
<i>Impactos ambientais</i>	Desmatamento, queimadas e efluentes industriais.
Semi-árido	
<i>Usos</i>	Abastecimento e irrigação
<i>Impactos dos usos</i>	Efluentes do abastecimento, efluentes de dessalinizadores, salinização de sistemas hídricos.
<i>Impactos sobre a sociedade</i>	Saúde
<i>Impactos ambientais</i>	Desertificação e erosão do solo.

Costeiro	
<i>Usos</i>	Abastecimento, irrigação e recreação
<i>Impactos dos usos</i>	Efluentes de abastecimento (industrial e doméstico) e da irrigação.
<i>Impactos sobre a sociedade</i>	Inundações
<i>Impactos ambientais</i>	Desmatamento, mineração e ocupação dos mangues e sistemas ambientes costeiros
Sul e Sudeste	
<i>Usos</i>	Abastecimento, irrigação e recreação
<i>Impactos dos usos</i>	Efluentes de abastecimento (industrial e doméstico) e da irrigação.
<i>Impactos sobre a sociedade</i>	Inundações
<i>Impactos ambientais</i>	Desmatamento, mineração, agricultura e pecuária.

Tabela 6.2 - Características relacionadas com os biomas brasileiros (MCT, 2002)

6.4.2 Sesafios e Oportunidades de CT&I

A seguir, são destacados os principais desafios em ciência, tecnologia e inovação em recursos hídricos identificados para a área de racionalização do uso da água no meio rural.

- *Sustentabilidade hídrica de regiões semi-áridas:* O semi-árido nordestino possui grande fragilidade quanto à sua sustentabilidade hídrica. Poucos anos com disponibilidade hídrica faz com que sua população sofra com a seca, os prejuízos nas áreas urbanas e, principalmente, nas áreas rurais são inevitáveis, com forte empobrecimento da região e migração da população para outras regiões do país.

As conseqüências desses eventos extremos, sob o ponto de vista físico e climático, dão-se sobre saúde, habitação, trabalho, degradação do solo e a desertificação, comprometendo a sustentabilidade da região.

O desafio do desenvolvimento científico e tecnológico é o de dispor de elementos que criem condições para a permanência da população na região, melhorando suas condições socioeconômicas. Para isso, é preciso



augmentar a disponibilidade hídrica por meio de técnicas inovadoras como sistemas de irrigação mais eficientes, novas formas de exploração de água subterrânea no cristalino, coleta e armazenamento da água da chuva em cisternas e açudes, processos de dessalinização, processos integrados de gestão da demanda e de racionalização do uso da água, controle e melhoria da qualidade da água e melhoria da previsão climatológica.

- *Gerenciamento dos impactos da variabilidade climática sobre sistemas hídricos e a sociedade:* São significativos os efeitos da modificação do uso do solo e da variabilidade climática de curto e médio prazo sobre a bacia hidrográfica e sobre as atividades humanas. O conhecimento desses impactos sobre os sistemas hídricos é, ainda, limitado. Dessa forma, o gerenciamento integrado dessa questão praticamente não existe.

Existem várias características desse problema que são essencialmente brasileiras com a operação e a garantia do sistema energético e o comportamento dos grandes ecossistemas como os cerrados, o Pantanal e a Amazônia. Além disso, para melhor gerenciar conflitos de uso da água como, por exemplo, aqueles que envolvem irrigação, energia, navegação fluvial, controle de inundações e proteção ambiental, é essencial o conhecimento antecipado do comportamento hídrico desses sistemas.

Os desafios para a C&T são a avaliação integrada dos processos meteorológicos, hidrológicos e dos ecossistemas sujeitos à variabilidade climática; desenvolvimento de modelagem desses processos integrados e a avaliação dos cenários de desenvolvimento das regiões brasileiras.

- *Uso e conservação do solo e de sistemas hídricos:* No desenvolvimento agrossilvopastoril, a partir da ocupação dos espaços naturais em diferentes partes do país observam-se vários impactos, tais como:
 - a) a erosão do solo e produção de sedimentos que se depositam nos rios, agregados a pesticidas; a própria degradação da superfície do solo com impacto local e a jusante da bacia;
 - b) a drenagem e o conflito pela água em áreas de banhado, que representam ecossistemas a serem conservados como o Pantanal, Taim, entre outros;
 - c) o desmatamento de extensas áreas com conseqüências importantes sobre o ciclo hidrológico;
 - d) a redução da proteção das áreas marginais de rios, reservatórios, lagos, etc.
 - e) o uso intensivo da irrigação em certas regiões agrícolas do país, com ocorrência de uma série de conflitos entre a irrigação e outros usos da água e mesmo conflitos de irrigantes entre si.

O conhecimento quantitativo dos efeitos da ação antrópica sobre os biomas brasileiros é, ainda, limitado:

- a) necessita-se de monitoramento e metodologias adequadas que permitam avaliações dos processos dos sistemas hídricos e de práticas adequadas de gestão;
- f) desenvolvimento de tecnologias de aumento da produtividade dos sistemas agrossilvopastoris;
- g) aumento a eficiência do uso da água, mantendo a conservação do solo;
- h) avaliação e a mitigação dos impactos do desmatamento e das queimadas, particularmente em relação aos impactos sobre as áreas de proteção de mananciais;
- i) interface com o zoneamento ecológico-econômico coordenado pelo MMA.



- *Prevenção e controle de eventos extremos:* Tanto as enchentes como as estiagens produzem importantes impactos socioeconômicos. Nesses processos, é importante desenvolver mecanismos que permitam minimizar esses impactos. A convivência com esses processos naturais geralmente não encontra na sociedade um planejamento adequado para enfrentar as situações de emergência e nem mesmo mecanismos de previsão de ocorrência dessas situações.

São considerados eventos extremos a ocorrência de secas, das cheias, de incêndios florestais, entre outros.

O desafio associado a esse tipo de intervenção envolve o desenvolvimento de sistemas de previsão de eventos extremos, de ações de planejamento preventivas necessárias para a mitigação dos impactos, convivência com a seca (em regiões do nordeste), e do gerenciamento dos conflitos resultantes da ocorrência desses eventos.

- *Usos integrados dos sistemas hídricos e conservação ambiental:* A Agenda 21 e a Lei 9.433, de 08/01/97, estabelecem como prioridade o uso múltiplo dos recursos hídricos, mas, na atualidade, o uso da água tem sido essencialmente setorial e quando existe um uso suplementar, esse se dá, geralmente, de forma marginal.

Os desafios de CT&I são:

(a) o uso integrado não é somente a integração de usos, mas também a integração dos diferentes sistemas hídricos dentro da bacia hidrográfica. Cada sistema não deve ser visto isoladamente, mas dentro de um mesmo conjunto de sistemas que interagem no funcionamento e podem propiciar um melhor uso da água. Essa concepção tem de ser desenvolvida.

(b) criar tecnologias que permitam viabilizar o conjunto de planejamento, projeto e operação de sistemas hídricos que compatibilizem de forma sustentável e adequada diferentes usos no conjunto da bacia ou região hidrográfica.

- *Qualidade da água dos sistemas hídricos:* Um dos maiores problemas que a área de recursos hídricos hoje enfrenta é o da redução da disponibilidade hídrica devido à degradação da qualidade da água dos rios, lagos e aquíferos. Durante muito tempo, o controle da qualidade da água foi visto apenas de forma setorial, aplicando-se normas, prioritariamente, no efluente da indústria e nos efluentes domésticos. A indústria foi fiscalizada e obrigada a melhorar seu efluente. O poder público tem buscado financiamento para os efluentes domésticos, mas, na ótica de gestão de bacias hidrográficas, apenas essa ação não é suficiente. Se junta a essas fontes de poluição, as cargas difusas de origem urbana e rural, além da poluição oriunda da mineração.

Para a melhoria da qualidade da água dos rios, é necessário identificar as cargas das bacias, identificar os locais críticos e investir na redução dessas cargas. O levantamento de informações, a fiscalização e o monitoramento dos rios são essenciais para entender os impactos e sobre eles atuar.

Os desafios de CT&I nessa área são:

- a) desenvolver metodologias eficientes para levantamento das cargas das bacias, para fiscalização, monitoramento e simulação dos processos que permitam a adequada gestão dos recursos hídricos;
 - b) desenvolvimento de infra-estrutura de laboratórios e equipamentos que permitam a identificação das condições de qualidade da água.
- *Gerenciamento de bacias hidrográficas:* A implantação dos mecanismos e instrumentos técnicos e institucionais para o gerenciamento dos recursos hídricos, conforme a Lei 9.433/97, requer desenvolvimentos de CT&I e de caráter institucional, que permitam o sistema alcançar plenamente seus objetivos.

São desafios, nesse tema:

- a) o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão dos sistemas de outorga para uso da água, tanto para captações como para lançamentos;



- b) base científica e tecnológica para desenvolvimento dos sistemas de cobrança pelo uso da água, com as respectivas avaliações econômicas necessárias;
- c) metodologia de enquadramento dos corpos de água, com vistas à integração plena da gestão quantidade-qualidade da água e dos mecanismos de participação pública.
- *Estudo do comportamento dos sistemas hídricos:* O entendimento do comportamento hidrológico na bacia hidrográfica, que envolve processos químicos, físicos e biológicos, é essencial para fazer face aos demais desafios aqui apresentados.

A diversidade dos ecossistemas brasileiros sujeitos às diferentes ações antrópicas se caracteriza por singularidades que necessitam ser melhor compreendidas para buscar a sustentabilidade dos ecossistemas. A quantidade de informações existente sobre esses diferentes sistemas é limitada no país, o que tem dificultado o seu gerenciamento em bases científicas adequadas.

Os desafios desse componente são:

- a) identificação das características-chave relacionadas a esses sistemas;
- b) monitorando na forma de projetos-piloto representativos das variáveis explicativas;
- c) criação de uma base concreta para as ações públicas e privadas no uso e conservação dos sistemas hídricos, nos diferentes biomas brasileiros.
- *Desenvolvimento de produtos e processos:* Os desafios anteriormente descritos proporcionam boas oportunidades para o desenvolvimento de produtos e processos que possam contribuir para a solução de problemas específicos propiciando a expansão dessas soluções para todo o país de forma bastante eficiente. Trata-se:
 - a) da criação de novas tecnologias que poderão resultar em produtos comercializáveis, quer sob a forma de *softwares*, quer sob a forma de equipamentos;

-
- b) do desenvolvimento de modelos de operação de grandes sistemas, sistemas de previsão e alerta, modelos de operação para a área de irrigação e drenagem, entre outros, podem estar nessa linha de produção, o mesmo ocorrendo com o setor de desenvolvimento de equipamentos. A área de recursos hídricos se ressentir de uma falta de capacidade de aprimoramento tecnológico no desenvolvimento de equipamentos que atendam a seus vários setores;
 - c) monitoramento hidrológico e de qualidade da água;
 - d) do desenvolvimento de equipamentos para a produção de água, irrigação, equipamentos para tornar eficiente o uso e reduzir o consumo da água no meio rural e na indústria. Grande parte dos equipamentos hoje utilizados é importada e, muitas vezes, não atende à realidade e aos condicionantes naturais do país. O investimento atual no setor é pequeno e são grandes os desafios para se criar uma base permanente de tecnologia para permitir a consolidação desse tipo de indústria no país.
 - *Capacitação de recursos humanos:* O desenvolvimento da gestão da água e a conservação dos recursos hídricos dependem de profissionais qualificados, tanto para a tomada de decisão, como para a execução das atividades, sempre se considerando diferentes realidades do país.

Um amplo programa de capacitação faz-se necessário, atualmente, no Brasil. Esse programa deve considerar a criação de centros regionais de treinamento que atendam às necessidades locais específicas do setor e que fixem profissionais da área nas diversas regiões do país. Pelo menos nos primeiros anos de funcionamento desse programa de capacitação, a formação deve abranger todos os níveis: desde o nível técnico até a pós-graduação, passando por programas de especialização e de extensão, envolvendo profissionais e também os participantes do processo decisório, como os membros de comitês e conselhos de recursos hídricos.



É imprescindível que essa formação se dê de forma integrada e multidisciplinar. Conhecimentos das diversas disciplinas que fundamentam a questão da água devem ser ministrados em todos os cursos.

Torna-se importante a formação de diversos tipos de profissionais, a partir de programas, como por exemplo:

- a) capacitação de profissionais que atuem nos estados ou no governo federal, no gerenciamento dos recursos hídricos no meio rural;
 - b) programas que sejam combinados entre treinamento teórico e atividades do tipo 'trainee', para profissionais que atuarão diretamente nas agências de bacia e nos demais órgãos públicos;
 - c) programas para profissionais que atuem nos municípios e necessitam de um enfoque específico, relacionado com o gerenciamento dos recursos hídricos municipais;
 - d) capacitação de membros dos órgãos colegiados dos sistemas de recursos hídricos, para que conheçam as particularidades dos sistemas sobre os quais eles tomam decisões;
 - e) apoio ao sistema formal de capacitação de pesquisadores, para ampliar os quadros e também formar pesquisadores para as regiões onde seu número é limitado.
 - f) formação de equipes integradas, multidisciplinares e treinadas nas várias especificidades de sua região.
 - g) capacitação de técnicos especializados para a operação de laboratórios, de sistemas de banco de dados, de estações medidoras de quantidade e qualidade da água.
- *Infra-estrutura de apoio à pesquisa e ao desenvolvimento:* Por muitos anos, a disponibilidade de recursos financeiros não permitiu o desenvolvimento da infra-estrutura de pesquisa em recursos hídricos no País.

Por falta desses recursos e dado a sua intermitência ao longo do tempo, a infra-estrutura para a área de recursos hídricos tem ficado deteriorada e

desatualizada, necessitando apoio significativo para se tornar moderna e poder criar uma base concreta para o desenvolvimento dos projetos das diferentes linhas de pesquisa do Fundo.

Os desafios de C&T envolvem a modernização de:

- a) laboratórios de qualidade da água, de hidráulica, sedimentos, solos, entre outros;
- b) laboratórios de aferição de equipamentos utilizados no monitoramento e no setor produtivo;
- c) monitoramento de áreas-piloto de processos e sistemas hídricos.

6.5 PRINCIPAIS GRUPOS DE PESQUISA

O documento Panorama dos Recursos Hídricos no Brasil, preparado pela Secretária Técnica do CT-Hidro, destaca a falta de profissionais capacitados para atuar na área de recursos hídricos hoje no país. Os níveis de formação em recursos hídricos no Brasil são: técnico (nível médio), graduação e pós-graduação.

Para a formação de técnicos de nível médio na área da hidrometria, existe um curso na UFRGS (IPH), que possui 32 anos de funcionamento. Por outro lado, em geral, não existe tradição na formação de profissionais em Recursos Hídricos em cursos de graduação. No Brasil, recentemente, foi criado um curso de engenharia hídrica na Universidade Federal de Itajubá. Existem outros cursos de engenharia ambiental e sanitária que procuram englobar temas de recursos hídricos. Tradicionalmente, a área de Recursos Hídricos integra conhecimentos dos cursos de engenharia civil e, de forma mais abrangente, os cursos de agronomia, geologia e geografia. Na maioria dos cursos de graduação, predomina a visão setorial, sendo as disciplinas e a formação subdividida em áreas como irrigação, energia, abastecimento de água, entre outros.

Na pós-graduação, existem vários cursos que atuam em recursos hídricos, também, na sua maioria, dentro das escolas de engenharia civil. Por exemplo, na

USP/SP e UFRJ/Coppe, recursos hídricos e saneamento são subáreas do programa de pós-graduação em engenharia civil.

Existem, aproximadamente, 20 cursos de pós-graduação na área no Brasil, considerando aqueles diretamente ligados à área de recursos hídricos, juntamente com aqueles de áreas correlatas como, por exemplo, meio ambiente. A experiência em pesquisa e formação está, ainda, muito concentrada no Sul e Sudeste. A região Norte é área com o menor número de cursos, seguida da região Centro-Oeste.

De forma geral, os programas de pós-graduação encontram-se reunidos em componentes setoriais de recursos hídricos, caracterizados nos seguintes grupos:

- Hidrologia, hidráulica, sedimentos, usos como hidroenergia, navegação, irrigação e gerenciamento de recursos hídricos: predomínio do engenheiro civil e agrônomo (na irrigação e proteção solo rural);
- Água subterrânea: predomínio de geólogos
- Saneamento: engenharia civil, engenharia sanitária e ambiental, química e biologia;
- Meio Ambiente: engenheiros, biólogos, agrônomos e geógrafos, meteorologistas;
- Clima e tempo: meteorologistas e geógrafos.

Os programas existentes possuem um ou mais desses componentes no ensino e na pesquisa, sendo, geralmente, organizados a partir desses macrotemas. Deve-se considerar, também, que existem outras áreas com componentes que envolvem recursos hídricos, não tratados de forma integrada, mas sim como um sub-tema, como é o caso de agronomia e meteorologia.

Os programas de pós-graduação recebem bolsas e auxílio à pesquisa de agências de fomento como o CNPq e a Capes, além das agências estaduais de fomento. Os recursos destinados ao setor nos últimos anos têm sido insuficientes para atender à demanda dos cursos no país. Com relação à formação no exterior, a área de engenharia ambiental é uma das áreas prioritárias no CNPq para formação de doutores. No âmbito das bolsas Capes e CNPq, existe a

oportunidade da bolsa de doutorado, em que o aluno passa parte do seu tempo de pesquisa no exterior em outro programa de pós-graduação.

6.6 LACUNAS EM PERFIS DE PESQUISADORES, PARA SUPERAÇÃO DOS GARGALOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS IDENTIFICADOS

O planejamento e a gestão do uso dos recursos hídricos dependem de profissionais qualificados tanto para a execução de vários tipos de atividades técnicas, como para a tomada de decisões. A maioria dos profissionais que trabalha na área adquiriu seu conhecimento no próprio trabalho, sendo que apenas um grupo reduzido capacitou-se por meio de mestrado e doutorado.

Verifica-se falta de pessoal qualificado para a área, principalmente na medida em que prossegue a implementação da regulamentação, com a criação de comitês e agências para as bacias. Muitos dos engenheiros, agrônomos, geólogos, biólogos, geógrafos, entre outros, que não possuem pós-graduação, não dispõem de tempo para ingressar em um programa formal de pós-graduação, que exige de 2 a 3 anos para o mestrado, e de 3 a 4 anos para um doutorado. Torna-se necessário, assim, conceberem-se programas que, com apenas poucos meses de duração, capacitem profissionais de diferentes áreas em recursos hídricos, nos seus aspectos interdisciplinares.

Um dos muitos exemplos desse contexto de atuação do profissional de recursos hídricos é associado aos problemas e conflitos nas áreas urbanas relacionados a recursos hídricos. Tipicamente, deveriam ser treinados profissionais atuantes no nível municipal, que hoje não possuem conhecimentos adequados para o gerenciamento de tantos diferentes problemas que ocorrem no município. Tornasse, nesse caso, necessária a formação de gerentes municipais com conhecimento amplo sobre os temas urbanos, sem necessidade de conhecimento detalhado de todos os aspectos relacionados a recursos hídricos.

Outras lacunas em perfis de profissionais para atuação em prol do uso racional da água no meio rural podem ser observadas a partir da tabela apresentada a seguir, que resume os principais problemas, tendências e necessidades nos

principais setores dos recursos hídricos incluindo a área de desenvolvimento rural.

6.7 QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO "WORKSHOP"

Conforme indicado anteriormente, é necessário considerar a água como insumo estratégico e recurso natural limitado. Como insumo estratégico, a ênfase deve ser dada no uso com racionalização para evitar perdas em quantidade (desperdício) e qualidade (contaminação). Como recurso natural limitado, a ênfase deve ser centrada na produção e preservação de água de boa qualidade.

A gestão de recursos hídricos merece especial atenção na busca de soluções para essas questões. Ela deverá estar apropriadamente focada nas prioridades identificadas:

- gestão da demanda (racionalização do uso);
- gestão da oferta ("produção de água");
- gestão da qualidade.

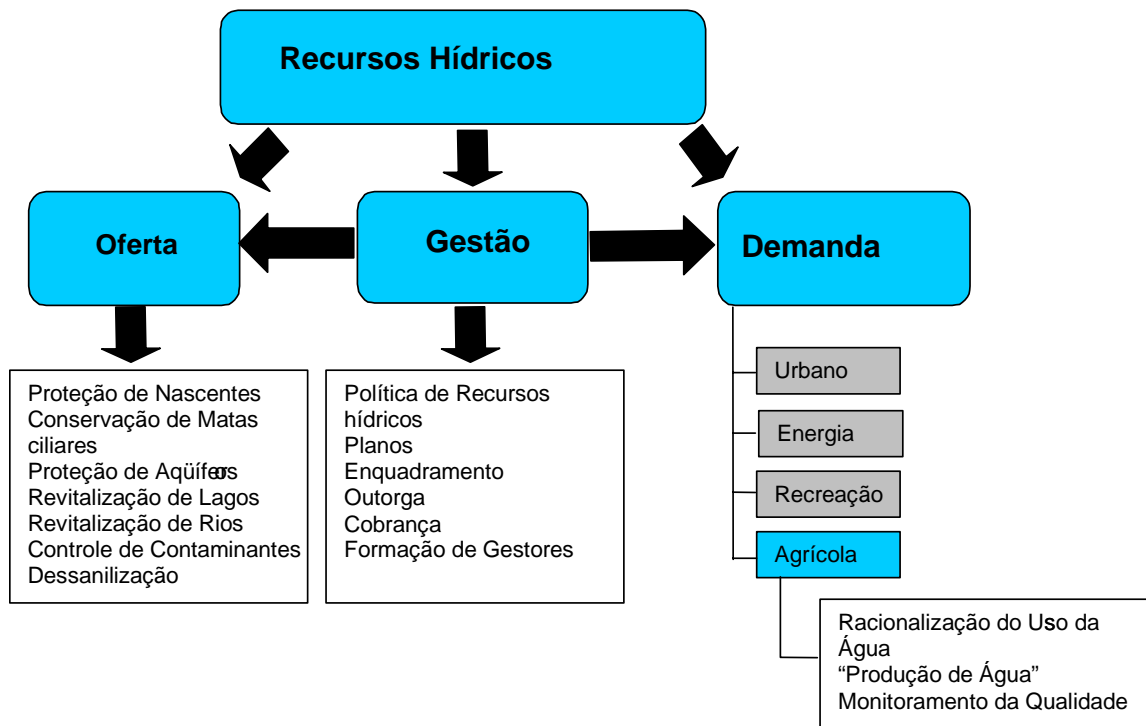


Figura 6.2 - Caracterização do sistema

Dentro desse enfoque, as linhas prioritárias, para seleção de projetos de Pesquisa & Desenvolvimento, podem ser agrupadas conforme os três grandes temas apresentados a seguir.

6.7.1 Questões Relacionadas à Demanda

Do ponto de vista da racionalização do uso, a elevação na eficiência do uso de água para a agricultura constitui desafio complexo, que abrange diferentes estratégias, em diferentes linhas de ação e escalas de atuação:

- Zoneamento agroecológico em escala regional buscando harmonização e otimização entre ambiente e exploração agrícola com vistas ao melhor aproveitamento da água pluvial;



- Desenvolvimento ou adaptação de tecnologias para racionalização do uso de água na irrigação;
- Desenvolvimento ou adaptação de culturas (cultivares) aos estresses hídricos, por falta ou excesso de água;
- Desenvolvimento metodológico para monitoramento e avaliação de desempenho agro-hidrológico de áreas irrigadas e da qualidade da água nessas áreas com enfoque regional;
- Instrumentação, automação e desenvolvimento de processos de tomada de decisão para monitoramento e avaliação de sistemas agrícola irrigados (instrumentos de controle, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica etc).

6.7.2 Questões Relacionadas à Oferta

Do ponto de vista da produção de água de boa qualidade, as seguintes estratégias e tecnologias são necessárias, enfocando tanto a propriedade rural, quanto a micro-bacia e a região:

- Desenvolvimento ou adaptação de técnicas de contenção do escoamento superficial das águas de chuva para recarga do lençol freático;
- Identificação e análise de zonas preferenciais de recarga de aquíferos, com vistas à conservação e ou incremento da quantidade da água;
- Aprimoramento de técnicas de captação "in situ", na região semi-árida, nas pequenas propriedades, pelo emprego de estratégias cultivo em faixas alternadas, barragens subterrâneas, entre outras;
- Desenvolvimento ou adaptação de técnicas regionalizadas de plantio direto evitando compactação dos solos e aumentando a infiltração de água;

- Desenvolvimento e adaptação de metodologias e modelos para monitoramento e avaliação dos impactos da atividade agrícola na produção e qualidade de água, como instrumentos de planejamento e controle ambiental;
- Manejo integrado de recursos naturais em nível de bacia hidrográfica, buscando adequar a intervenção antrópica às características biofísicas dessas unidades naturais com ordenamento do uso/ocupação da paisagem, observadas as aptidões de cada segmento e sua distribuição espacial na respectiva bacia hidrográfica.

6.7.3 Questões Relacionadas à Qualidade

Um programa de P&D sobre água na agricultura deve ter a qualidade da água como um dos seus focos principais. A água, do ponto de vista das atividades agrícolas ou rurais, precisa ser considerada sob duas perspectivas: a montante e a jusante.

A água à montante é aquela que será usada na agricultura ou na atividade rural e, portanto, constitui seu insumo maior. A agricultura enfatiza a qualidade tendo em vista a adequabilidade do insumo para produção. Dentro desse enfoque, as exigências estão voltadas para questões relacionadas a parâmetros como pH, dureza, salinidade, presença de elementos ou organismos nocivos à produção agrícola ou pecuária e à saúde da população rural. Outra característica peculiar à água de montante é o volume a ser usado, que, no caso da agricultura irrigada pode ser muito significativa.

A água à jusante é a que já foi utilizada, ou perdida, no processo de produção agropecuária conhecida como o fluxo de retorno, a parcela que percola através da zona radicular e aquela perdida por escoamento superficial. No caso da agricultura irrigada, com sistemas de aspersão, há ainda uma pequena fração que se perde por ação de ventos. Como a maior parte do volume usado é evapotranspirado pelas plantas e retorna à atmosfera, o volume do fluxo de retorno costuma ser muito menor que o volume que foi derivado a montante.

Portanto, há dois enfoques importantes: (a) a racionalização do uso do insumo, para evitar perdas controláveis; e, (b) a conservação da qualidade do fluxo de retorno, enquanto recurso natural, que irá retornar ao sistema hídrico para os lençóis freáticos, ou para os mananciais a jusante. Os parâmetros envolvidos nessa fase estão relacionados aos possíveis usos a jusante, que podem ser agrícolas ou não. Assim, o conceito do tipo de qualidade será diferenciado, tanto em termos de parâmetros químicos, físicos e biológicos, quanto em termos de limites admissíveis dos mesmos. São consideradas linhas prioritárias para P&D:

- Desenvolvimento e adaptação de tecnologias de reutilização de águas residuais, incluindo o uso de processos de dessalinização de águas salobras, no semi-árido nordestino. Estudos já realizados possibilitaram identificar usos promissores dos resíduos salinos na produção animal, piscicultura, produção de pastagens;
- Monitoramento da qualidade da água de mananciais que suprem sistemas agrícolas, ou que recebem seus fluxos de retorno, com vistas a detectar possíveis efeitos nocivos (toxidez causada por substâncias ou elementos presentes na água, que possam contaminá-la) e sugerir intervenções preventivas ou corretivas;

Em síntese, os temas principais desta prospecção tecnológica podem ser sumarizados em: (a) aumento da oferta de água no meio rural; (b) redução da demanda de água em ambientes de escassez relativa; (c) aumento da eficiência econômica e técnica do uso de água no meio rural e maior produtividade da água com produtos menos intensivos no uso desse insumo; d) qualidade da água no meio rural, a montante e a jusante.

Obviamente, outras questões estratégicas relacionadas com a racionalização do uso da água no meio rural, também serão discutidas no "workshop", como aspectos legais, institucionais e econômicos pertinentes.

Proposta do evento

Conforme indicado na metodologia de prospecção tecnológica um "workshop" será usado para aprimoramento e validação desse *position paper* sobre racionalização do uso da água no meio rural, com especialistas de órgãos públicos, com destaque para representantes do comitê assessor do CT-Hidro, do setor privado e de universidades que desenvolvem ações de P&D, com água no meio rural, em diferentes regiões brasileiras.

Programação (tentativa)

Título: RACIONALIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA NO MEIO RURAL

Promoção: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - Secretaria Técnica do CT-Hidro

Data: 19 e 20 de fevereiro de 2003.

Local: SCN - Qd 02 - Bl. "A" - Salas 1102/1103 - Auditório - Brasília - DF

Objetivo: Aprimoramento e validação de prospecção tecnológica.

Participantes: palestrantes, convidados, diretoria, pessoal técnico do CGEE e membros do comitê assessor do CT-Hidro.

19/02/03

09:00 – 09:30	Abertura	Dra. L. Melo
REFERENCIAL CONCEITUAL E TEÓRICO		
09:30 – 10:20	Diretrizes Estratégica do CT-HIDRO	Dr. C. E. Tucci
10:20 – 10:40	Prospecção Tecnológicas no CT-Hidro	Dr. O . M. C. Neto
10:40 – 11:00	Intervalo e café	
11:00 – 12:00	Racionalização do Uso da Água no Meio Rural	Dr. A . T. Vilas
12:00 – 12:40	Debates	
12:40 – 14:00	Almoço	
CONTRIBUIÇÕES INSTITUCIONAIS E REGIONAIS		
14:00 – 14:30	Racionalização do Uso da Água no Meio Rural segundo a Secretaria de Recursos Hídricos	Dra. M. M. Moreira
14:30 – 15:00	A Visão da Agência Nacional de Águas sobre a Racionalização do Uso da Água no Meio Rural	Dr. José Edil
15:00 – 15:30	As Experiências da Embrapa com P&D na Agricultura Irrigada	Dr. Fernando Campos
15:30 – 16:00	Os Desafios de C&T no Uso da Água no Vale do São Francisco, segundo a Codevasf	Representante da Codevasf
16:00 – 16:30	o Novo Modelo de Irrigação	Dr. F. Mavignier Banco do Nordeste
16:30 – 17:00	Visão da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos do Ceará sobre a Racionalização do Uso da no Meio Rural	Dr. J. Pratagil SRH do Ceará
17:00 – 17:30	Visão da Campo – Cia de Promoção Agrícola sobre a Água no Meio Rural	Dr. A . L. Oriolli Cia de Promoção Agrícola
17:30 – 18:00	Racionalização do Uso da Água no Meio Rural segun ABID	Dr. H. M. Saturnino Associação Brasileira de Irriga Drenagem

20/02/03

09:00 – 09:30	Contribuições do IICA - Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura	Dr. B. E. Santo
09:30 – 10:00	Contribuições do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado com Irrigação	Dr. C. Magno
10:00 – 10:30	Contribuições do Centro de Pesquisas para Agricultura no Semi-árido com Irrigação	Dr. P. Coelho
10:30 – 10:45	Intervalo	
10:45 – 11:15	Contribuições do Centro Nacional de Pesquisas com Milho e Sorgo Irrigados	Dr. A . Bahia
11:15 – 11:45	Contribuições da Universidade Federal do Ceará com Uso e Água no Meio Rural	Dr. V. Vieira
11:45 – 12:15	Contribuições da Universidade Federal da Paraíba com Uso e Água no Meio Rural	Dr. A . Kepler
12:15 – 14:00	Almoço	
14:00 – 14:30	Contribuições da Universidade de Pernambuco com Uso e Água no Meio Rural	Dr. J. Cirilo
14:30 – 15:00	Contribuições da Universidade Federal de Viçosa com Uso e Água no Meio Rural	Dr. A . Matos
15:00 – 15:30	Contribuições da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz com Uso e Água no Meio Rural	Prof. de Irrigação a definir
15:30 – 16:00	Contribuições da Universidade de Brasília com Uso e Água no Meio Rural	Prof. de Irrigação a definir
16:00 – 16:30	Contribuições da Escola Superior de Agronomia de Pelotas	Prof. de Irrigação a definir
16:30 – 17:30	Debate	Moderador: Dr. O . C. Neto
17:30	Encerramento	Dr. M. Miranda

7. AÇÕES FUTURAS DE CT&I

As principais linhas de pesquisa identificadas são relacionadas a seguir:

Demanda da água e uso racional

- Melhor aproveitamento da água de chuva (harmonização entre as características ambientais, genéticas e manejo de culturas);
- Estratégias de manejo de água e outros insumos na agricultura irrigada para aumentar a produtividade (física e econômica) por unidade de água;
- Desenvolvimento e/ou adaptação de culturas (cultivares) aos estresses ambientais, com ênfase nos estresses hídricos;
- Desenvolvimento, automação e modelos de tomada de decisão (sensores, sensoriamento remoto, SIG etc).

“Oferta” da água

- Técnicas de contenção do escoamento superficial para recarga do lençol freático;
- Identificação/análise de zonas preferenciais de recarga de aquíferos para sustentação/incremento de infiltração e conservação de água;
- Técnicas de “colheita de água”, em pequenas propriedades, para estabilização de produção, aumento de produtividade, recuperação da cobertura vegetal em micro-bacias;
- Plantio direto (redução de evaporação e compactação de solos);
- Monitoramento e avaliação de impactos da agricultura na “produção” de água;

- Manejo integrado sustentável de recursos naturais em micro-bacias e sub-bacias para adequação de interveniência antrópica (ordenamento de uso).

Qualidade de água

- Re-utilização de águas residuais, inclusive dessalinização de águas salobras no semi-árido, em pequenas propriedades, para consumo humano e animal, e estratégias de manejo do rejeito;
- Monitoramento e avaliação da qualidade da água de mananciais que suprem sistemas agrícolas, ou recebem sem fluxo de retorno, para detecção de possíveis efeitos nocivos e adequação de uso;
- Toxidez por substâncias presentes em águas à montante ou à jusante de áreas agrícolas, que possam contaminá-las, ou ser por elas contaminadas.

Outros temas

- Base de dados
- Caracterização climática
- Eventos extremos

8. ESTRATÉGIAS DE ARTICULAÇÃO INTERSETORIAL

A política nacional de recursos hídricos, no Brasil, prevê uma forte articulação entre os governos federal, estaduais e municipais. Com a aprovação da Lei 9.433/97, e Lei 9.984/00 foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos com a Agência Nacional de Águas (ANA), responsável pela

sua implementação, com intensa participação dos setores usuários das águas brasileiras.

8.1 PARCERIAS ESTRATÉGICAS NO PLANO FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL

Essa arquitetura político-administrativo demandará importantes estratégias de articulação intersetorial dentre as quais destaca-se a relacionada com o desenvolvimento de CT&I para dar uma base científica e tecnológica as decisões de plano de recursos hídricos, enquadramento de corpos de água, outorga pelo direito de usos e cobrança de uso.

Por outro lado, a criação e institucionalização dos fundos setoriais de desenvolvimento científico e tecnológico abriram amplas possibilidades de parcerias estratégicas, principalmente através do CT-Hidro, em cujo comitê gestor a ANA tem representação.

Ainda no âmbito federal a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), desenvolve um grande número de ações de pesquisa e desenvolvimento, com o recurso água no meio rural, em vários biomas brasileiros, em parceria com empresas estaduais de pesquisa liderando o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA).

No nível municipal é fundamentais uma forte articulação institucional com prefeituras, agências locais de águas, comitês de bacias hidrográficas e setor de usuários.

8.2 SISTEMA INSTITUCIONAL DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Em vários estados brasileiros, organismos responsáveis pela Política Estadual de Recursos Hídricos estão preparando-se para assumir as seguintes competências:

- Promover o uso racional da água e o desenvolvimento sustentável;

- Formular políticas e diretrizes para o gerenciamento dos recursos hídricos do Estado;
- Coordenar, supervisionar e planejar as atividades concernentes aos recursos hídricos do Estado;
- Funcionar como Secretaria Executiva do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, prestando-lhe, inclusive, o necessário apoio administrativo e técnico;
- Promover estudos de engenharia e economia dos recursos hídricos do Estado;
- Implantar e manter o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado;
- Coordenar a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos e encaminhá-lo à aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos;
- Acompanhar a execução de obras previstas nos planos de utilização múltipla dos recursos hídricos;
- Instruir os expedientes provenientes do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e dos Comitês de Bacia Hidrográfica;
- Analisar as solicitações e expedir outorga de direito de uso dos recursos hídricos, efetuando sua fiscalização e aplicando sanções de acordo com a regulamentação desta lei;
- Analisar projetos e conceder licenças técnica para construção de obras hídricas, sem prejuízo da licença ambiental obrigatória;
- Manter intercâmbio e integração com órgãos de operação e monitoramento da rede hidrométrica e de dados hidrometeorológicos;
- Elaborar relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos do Estado;
- Elaborar estudos visando a fixação de critérios e norma quanto a outorga de direito e uso, cobrança e outras providências relacionadas á

utilização racional dos recursos hídricos, efetuando a cobrança da tarifas fixadas;

- Incentivar os usuário dos recursos hídricos e se organizarem sob a forma de Comitês de Bacia Hidrográficas.

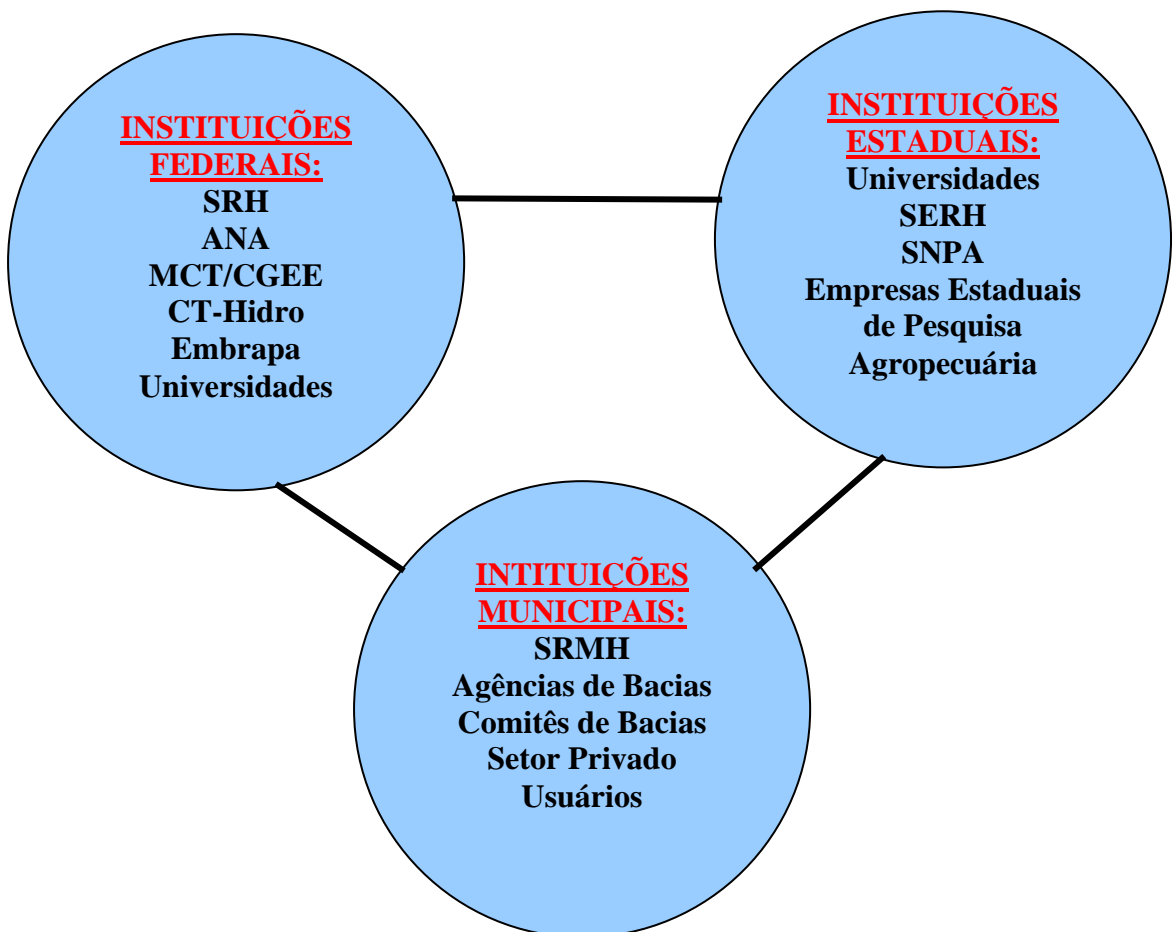


Figura 8.1 - Articulação entre entidades públicas

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, 1997. *Atlas Hidrológico do Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica.

ASSIS, L.F.S. de. *Desenvolvimento Metodológico para Modelo de Gerenciamento Ambiental de Bacias Hidrográficas – Estudo de Caso: Bacia de Verde Grande - CETEC, 1995 - Volume 1 – Capítulo “Marco Referencial”*.

BARTH, Flávio Terra, *Aspectos Institucionais da Cobrança pelo Uso da Água – WORKSHOP SOBRE A Cobrança pelo Uso Da Água*, Belo Horizonte, 20 a 23 de agosto de 1996.

BISWAS, A. K. *Public participation in water resources planing and policy making*. Oxford: International Society for Ecological Modelling, [19 -]. 8p.

BOSON, Patrícia Helena Gambogi – *Instrumentos da Gestão Ambiental – Gestão Participativa/Processo de Negociação – Uma Visão da Lei Federal nº 9.433 de janeiro de 1997- Curso de Especialização em Gestão do Meio ambiente – IEC/PUC-MG – 1998*

BRAGA, B., Tundisi, J. G. *Águas Doces no Brasil*. Escrituras São Paulo p. 249-303.

BRASIL. Congresso, Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979. Dispõe sobre a política nacional de irrigação e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 jun. 1979. Seção 1, p. 8937-8941.

BRASIL. Congresso, lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal e altera o artigo 1 da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470-474.

BRASIL. Presidência da República. Decreto n. 89.496, de 29 de março de 1984. Regulamenta a lei nº. 6.662, de 25 de julho de 1979, que dispõe sobre a política nacional de irrigação e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 mar. 1984a. seção 1, p.4.502.

BRASIL. Presidência da República. Decreto n. 90.309, de 16 de outubro de 1984. Dá nova redação ao artigo 14 e ao artigo 16 § 3º, do Decreto nº. 89.496, de 29 de março de 1984, que dispões de março de 1984, que dispões sobre a política nacional de irrigação. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 out. 1984b.

CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia Y Tecnología para el desarrollo. *El Agua en Iberoamérica: Acuíferos, lagos y Embalses*. Dra. Alicia Freández Cirelli. Ano 2000.

CRISTOFIDIS, D. 1999. *Recursos Hídricos e Irrigação no Brasil*. Brasília: CDS-UNB.

DIRETRIZES ESTRATÉGICAS PARA O FUNDO SETORIAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Secretária Técnica do Fundo de Recursos Hídricos. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, DF. jul. 2001. Versão 3.5. 43p.

FARINA, E.M.M.Q.; AZEVEDO, P.F.; SAES, M.S.M. *Competitividade: mercado, estado e organizações*. São Paulo: Singular, 1997.

FGV, 1998. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*, Fundação Getúlio Vargas, (9 volumes).

FREITAS, M. A V., O Estado das Águas no Brasil. MME, MMA/SRH, OMM p. 73-101.

FUNDOS SETORIAIS DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, *uma estratégia de Desenvolvimento*, MCT Julho de 2000.

GESTÃO DA ÁGUA NO BRASIL: *uma primeira avaliação da situação atual e perspectivas para 2025*, janeiro de 2000.

IBGE, 1999 "Síntese de Indicadores Sociais- 1998", Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1999 - 204p.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT: Development issues for the 21st century, 1992, Dublin. Keynote Papers. Geneve:WMO, 1992.1v.

JONES, W. I. *The World Bank and irrigation*. Washigton, DC: World Bank, 1995.

LACERDA L.D; ESTEVES, F.A.. *WORLD BANK 1992. World development report: development and environment*. New York: Oxford University Press.

LEAL, A S. 1999. *As águas Subterrâneas no Brasil*. In: Freitas, M. A V., O Estado das Águas no Brasil. MME, MMA/SRH, OMM p139-164.

LEAL, M. S. 1998. *Gestão Ambiental de recursos Hídricos: Princípios e Aplicações*. Rio de Janeiro CPRM p.176.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A; CRISTOFIDIS, D., 1999. *O uso da Irrigação no Brasil*.

LANNA, A. E. *Instrumentos de gestão ambiental: métodos de gerenciamento de bacia hidrográfica*. Brasília: IBAMA, 1994. 141p.

LANNA, A. E. *Gestão de Recursos Hídricos – Coleção ABRH v.4*

LANNA, A. E. *Gestão das Águas*, versão julho de 1997- Texto de referência do curso introdução à Gestão dos Recursos Hídricos – Capítulo - - Instrumentos de Gestão das Águas: Cobrança pelo uso da água.

PANORAMA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL. Secretária Técnica do Fundo de Recursos Hídricos. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, DF. Set. 2001. 47p.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Legislação, Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos*, 54p.

PRONAPA 2002. *Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Agropecuária*. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília, DF.

TELLES, D. A. A, 1999 *Água na Agricultura e Pecuária*. In: Rebouças, A C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. *Águas Doces no Brasil* capítulo 9. Escrituras São Paulo p. 303-338.

TUCCI, C.E.M.2000. *Desafios em Recursos Hídricos em Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais* cap15., MCT, PADCT, PNUMA.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO, O. 2000. *Cenários da Gestão da Água no Brasil: uma contribuição à visão da água no Brasil*. RBRH V5 N.3.

WRI, 1998 "1998-99 *World Resources - A Guide to the Global Environment*", World Resources Institute, The United Nations Environment Programme, The United Nations Development Programme, The World Bank: Oxford University Press, New York, 1998- 369p.

10. ANEXOS

ANEXO 1: Características de Setores dos Recursos Hídricos

Setor	Principais Problemas	Tendências	Necessidades
Institucional	<ul style="list-style-type: none"> - implementação incipiente da legislação dos recursos hídricos; - não-regulamentação da cobrança pelo uso da água; - centralização excessiva na gestão dos recursos hídricos; 	<ul style="list-style-type: none"> - desenvolvimento institucional das bacias com conflito; - implementação da Agência Nacional da Água (ANA); - resistência à instituição da cobrança pelo uso da água; 	<ul style="list-style-type: none"> - fortalecimento institucional em nível federal e estadual; - descentralização da gestão, com maior participação dos municípios e da população e da iniciativa privada; - regulamentação institucional do sistema;
Desenvolvimento urbano	<ul style="list-style-type: none"> - contaminação dos mananciais; - ausência quase total de tratamento dos efluentes; - conflitos e limitações institucionais; - ocupação do espaço com risco de inundação; - projetos de drenagem urbana que agravam enchentes; - coleta inadequada e limitações na disposição de resíduos sólidos 	<ul style="list-style-type: none"> - grandes prejuízos nas grandes cidades, com falta de manancial de abastecimento; - perda de recursos em construção de canais de drenagem que somente agravam as enchentes; - agravamento das condições ambientais das cidades médias que são pólos de desenvolvimento; - degradação sanitária das cidades com aumento de doenças de veiculação hídrica; 	<ul style="list-style-type: none"> - programa de treinamento de profissionais municipais; - programas estaduais e federais que tratem o gerenciamento integrado dos recursos hídricos e meio ambiente das cidades; - incentivo ao desenvolvimento de planos diretores de saneamento e drenagem urbana; - criação de fundos de financiamento para apoio aos planos das cidades;
Navegação	<ul style="list-style-type: none"> - pouca competitividade com os outros meios de transporte; - gerenciamento operacional limitado em algumas vias; - investimento realizado insuficiente dado o porte de um sistema dessa natureza; 	<ul style="list-style-type: none"> - restrição de investimentos públicos, que continuariam limitados; - dificuldade em melhorar competitividade com relação outros meios de transporte; 	<ul style="list-style-type: none"> - programa de apoio operacional às hidrovias (previsão de níveis e calado); - programas públicos e privados conjuntos, para viabilização do transporte de grandes cargas;
Energia	<ul style="list-style-type: none"> - forte concentração da produção de energia em hidrelétrica; - risco de a oferta não atender a demanda de energia devido à variação climática; - dificuldades da ampliação da oferta e diversificação da produção; - em face da privatização de um sistema baseado em hidrelétricas, haverá risco de diminuição da flexibilidade do sistema para atender a demanda em períodos secos; 	<ul style="list-style-type: none"> - aumento da produção térmica à base de gás; - dificuldades na implementação de algumas usinas elétricas, em curto prazo, devido a limitações do parque fabril; - grande concentração, em curto prazo, em hidrelétricas, com produção sujeita a riscos climáticos; 	<ul style="list-style-type: none"> - revisão da avaliação de risco quanto a variabilidade climática de longo prazo; - aceleração do processo de diversificação da produção de energia; - ampliação da interligação dos sistemas de produção; - planejamento de um sistema alternativo para fazer face a uma tendência climática desfavorável de curto prazo;
Desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> - conflito da agropecuária 	<ul style="list-style-type: none"> - expansão agrícola de 	<ul style="list-style-type: none"> - ampliação da extensão

rural	com o abastecimento de água às populações humanas; - degradação do solo e assoreamento dos rios; - baixa eficiência na irrigação degradação química dos efluentes; - resistência ao pagamento pelo uso da água o que dificulta a racionalização do uso desse insumo;	áreas com oferta hídrica e solo adequados; - conflito em regiões específicas onde a oferta de água é crítica nos anos de estiagem; - melhoria na conservação do solo em algumas regiões; - mecanização da agricultura com redução de mão-de-obra;	rural, principalmente nas áreas deficientes; - desenvolvimento de programas de eficiência agrícola e ambiental através de financiamento da produção; - instituição da cobrança pelo uso da água como mecanismo de melhoria da eficiência; - incentivo à criação de comitê e agência de bacia para as áreas críticas;
Enchentes e Secas	- ocupação do espaço de risco de enchentes; - ampliação das enchentes devido à urbanização e ao controle equivocados; - inexistência de regulamentação sobre prevenção de riscos de rompimento de barragens; - ocorrência de secas frequentes no Nordeste; - articulação interinstitucional incipiente para gerenciamento destes problemas;	- grandes prejuízos tanto nas enchentes como nas secas; - investimentos públicos inadequados nas cidades; - medidas paliativas, sem resultados de longo prazo;	- implementação de programas de prevenção e de apoio às cidades para combate às enchentes e às secas; - instituição de regulamentação sobre rompimento de barragens; - criação de fundos para financiamento dos programas preventivos e incentivos para as cidades;

ANEXO 2: Necessidade de Desenvolvidos de CT&I em Evaporação

Conforme Morethson Resende, pesquisador da Embrapa CNPMS, encontra-se na literatura, bem como em painéis de congresso técnicos, que o consumo de água doce pela agricultura é superior a 60 %; os consumos industriais e humanos completam os 100% da água derivada de diversas fontes.

No Brasil, 61% da água é consumida pela agricultura irrigada. (Christofidis 1997 e 1999).

A geração de energia elétrica não aparece nas estatísticas como atividade que consome água, é comum indicar o setor de energia elétrica como usuário da água e não consumidor, uma vez que a água apenas passa pelas turbinas.

As barragens são construídas principalmente para geração de energia, como as existentes no Rio São Francisco, uma vez que os projetos necessitando de barragens para isso.

Segundo a CODEVASF, o Vale do Rio São Francisco tem 147.000 há de área pública irrigada e 200.000ha de área privada, totalizando 347.000ha de área irrigada.

Por outro lado, considerando-se apenas as áreas do espelhos de água dos lagos das principais barragens do Rio São Francisco, sem as barragens de seus afluentes, têm-se: Três Marias (1.040 km²), Sobradinho (4.214 km²), Luiza Gonzaga (834 km²), Apolônio Sales (100 km²), Paulo Afonso I, II, III (93 km²), Queimado (40 km²) e Xingo (60 km²), totalizando 6.381 km². Assumindo 80% dessa área como sendo a área média do espelho de água no ano e ao longo dos anos, tem-se 5.104 km², o que corresponde a 510.480ha de área de espelho de água evaporando continuamente.

Observa-se que a área irrigada no Vale Rio São Francisco corresponde a 68% da área total de espelho de água dos lagos.

Segundo Hounam (1973) e Kohler & Parmele (1967), a lâmina de água evaporada nos lagos corresponde a 70% da evaporação do tanque Classe A. Considerando um coeficiente médio de tanque (K_p) de 0,8 um coeficiente de

cultura (K_c) médio para todo o ciclo igual a 1,0 e uma eficiência de irrigação média de 60%, conclui-se que um hectare de cultura irrigado consome 190% ($(0,8/0,7 \times 1,0)/0,6=1,90$) da água evaporada por um hectare de superfície livre da água dos lagos.

Assumindo-se que, em média, as áreas são irrigadas cerca de 220 dias por ano, devido à preparo para plantio, colheitas e dias chuvosos, essas áreas vão consumir água aproximadamente 60% do tempo correspondente ao período de evaporação nos lagos.

Assumindo que 20% das áreas dos projetos no Vale Rio São Francisco não são irrigadas que o total de áreas irrigadas equivale a 68% da área da superfície de água dos lagos; que o consumo de água/há na agricultura irrigada é 1,90 vezes maior que a evaporação/ha dos lagos, que os dias com irrigação correspondem a 60% nos dias com evaporação nos lagos e que 80% da área é irrigada anualmente, conclui-se que a água consumida na agricultura irrigada é igual a: $0,68 \times 1,90 \times 0,60 \times 0,80 = 0,62$.

Ou seja, 62% do total de água perdida por evaporação nos lagos das barragens da bacia do Rio São Francisco, equivale à necessidade de água para irrigação no Vale Rio São Francisco.

Com base na discussão anterior, conclui-se que deve ser acrescido ao volume de água derivada (para agricultura, uso doméstico e industrial) o volume perdido por evaporação dos reservatórios para produção de energia.

Como a indústria e o uso doméstico consomem 0,64 da água consumida pela agricultura irrigada e esta, 0,62 da água usada para produção de energia e assumindo-se que as perdas por infiltração nos lagos, recarregam os lençóis subterrâneos e retornam ao rio à jusante das barragens, tem-se que: da água derivada, aproximadamente, 50% são perdidos por evaporação, devido à produção de energia, 30% são consumidos pela agricultura e 20% utilizados pela indústria e pelo uso doméstico, nas condições do Vale Rio São Francisco.

Portanto, uma adequada mensuração da utilização da água, pelos diferentes setores, indica que: a) a agricultura não é a principal responsável pelo consumo de água no Vale Rio São Francisco; b) o setor elétrico é grande usuário de água



também pela evaporação nas barragens do sistema; c) o tema da evaporação é muito importante e apresenta desafios de C&T.

ANEXO 3: Seca no Nordeste do Brasil: Condições para o Desenvolvimento Sustentado da Região

Síntese da apresentação do Coronel engenheiro João Ferreira Filho realizado no dia 12 de fevereiro no Auditório do Centro de Estudos Estratégicos do MCT, no ciclo de debates sob Recursos Hídricos, abordando o tema: 500 Anos de Seca no Nordeste do Brasil, enfocando as experiências e conhecimentos existentes na região para formulação de estratégias que conduzam ao desenvolvimento sustentado. Pela importância do tema, foi elaborado este resumo.

Área Complexa

O expositor mostrou a complexidade da região nordestina com seus grandes desafios, em particular quanto ao suprimento de recursos hídricos, a saber:

Águas Subterrâneas

O mapa geológico do semi-árido mostra que 95 % do seu território é constituído de rochas cristalinas onde se localizam 2% das reservas hídricas; sendo que apenas 5% de seu território é constituído de formações sedimentares onde se armazenam 98% das águas subterrâneas. Deve-se ressaltar que boa parte dessa água subterrânea, cerca de 70 %, possui resíduo seco superior a 4000 PPM, ou seja, é imprópria para consumo humano ou animal (salgada/mineralizada).

Águas de Superfície

Os ciclos de seca podem ser perfeitamente acompanhados pelos registros históricos e correlacionados com outros ciclos naturais como El Nino e La Nina o que permite maior precisão nas previsões e que permitem verificar a existência de que permite maior precisão nas previsões e que permitem verificar a existência de secas com duração de três anos e secas com duração de cinco anos. O intervalo entre as secas (períodos com inverno) é de 13 anos, sendo que as secas de grande duração têm intervalo de 26 anos.

Estudos feitos pelo palestrante em 2500 açudes, mostram que apenas 18 suportariam uma seca de 5 anos de duração. Esses seriam aqueles com mais de 30 metros de profundidade. A Embrapa prevê que em 2005 restarão cm suprimento de água nos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba apenas um açude, em cada estado. Em Pernambuco todos os açudes restarão secos. No Ceará restarão 16açudes. É preciso lembrar que a evaporação é em média de 3000 mm/ano. E ao acumular água em barragens estamos favorecendo o processo de evaporação por efeito da ação direta do sol e dos ventos no grande espelho d'água que se forma.

Desertificação

Os tratos culturais inadequados e o excesso de pressão antrópica vem causando um processo de desertificação crescente, atingindo 181.000 km², sendo as principais manchas de desertificação as de Cabrobó (PE); Cariri (PB); Seridó (RN); Irauçuba (CE); e Gilbués (PI).

Mudanças Globais do Clima

As mudanças globais do clima têm levado a tornar mais agudas, as crises de escassez de água, assim a elevação da temperatura da terra (efeito estufa), tem levado à diminuição dos meses de chuva no Nordeste brasileiro. A duração do inverno, período de chuvas tem diminuído.

Balanço Hídrico

Por ocasião da elaboração do Projeto São Francisco Água para todos, consultores independentes calcularam a época em que os suprimentos próprios, açudes e poços do semi-árido, serão superados pela demanda, estabelecendo a pior hipótese em 2002 e a melhor hipótese em 2006. Estudos da FAO, realizados em 1973 prevê que esse corte iria ocorrer em 2003. Dessa forma, torna-se imperioso importar água de outras bacias hidrográficas, como as do Rio São Francisco, com

reforço das águas do Tocantins (TO) e Grande (MG) entre outras medidas que podem ser agrupadas em micro e macro soluções.

Soluções

Tendo em vista a complexidade da região, soluções simplistas não produzem resultado, isto significando que são necessárias ações à nível micro, mas que tem que ser difundidas amplamente, de forma a atingir a todos, e simultaneamente proceder a implementação de ações estruturantes de cunho macro a longo prazo.

Soluções micro:

- *obras hídricas simples:* como por exemplo, a construção de cisternas de placas para recolher a água da chuva; instalação de dessalinizadores, com o aproveitamento da salmoura em tanques para a criação de peixes, camarões e o cultivo de forrageiras que absorvam o sal; construção de barragens subterrâneas;
- *pesquisas de suporte:* como para silagem de palma forrageira; introdução da palma comestível; utilização da vagem da algaroba, entre outras;
- *no campo da educação:* erradicar o analfabetismo; interiorizar o ensino profissionalizante; disseminar os telecursos;
- *no campo da saúde:* implementar o saneamento básico; erradicar casa de taipa; disseminar os agentes de saúde; implantar o médico de família;
- *nas atividades econômicas:* incentivar com técnicas de manejo e espécies adequadas a caprino/ovino/bovinocultura; fruticultura; piscicultura; artesanato; turismo; expansão do programa Banco da Terra; interiorização de indústrias secas isto é, pouco demandantes de recursos hídricos, disciplinamento da mineração.

Soluções macro:

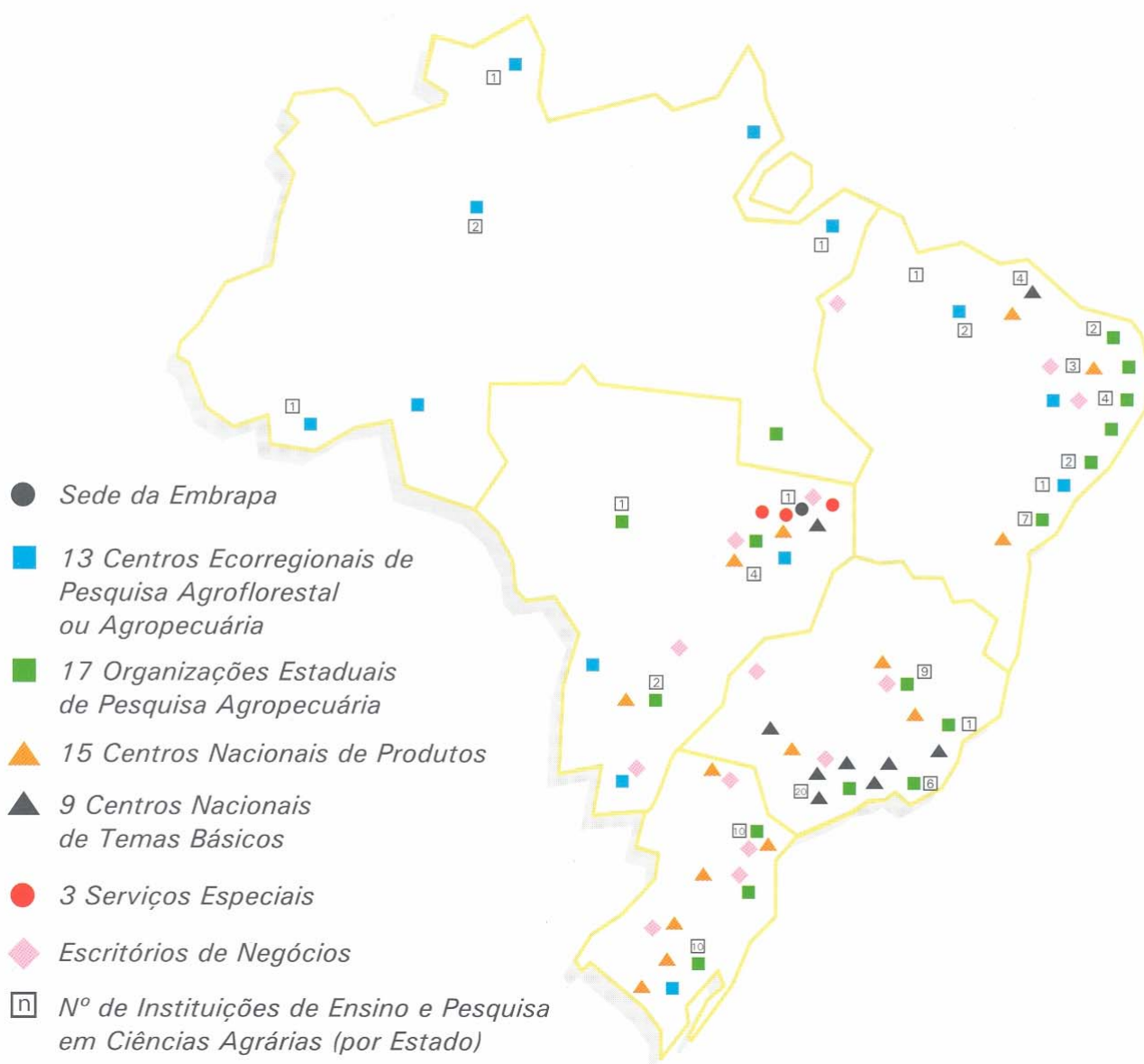
- *Projeto São Francisco com a tomada de água para as bacias nordestinas;*
- *Reforçar o Rio São Francisco com água do rio Tocantins;*
- *Adicionar ao curso superior do rio São Francisco águas da bacia hidrográfica do rio Grande;*
- *Implantação de Usinas de Dessalinização da Água do Mar junto as metrópoles nordestinas Salvador, Fortaleza, Recife e subcentros metropolitanos regionais, as demais capitais litorâneas, Aracajú, Maceió, João Pessoa e Natal.*
- *Aqueduto do Litoral entre a foz do rio São Francisco e foz do rio Parnaíba.*

Estas últimas medidas tomando partido do fato que a maior concentração populacional no nordeste brasileiro concentra-se próximo ao litoral.

Como meta *síntese* o palestrante coloca a execução de uma Campanha Educativa Massificada na região para combater o desperdício; racionalizar o uso da água; reutilizar águas servidas e preservar os mananciais.

ANEXO 4: O Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária

Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária – SNPA



ANEXO 5: Reúso da Água

Quando tomamos um simples copo d'água, devemos nos lembrar que o precioso líquido que estamos ingerindo existe desde o início dos tempos, foi reciclado pela natureza milhões de vezes. Essa mesma água pode ter sido usada para apagar o incêndio ateadado em Roma por Nero, ou banhado a rainha Cleópatra no Egito, pode mesmo, quem sabe ter banhado Jesus em seu batismo no Jordão. Lembramos fatos como esses para lembrar que a Natureza não cria, nem fabrica água, ela recicla, reutiliza o precioso líquido. Por que, por exemplo, nós humanos não imitamos a Natureza, não criamos uma rotina de reaproveitamento das águas servidas para usos menos nobres, tais como irrigar jardins, dar descargas em banheiros, lavar carros, etc. Se assim procedêssemos, estaríamos aliviando a “sangria” das nossas já tão escassas reservas hídricas.

A natureza está doente, suas veias, por onde passa o tão precioso líquido, os rios, estão secando e se não reagirmos rapidamente, a médio e longo prazo estaremos vivendo num deserto, pois sem água não há vegetação. Primeiro teremos a escassez de energia elétrica, sentida imediatamente. Depois a falta d'água em nossos lares e a seguir a escassez de alimentos. A fome, já tão conhecida de boa parcela da humanidade, virá a seguir. Precisamos perenizar nossos rios, as artérias de nosso país, abastecendo-os com água limpa, livre de metais pesados e dos resíduos pestilentos.

Como executar essa gigantesca tarefa? Combatendo severamente o desperdício; eliminando os lixões, usinas de compostagem e aterros sanitários; não atirando na atmosfera gases tóxicos que são arrastados pelas chuvas para os rios e lagos; recuperando nossas florestas, começando pelas matas ciliares, ao longo dos rios e lagos. As florestas inibem o assessoramento, além de funcionarem como armazenadoras de água, fixando-a ao solo, evitam as enchentes, minimizam a evaporação e mantêm as raízes vegetais úmidas. Se assim, não procedermos, teremos nossos recursos hídricos cada vez mais escassos e uma desertificação será irreversível. A ausência da vegetação permite que o solo seja “lavado” pelas águas pluviais, retirando os seus nutrientes naturais e sem eles não haverá vida vegetal e sem o vegetal não há fixação da água. Esse é o momento. Se não

salvamos nossos recursos hídricos, além da faltada energia elétrica, além dos apagões, teremos a falta d'água e a falta de alimentos.

ANEXO 6: Parceiros potenciais em P&D (unidades da Embrapa)

Centro-Oeste

Embrapa Sede

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

Embrapa Arroz e Feijão

Embrapa Gado de Corte

Embrapa Hortaliças

Embrapa Cerrados

Embrapa Agropecuária Oeste

Embrapa Pantanal

Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia

Embrapa Negócios Tecnológicos

Embrapa Café

Norte

Embrapa Amazônia Ocidental

Embrapa Acre

Embrapa Amapá

Embrapa Rondônia

Embrapa Roraima

Embrapa Amazônia Oriental

Nordeste

Embrapa Algodão

Embrapa Agroindústria Tropical

Embrapa Caprinos

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Embrapa Meio-Norte

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Embrapa Semi-Árido

Sudeste

Embrapa Agrobiologia

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Embrapa Gado de Leite

Embrapa Meio Ambiente

Embrapa Milho e Sorgo

Embrapa Solos

Embrapa Informática Agropecuária

Embrapa Pecuária Sudeste

Embrapa Agroindústria de Alimentos

Embrapa Monitoramento por Satélite

Sul

Embrapa Florestas

Embrapa Suínos e Aves

Embrapa Soja

Embrapa Trigo

Embrapa Uva e Vinho

Embrapa Clima Temperado

Embrapa Pecuária Sul

ANEXO 7: Programa Prospector/MCT

Relação de Projetos de P&D identificados no tema 'Recursos Hídricos'

1. Administração Municipal e Urbana 1
2. Administração da Produção 1
3. Administração de Recursos Humanos 1
4. Análise Estocástica 1
5. Análise Institucional 1
6. Análise de Traços e Química Ambiental 1
7. Aplicações Industriais de Radioisótopos 1
8. Aspectos Físico-ambientais do Planejamento Urbano e Regional 1
9. Bacteriologia 2
10. Carcinocultura 2
11. Cartografia Básica 1
12. Classes Sociais e Grupos de Interesse 1
13. Climatologia 1
14. Climatologia Geográfica 1
15. Computabilidade e Modelos de Computação 1
16. Conservação de Bacias Hidrográficas 3
17. Controle da Poluição 1
18. Controle de Enchentes e Barragens 1
19. Dinâmica dos Fluidos 1
20. Drenagem Urbana de Águas Pluviais 1
21. Drenagem de Águas Residuárias 1
22. Ecologia Aplicada à Engenharia Sanitária 1
23. Ecologia de Ecossistemas 2
24. Economia Regional 1
25. Economia dos Recursos Naturais 1
26. Educação Rural 1
27. Educação em Periferias Urbanas 1

28. Estudo e Caracterização de Efluentes Industriais 1
29. Exploração Pesqueira de Águas Interiores 2
30. Fatores Abióticos de Águas Interiores 2
31. Fotogeografia (físico-ecológica) 1
32. Fotogrametria 1
33. Geoecologia 1
34. Geofísica Nuclear 1
35. Geografia da População 1
36. Geologia Ambiental 1
37. Geologia Regional 1
38. Geomorfologia 1
39. Geoquímica 1
40. Geotermia e Fluxo Térmico 1
41. Hidrogeografia 1
42. Hidrogeologia 1
43. Hidrologia 1
44. Hidrologia Florestal 3
45. Hidráulica 1
46. Informação, Cadastro e Mapeamento 1
47. Infra-estruturas Urbanas e Regionais 1
48. Instalações Hidráulico-sanitárias 1
49. Instrumentação Meteorológica 1
50. Instrumentação para Medida e Controle de Radiação 1
51. Interação do Oceano com a Atmosfera 1
52. Irrigação e Drenagem 4
53. Lay-out de Processos Industriais 1
54. Legislação Ambiental 1
55. Manejo e Conservação de Recursos Pesqueiros de Águas Interiores 2
56. Maricultura 2
57. Meteorologia Aplicada 1
58. Meteorologia Dinâmica 1

59. Meteorologia Física 1
60. Meteorologia Sinótica 1
61. Microbiologia Aplicada à Engenharia Sanitária 1
62. Micrometeorologia 1
63. Modelos Analíticos e de Simulação 2
64. Movimento da Água do Mar 1
65. Métodos e Técnicas de Ensino 1
66. Organizações Internacionais 1
67. Organizações Públicas 1
68. Origens das Massas de Água 1
69. Ostreicultura 2
70. Papéis e Estruturas Sociais: Indivíduo 1
71. Parasitologia Aplicada à Engenharia Sanitária 1
72. Piscicultura 2
73. Planejamento Ambiental e Comportamento Humano 1
74. Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos 1
75. Planejamento e Projetos da Edificação 1
76. Política Externa do Brasil 1
77. Portos e Vias Navegáveis, Projeto e Construção 1
78. Processos Grupais e de Comunicação 1
79. Processos Simplificados de Tratamento de Águas 1
80. Processos de Aprendizagem, Memória e Motivação 1
81. Qualidade do Ar, das Águas e do Solo 1
82. Química Nuclear e Radioquímica 1
83. Química Sanitária 1
84. Química da Atmosfera 1
85. Recrutamento e Seleção de Pessoal 1
86. Relações Internacionais, Bilaterais e Multilaterais 1
87. Relações Interpessoais 1
88. Relações Água-madeira-secagem 1
89. Renda e Tributação 1

- 90. Resíduos Radioativos 1
- 91. Saneamento Aplicado à Saúde do Homem 3
- 92. Saneamento Rural 4
- 93. Sedimentologia 1
- 94. Sensoriamento Remoto 1
- 95. Sensoriamento Remoto da Atmosfera 1
- 96. Serviço Social da Saúde 1
- 97. Sistemas de Informação 2
- 98. Sociologia Rural 1
- 99. Sociologia Urbana 1
- 100. Sociologia da Saúde 1
- 101. Sociologia do Desenvolvimento 1
- 102. Tecnologia e Problemas Sanitários de Irrigação 1
- 103. Teleinformação 1
- 104. Teoria do Desenvolvimento Regional 1
- 105. Teoria do Planejamento Urbano e Regional 1
- 106. Treinamento e Avaliação 1
- 107. Técnica de Previsão Urbana e Regional 1
- 108. Técnicas Avançadas de Tratamento de Águas 1
- 109. Técnicas Convencionais de Tratamento de Águas 1
- 110. Técnicas de Abastecimento da Água 1
- 111. Técnicas de Análise e Avaliação Urbana e Regional 1
- 112. Técnicas de Planejamento e Projetos Urbanos e Regionais 1
- 113. Variáveis Físicas da Água do Mar 1
- 114. Virologia 1
- 115. Água 1
- 116. Águas Subterrâneas e Poços Profundos 1

Tópicos e subtemas recursos hídricos do Programa Prospector/MCT

TÓPICO	Subtema
Água subterrânea em meio fissural (Hidrodinâmica e prospecção)	Água na região do semi-árido
Avaliação Econômica e Ambiental do Processo de Salinização em Solos Irrigados	Água na região do semi-árido
Controle dos processos de degradação dos recursos naturais (água e solo) por salinização	Água na região do semi-árido
Desenvolvimento de processos simplificados de captação, armazenagem e tratamento de águas para consumo humano e animal	Água na região do semi-árido
Desmineralização de água por Osmose Reversa (OR)	Água na região do semi-árido
Estratégias para cobrança de água dessalinizada em pequenas comunidades rurais	Água na região do semi-árido
Estudo de um modelo de mesoescala para o Nordeste do Brasil do Tipo RAMS ou ETA	Água na região do semi-árido
Impacto de cultivos e de períodos de irrigação na disponibilidade de recursos hídricos de bacias hidrográficas	Água na região do semi-árido
Modelos de balanço hídrico para a avaliação e estimativa das disponibilidades hídricas regiona	Água na região do semi-árido
Técnicas de manejo de água	Água na região do semi-árido
Uso de técnicas tradicionais e geofísicas na prospecção de águas subterrâneas e caracterização de aquíferos, fornecendo subsídios para a exploração racional dos recursos	Água na região do semi-árido
Uso prático de reservatórios no aproveitamento e gestão dos recursos hídricos no semi-árido	Água na região do semi-árido
Aplicação da cartografia geotécnica associada a Sistemas de Informação Geotécnica para planejamento urbano e regional	Água e o gerenciamento urbano integrado
Aplicação de técnicas geomorfológicas e sedimentológicas ao planejamento da execução de obras, visando à redução de carga sólida carregada para redes de drenagem urbana.	Água e o gerenciamento urbano integrado
Captação, armazenagem e utilização de águas pluviais em centros urbanos	Água e o gerenciamento urbano integrado
Definição de soluções visando a construção de pontes para integração de áreas urbanas	Água e o gerenciamento urbano integrado
Desenvolver um conhecimento teórico no campo educacional, incluindo abordagens antropológicas dos diferentes grupos sociais que ocupam as periferias urbanas	Água e o gerenciamento urbano integrado
Desenvolvimento científico e tecnológico aplicado à gestão de resíduos sólidos e líquidos	Água e o gerenciamento urbano integrado
Desenvolvimento de novas técnicas de drenagem pluvial, visando uma melhor integração da água com o espaço urbano	Água e o gerenciamento urbano integrado
Desenvolvimento de sistemas de tratamento para remoção de nematódios intestinais	Água e o gerenciamento urbano integrado
Desenvolvimento tecnológico na área da saúde para combater as doenças de veiculação hídrica	Água e o gerenciamento urbano integrado
Desenvolvimento de sistemas baseados na tecnologia de wetlands	Água e o gerenciamento urbano

com plantas nativas para tratamento de águas residuárias e esgotos de atividades rurais	integrado
Desinfecção de águas - processos alternativos	Água e o gerenciamento urbano integrado
Educação Tecnológica em Periferias Urbanas	Água e o gerenciamento urbano integrado
Geoprocessamento como ferramenta de apoio no uso prático das técnicas de planejamento e projetos urbanos e regionais, aplicadas à bacia hidrográfica	Água e o gerenciamento urbano integrado
Poluição dos lençóis freáticos por infiltração de combustíveis	Água e o gerenciamento urbano integrado
Projetos para disponibilização de tecnologias de controle de poluição de baixo custo para indústrias e municípios	Água e o gerenciamento urbano integrado
Recarga artificial de aquíferos utilizando efluentes domésticos tratados	Água e o gerenciamento urbano integrado
Redução das Perdas no Abastecimento Urbano	Água e o gerenciamento urbano integrado
Remoção de compostos orgânicos em águas de abastecimento por membranas poliméricas.	Água e o gerenciamento urbano integrado
Reuso da água industrial e saúde pública	Água e o gerenciamento urbano integrado
Reuso de águas residuárias na agricultura	Água e o gerenciamento urbano integrado
Toxicologia e análise de riscos à saúde humana em bacias hidrográficas e aquíferos sujeitos à poluição industrial	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso amplo de metodologias de combate às doenças de veiculação hídrica	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso amplo de sistemas simples (Condominial) para esgotamento sanitário	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso amplo de técnicas de exploração e conservação de bacias hidrográficas urbanas para o abastecimento	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso amplo de tecnologias de menor custo e menor impacto ambiental tanto na produção de água potável quanto no tratamento de efluentes e na drenagem	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático das técnicas avançadas de tratamento de águas para o abastecimento e residuárias, para a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático das técnicas da química sanitária, para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas de tratamento de águas de abastecimento e residuárias	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático das técnicas de administração municipal e urbana, enfocados nos aspectos físico-ambientais do planejamento urbano e regional por bacia hidrográfica	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático das técnicas de microbiologia aplicada ao ecossistema aquático, relacionando-as às práticas da engenharia sanitária, para gestão dos recursos hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático das técnicas de rastreamento por radioisótopos e outros traçadores (fluorescentes, biológicos), aplicados à avaliação da eficiência hidráulica de unidades de tratamento de efluentes	Água e o gerenciamento urbano integrado

Uso prático das técnicas para avaliação e monitoramento da qualidade do ar, das águas e do solo, relacionando-as às práticas da engenharia sanitária, para gestão dos recursos hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas simplificados de tratamento de água potável e de esgoto, para gestão dos recursos hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático de tecnologias de controle da poluição para solução de problemas ligados ao saneamento em bacias hidrográficas	Água e o gerenciamento urbano integrado
Uso prático do planejamento e gestão dos recursos hídricos no controle de enchentes em municípios	Água e o gerenciamento urbano integrado
Aquecimento global e seus impactos	Variabilidade climática e os sistemas hídricos
Desenvolver detecção de mudanças climáticas por métodos estocásticos	Variabilidade climática e os sistemas hídricos
Estudo sistematizado de interação oceano atmosfera, principalmente Oceano Atlântico e Pacífico.	Variabilidade climática e os sistemas hídricos
Métodos e técnicas de medidas das variáveis atmosféricas e oceânicas à superfície	Variabilidade climática e os sistemas hídricos
Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação	Uso do solo e os sistemas hídricos
Desenvolvimento de indicadores hidrológicos para o monitoramento da qualidade ambiental do manejo florestal	Uso do solo e os sistemas hídricos
Desenvolvimento de técnicas de controle de erosão urbana e rural, utilizando o conhecimento integrado da análise geomorfológica	Uso do solo e os sistemas hídricos
Desenvolvimento de técnicas de prevenção e controle de processos erosivos em bacias hidrográficas	Uso do solo e os sistemas hídricos
Desenvolvimento de tecnologias de irrigação de baixo custo e economia de água	Uso do solo e os sistemas hídricos
Dimensionamento econômico de sistemas de irrigação	Uso do solo e os sistemas hídricos
Elucidação das técnicas de interpretação geológica que possam ser utilizadas para o melhor entendimento da relação entre a dinâmica da biota e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos	Uso do solo e os sistemas hídricos
Estudos de efluentes de minas incluindo drenagem ácida	Uso do solo e os sistemas hídricos
Procedimentos, equipamentos e técnicas para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação por superfície	Uso do solo e os sistemas hídricos
Racionalização do uso da água na agricultura visando proteger o meio ambiente	Uso do solo e os sistemas hídricos
Recuperação de solos degradados	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso amplo de sistemas de informação geográficas aplicadas ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso amplo de técnicas de recuperação de matas ciliares	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso prático da Modelagem Digital de Terreno para recuperação e simulação do sistema de drenagem e de projetos de irrigação	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso prático da teoria da sedimentologia, aplicada à prevenção e correção do assoreamento de rios, lagos e reservatórios	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso prático das técnicas da geologia ambiental, aplicadas para o melhor entendimento da relação entre geologia, meio ambiente e recursos hídricos superficiais e subterrâneos	Uso do solo e os sistemas hídricos

Uso prático das técnicas da geologia regional, aplicadas para o melhor entendimento da relação entre geologia, planejamento territorial e recursos hídricos superficiais e subterrâneos	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso prático das técnicas da geomorfologia, aplicadas para o melhor entendimento da conformação, relevo e uso do solo em bacias hidrográficas	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso prático das técnicas da hidrogeologia, aplicadas ao melhor entendimento do movimento da água em meios porosos, zonas de carga e recarga de aquíferos, e avaliação de bacias hidrográficas	Uso do solo e os sistemas hídricos
Uso prático das técnicas de interpretação de fotografias aéreas para o diagnóstico do uso do território e dos aspectos ecológicos em bacias hidrográficas	Uso do solo e os sistemas hídricos
Análise do Transporte Intermodal	Uso integrado dos sistemas hídricos
Cálculo da capacidade suporte ambiental para a sustentação de empreendimentos aquícolas	Uso integrado dos sistemas hídricos
Desenvolver programas de operação de barragens hidrelétricas com vistas ao uso múltiplo dos rios, particularmente da navegação	Uso integrado dos sistemas hídricos
Desenvolver sistemas de segurança operacional e meio ambiente aplicados ao manejo de cargas tóxicas em terminais hidroviários, comboios fluviais e rotas de navegação fluvial	Uso integrado dos sistemas hídricos
Desenvolvimento de tecnologias para o cultivo de peixes de água doce e água do mar, em cativeiro	Uso integrado dos sistemas hídricos
Desenvolvimento tecnológico de sistemas de monitoramento da qualidade e quantidade das águas em terminais hidroviários	Uso integrado dos sistemas hídricos
Desenvolvimento tecnológico do manejo e conservação dos recursos pesqueiros de águas interiores	Uso integrado dos sistemas hídricos
Desenvolvimento tecnológico na construção de eclusas com grande altura	Uso integrado dos sistemas hídricos
Efeitos possíveis de mudanças climáticas sobre a produção de energia hidrelétrica no Brasil	Uso integrado dos sistemas hídricos
Elucidação de modelos morfológicos de sistemas fluviais como apoio à navegação	Uso integrado dos sistemas hídricos
Elucidação do rendimento da exploração da pesca em águas interiores	Uso integrado dos sistemas hídricos
Elucidação dos fatores que afetam o manejo e a conservação dos recursos pesqueiros de águas interiores	Uso integrado dos sistemas hídricos
Elucidação dos mecanismos do cultivo de peixes de água doce e água salgada, em cativeiro	Uso integrado dos sistemas hídricos
Elucidação dos mecanismos fisiológicos de contaminação e toxicidade dos poluentes orgânicos e inorgânicos na biota aquática	Uso integrado dos sistemas hídricos
Estudos de containerização e unitização da cargas que permitam o desenvolvimento regional ao longo das hidrovias, com vistas ao escoamento de cargas de maior valor agregado, abastecimento regional, exportação etc.	Uso integrado dos sistemas hídricos
Gerenciamento dos usos múltiplos em reservatórios de hidrelétricas	Uso integrado dos sistemas hídricos
Levantamento dos Recursos Pesqueiros nos Reservatórios do Sistema Elétrico	Uso integrado dos sistemas hídricos
Reuso da água na aquíicultura	Uso integrado dos sistemas hídricos

Simulação da Operação Hidráulica de Sistemas de Reservatórios de Usos Múltiplos	Uso integrado dos sistemas hídricos
Uso amplo das experiências na área da produção de energias (principalmente elétrica em PCHs), segundo um planejamento microrregional	Uso integrado dos sistemas hídricos
Uso de bactérias para o controle de poluição de efluentes provenientes da aquicultura	Uso integrado dos sistemas hídricos
Uso prático de técnicas de análise de risco, gerenciamento de risco e atendimento de situações de crise para a proteção de recursos hídricos da bacia hidrográfica em que o modal se insere	Uso integrado dos sistemas hídricos
Desenvolvimento de análise estocástica para modelação hidrológica aplicada à previsão de secas e enchentes	Prevenção e controle de eventos críticos
Desenvolvimento de métodos de identificação e previsão das precipitações, utilizando dados de satélite e convencionais	Prevenção e controle de eventos críticos
Desenvolvimento e implementação de modelos acoplados hidrológicos-atmosféricos	Prevenção e controle de eventos críticos
Desenvolvimento na área de sensoriamento remoto da atmosfera, à medição de características meteorológicas, ao mapeamento do movimento local, regional e global das águas atmosféricas e à prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	Prevenção e controle de eventos críticos
Desenvolvimento tecnológico na área de interação do oceano com a atmosfera, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição da dinâmica dos fenômenos meteorológicos e à prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	Prevenção e controle de eventos críticos
Desenvolvimento tecnológico na área de meteorologia aplicada, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	Prevenção e controle de eventos críticos
Desenvolvimento tecnológico na área de movimento da água do mar e sua interação com as águas doces, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição da dinâmica dos fenômenos meteorológicos e à prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	Prevenção e controle de eventos críticos
Análise de radioatividade presente nas águas	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Desenvolvimento de indicação biológica de poluição	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Desenvolvimento de modelos de monitoramento para ambientes aquáticos.	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Desenvolvimento de tecnologias de remediação ambiental para remoção de arsênio de águas e solos envenenados	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Desenvolvimento tecnológico na área de química da atmosfera, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e controle da poluição da água - chuva ácida	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Determinação de concentrações de arsênio e metais associados em águas superficial e subterrânea	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Determinação de padrões de qualidade de água (índices de qualidade e variação ao longo do tempo) adequados aos ecossistemas brasileiros, com o objetivo de classificação de corpos de água, de acordo com a legislação vigente	Qualidade da água dos sistemas hídricos

Dinâmica de sedimentos coesivos	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Elucidação dos mecanismos envolvidos na poluição de águas subterrâneas	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Elucidar os processos de contaminação das águas interiores por poluentes orgânicos e inorgânicos	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Estudo de elementos traços em áreas de captação de drenagens acima de 50Km ²	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Identificação e uso prático de indicadores biológicos para determinação da qualidade da água	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Uso prático da tecnologia química para determinação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas em bacias hidrográficas	Qualidade da água dos sistemas hídricos
Aplicação de técnicas de hidrometria visando à gestão de recursos hídricos por bacia hidrográfica	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Avaliar a relação tradicional das comunidades regionais com os recursos hídricos, considerando a memória coletiva e o imaginário	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Bases institucionais da política de recursos hídricos no país	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Competências, subsidiariedade e cooperação intergovernamental	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Criação de mercado de águas em bacias	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Desenvolver mecanismos que levem a uma diferenciação dos atores envolvidos no manejo de uma microbacia, principalmente usuários diretos da água e outros recursos: um tratamento tributário diferenciado	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Desenvolvimento de mecanismos institucionais para gestão de bacias e integração microregional	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Desenvolvimento de práticas gerenciais descentralizadas	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Desenvolvimento em climatologia geográfica aplicada à gestão dos recursos hídricos por bacia hidrográfica	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Educação Ambiental com ênfase na conservação de recursos hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Elucidação da taxa de depleção ótima do recurso natural semi-renovável água	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Estudo da importância histórico social dos recursos hídricos para cada comunidade a ser trabalhada	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Estudo de ferramentas de mobilização social entre os atores institucionais envolvidos e a população para uma gestão participativa de bacias hidrográficas	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Funções de custo de controle da poluição hídrica aplicáveis a bacias e controle de poluição	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Funções de demanda da água aplicáveis a bacias hidrográficas	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Gestão de Águas Subterrâneas	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Incentivos compatíveis de gestão de recursos hídricos	Gerenciamento de bacias

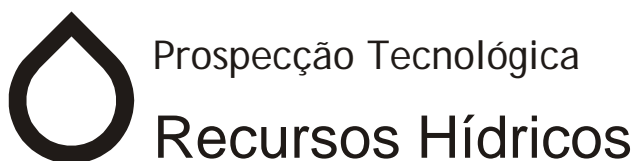
	hidrográficas
Instrumentos tributários visando a captura da valorização imobiliária gerada pelo investimentos em recursos hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Modelo orçamentário-fiscal de gestão de bacias	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Modelos econômicos geo-referenciados de uso da água	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso amplo das técnicas de psicologia social, com ênfase nas relações interpessoais, com vistas à entender o relacionamento do homem com a água no meio urbano e rural	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso amplo das técnicas sociológicas para mapear os principais atores responsáveis pela degradação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso amplo de processos de conscientização e organização social para o desenvolvimento da economia regional e urbana, com ênfase na economia regional, com vistas ao planejamento por bacia hidrográfica	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso amplo de técnicas de empowerment para a constituição e fortalecimento dos Comitês de Bacias	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso amplo de técnicas de planejamento ambiental e comportamento humano, com vistas a esclarecer as comunidades sobre a importância do uso racional da água para o homem e para o meio ambiente	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso amplo de tecnologias de teleinformação aplicadas à rede telemétricas de hidrometeorologia	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso da Internet para desenvolver cursos para estudo à distância na área de recursos hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso de novas tecnologias e meios de comunicação de massa para o fortalecimento dos processos de conscientização	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso prático da teoria da hidrologia superficial, subterrânea e atmosférica, aplicada à gestão de recursos hídricos por bacia hidrográfica	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso prático da teoria da sedimentologia aplicada ao transporte de sedimentos em cursos d'água, em suporte à gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso prático das técnicas de informação, cadastramento e mapeamento de informações sobre o território, aplicadas à bacia hidrográfica	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de lay-out de processos industriais, para gestão dos recursos hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Uso prático de metodologias de sensoriamento remoto aplicados a recursos hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Valoração econômica dos recursos hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas
Desenvolver técnicas para identificar áreas costeiras sujeitas a inundações rápidas (modelos, mapeamento)	Recursos hídricos costeiros
Desenvolvimento de metodologias analíticas para o estudo de metais e pesticidas em ambientes costeiros	Recursos hídricos costeiros
Desenvolvimento de metodologias com vistas à integração das	Recursos hídricos costeiros

águas superficiais com as águas subterrâneas, estuarinas e costeiras para proporcionar a gestão integrada dos recursos hídricos em bacias hidrográficas	
Desenvolvimento de técnicas de monitoramento e controle da poluição das águas costeiras pelas bacias hidrográficas	Recursos hídricos costeiros
Dinâmica Estuarina	Recursos hídricos costeiros
Elucidação da dinâmica de Ecossistemas Costeiros	Recursos hídricos costeiros
Elucidação de fatores físicos e químicos interferentes na vida aquática de ecossistemas marinhos costeiros(mangues, restingas, lagunas)	Recursos hídricos costeiros
Estudo dos processos envolvidos na floculação de partículas sedimentares em ambientes estuarinos tropicais e subtropicais	Recursos hídricos costeiros
Gestão de recursos hídricos em cidades litorâneas	Recursos hídricos costeiros
Oceanografia Física Costeira	Recursos hídricos costeiros
Sedimentação Costeira	Recursos hídricos costeiros
Variáveis físicas e químicas preponderantes no processo de difusão de poluentes nas zonas marinhas costeiras	Recursos hídricos costeiros
Caracterização de parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos	Comportamento dos sistemas hídricos
Desenvolvimento de técnicas integradas para avaliação da recarga de águas subterrâneas	Comportamento dos sistemas hídricos
Desenvolvimento tecnológico de modelos de simulação voltados aos recursos hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos
Desenvolvimento tecnológico na área de micrometeorologia, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	Comportamento dos sistemas hídricos
Erosão - Transporte de Sedimentos - Assoreamento de canais de drenagem e de reservatórios	Comportamento dos sistemas hídricos
Estudos das relações quantitativas e qualitativas entre as bacias hidrogeológicas e hidrográficas	Comportamento dos sistemas hídricos
Microclimas de bacias hidrográficas	Comportamento dos sistemas hídricos
Micrometeorologia de ecossistemas brasileiros	Comportamento dos sistemas hídricos
Aplicação da Fotogrametria Digital para a geração de Modelos de Elevação do Terreno	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Aplicação de técnicas imunológicas para detecção de contaminantes microbianos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Automação Total de Sistemas de Irrigação	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Certificação dos laboratórios de geoquímica analítica do país	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolver equipamentos para oxigenar lagos ou estação de tratamento	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolver equipamentos para reciclagem integral	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolver sensores eletroquímicos para a determinação de poluentes em águas e efluentes	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de geoindicadores para países tropicais	Produtos e processos para o uso e conservação da água

Desenvolvimento de hardware e software específicos aplicados aos recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de instrumentação informatizada para detecção radioativa e fluorescente	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de instrumentação meteorológica, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de metodologias com vistas à integração das águas superficiais com as águas subterrâneas para propiciar a gestão integrada dos recursos hídricos em bacias hidrográficas	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de metodologias de monitoramento das bacias hidrográficas	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de metodologias modernas para a determinação de poluentes orgânicos e inorgânicos no ambiente	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de sistemas automáticos de aquisição de dados agrometeorológicos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de sistemas capazes de integrar facilidades dos Sistemas de Informações Geográficas com as facilidades das ferramentas de análise do tipo OLAP para dar suporte à gestão de recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de sistemas de informação geográficas aplicados aos recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de técnicas de análise e avaliação das despesas com programas em recursos hídricos no Brasil	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de técnicas de baixo custo para produção de cartografia básica aplicada a recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de técnicas de capacitação em planejamento participativo	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento de tecnologias de teleinformação aplicadas à rede telemétrica de hidrometeorologia	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento e estudo de traçadores naturais para datação de água e estudo de dinâmica do ciclo hidrológico, que sejam adequados às condições do hemisfério sul	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Desenvolvimento e uso de modelagem exploratória associada a inteligência artificial na avaliação de prospectos para poços profundos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Elucidação da tratabilidade de despejos perigosos (de alta toxicidade)	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Elucidação dos modelos de simulação mais aplicáveis ao setor de recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Elucidação e adaptação de software específicos aplicados aos recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Elucidar métodos de redução de escala (downscaling) das previsões climáticas dos modelos globais para a escala de bacias hidrográficas	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Filtração de água de abastecimento através de membranas poliméricas para remoção de cistos e oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> em águas de abastecimento	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Geofísica Aplicada à Hidrogeologia	Produtos e processos para o uso e

	conservação da água
Geoquímica isotópica aplicada aos estudos de águas e efluentes	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Geotecnia Ambiental	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Instrumentos e Técnicas Hidrométricas	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Processos físico-químicos e químicos para tratamento de efluentes líquidos provenientes da indústria do petróleo	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Qualidade dos equipamentos que constituem os sistemas de irrigação pressurizado	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Redes Telemétricas de coleta de dados	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Sensoriamento Remoto Multiespectral Aerotransportável	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Técnica de traçadores e uso de isótopos em Hidrologia	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso amplo de modelos de hardware e software para o desenvolvimento da ciência de computação em recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso amplo de padrões e ferramentas de gerência de metadados para garantir a disseminação e integração de informações sobre recursos hídricos no Brasil	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso amplo de tecnologia de Data Warehouse para dar suporte à análise de informações em ambientes de administração municipal e urbana ligados à bacias hidrográficas	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso de microorganismos em processos de despoluição de resíduos aquícolas	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso do sensoriamento remoto da superfície com alta resolução espacial e espectral	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso do sensoriamento remoto para classificar os corpos d'água segundo o volume de água, profundidade, etc.	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas de águas industriais - captação, uso e disposição final, para gestão dos recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Uso prático das tecnologias de prospecção de mananciais subterrâneos e de perfuração e instalação de poços profundos, artesianos ou não	Produtos e processos para o uso e conservação da água
Videografia Digital aplicada à gestão de recursos hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água

Fonte: Programa Prospectar



Qualidade da Água Superficial

Síntese de Painel de Especialistas

Mônica Ferreira do Amaral Porto
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Novembro, 2003

SUMÁRIO

CONTEXTO	4
PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS.....	5
Gestão da qualidade da água.....	5
Sistemas de Informação em Qualidade da Água no Brasil	6
Contribuição de CT&I	8
Construção do sistema de informações em qualidade da água.....	9
Conhecimento dos sistemas aquáticos.....	10
Integração da gestão da qualidade da água com os instrumentos de gestão de recursos hídricos.....	11
Programas de Capacitação.....	12
RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS.....	13

CONTEXTO

A evolução ocorrida no setor de recursos hídricos no Brasil nas últimas duas décadas é marcante e leva o país a uma posição de merecido destaque no cenário internacional quanto à questão de gestão das águas.

A Lei 9.433 estabelece, em seus fundamentos, a ênfase a ser dada para o reconhecimento de que a água é um recurso natural com fins múltiplos, e o processo de gestão deve dar sustentabilidade para que se alcance tal fim. Dentre os objetivos que devem nortear a consecução da Política Nacional de Recursos Hídricos está aquele de *assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em **padrões de qualidade** adequados aos respectivos usos* (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei 9,433).

Há que se destacar, no entanto, que a gestão da qualidade da água não tem merecido o mesmo destaque dado à gestão da quantidade de água, quer seja no aspecto legal, ou nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, quer no planejamento, como na operacionalização dos sistemas de gestão.

A necessidade premente de mudanças no sistema de gestão da qualidade da água decorre do fato do país estar enfrentando enormes problemas de poluição de seus cursos d' água superficiais, o que diminui a disponibilidade hídrica, prejudica a saúde humana e compromete a sustentabilidade do ambiente aquático. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento no seu Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto -2000, os níveis de atendimento com coleta e tratamento de esgotos no país continuam baixos, 55% e 26% respectivamente, apesar deste último ter crescido 34% entre 1996 e 2000, indicando que investimentos vêm sendo feitos pelo setor na área de tratamento de esgotos (SEDU/PR e IPEA, 2001). Isto sem falar no déficit de tratamento de efluentes industriais, nos problemas gerados pelas cargas difusas de poluição rurais e urbanas, nos resíduos das áreas de mineração, e tantos outros impactos.

O esforço de dotar o país de um sistema de gestão da qualidade da água que seja operante e eficiente depende do nosso conhecimento sobre o estado dos

sistemas hídricos, sobre as formas possíveis de controle da poluição, sobre a relação entre impactos causados pela poluição e os usos que são assim prejudicados e sobre alternativas de ação que possam ser utilizadas.

A discussão neste tema visa identificar os problemas de qualidade da água no Brasil e apontar possíveis áreas onde haja a necessidade premente de desenvolvimento tecnológico e investimentos em pesquisa.

Pode-se dizer que hoje um dos maiores déficits do país na área de qualidade da água está na aquisição e utilização da informação. Faltam no país redes de monitoramento de qualidade da água, a infra-estrutura laboratorial é insuficiente e há dificuldades na análise e divulgação destas informações. É inegável que também há forte déficit de capacitação no setor. São poucos os grupos de pesquisa no país que trabalham com aspectos de qualidade da água dos corpos hídricos, certamente em menor número do que a nossa extensa rede hídrica demandaria.

Há necessidade premente de serem desenvolvidos e melhorados os instrumentos de gestão que podem ser aplicados no controle da poluição e para a melhoria de qualidade da água. Instrumentos como enquadramento dos corpos hídricos, licenciamento ambiental, outorga de lançamento de efluentes e a cobrança pelo uso da água são essenciais para que se alcance os objetivos de sustentabilidade do uso das bacias hidrográficas.

PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS

Gestão da qualidade da água

As dificuldades que os países em desenvolvimento enfrentam na gestão da qualidade das águas têm várias origens, muitas advindas do fato de tentarem seguir as tendências dos países desenvolvidos. Uma situação típica é exigir cada vez maior rigor no controle da poluição imitando países que já passaram para a 'segunda' geração da gestão da qualidade da água (problemas mais complexos, principalmente relativos a cargas difusas ou cargas industriais), sem terem conseguido sequer ainda enfrentar e resolver, por insuficiência de recursos

financeiros e capacidade institucional, os problemas de 'primeira' geração da gestão da qualidade da água (déficit de tratamento de esgotos domésticos).

Falta no Brasil uma política com relação à gestão da qualidade da água. Pode-se sentir esta ausência em vários aspectos: (i) como integrar, sob o aspecto da gestão da bacia hidrográfica, os padrões ambientais definidos na Resolução CONAMA n. 20/86 para as diversas classes de uso da água, com o padrão de emissão que pode ser definido pelos órgãos ambientais estaduais? (ii). está claro quem define o que são os objetivos de qualidade da água em cada bacia hidrográfica? ; (iii). como os órgãos ambientais estaduais devem trabalhar com os padrões de emissão? É necessário um desenvolvimento adicional àquele padrão definido pelo no Art. 21 da resolução CONAMA n. 20/86? (iv). como devem ser planejados e operados os sistemas de monitoramento de qualidade da água? (v). como deve ser acompanhada a evolução do estado dos corpos hídricos em relação à qualidade da água? (vi). como deve ser organizado o sistema de informações sobre qualidade da água no país?

Sistemas de Informação em Qualidade da Água no Brasil

A área de qualidade da água talvez seja uma das que mais falte informação no país. O número de estações de monitoramento em operação é pouco expressivo na grande parte dos estados, assim como as variáveis que são avaliadas. Geralmente são estações que estão em operação há pouco tempo, com séries pequenas de observação. Em muitos casos a periodicidade é irregular, o que torna difícil a avaliação da situação da qualidade da água na bacia hidrográfica.

A informação sobre a qualidade da água é necessária para que se conheça a situação dos corpos hídricos com relação aos impactos antrópicos na bacia hidrográfica e é essencial para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle dos impactos. Não há decisão correta sem que haja um mínimo de informação. Quanto mais completa e precisa é informação, melhor qualidade terá a decisão, com maior possibilidade de acerto e eficiência.

O monitoramento de qualidade da água exige cuidados especiais, pois se espera que os dados representem adequadamente a situação da bacia. As variáveis

envolvidas são muitas e a resposta da bacia hidrográfica aos diversos processos que ocorrem na sua superfície possui um grau de aleatoriedade bastante expressivo. O planejamento correto dos sistemas de monitoramento deve refletir isso. É muito comum, nesta área, coletar uma série de dados e, ao final, as informações que dali podem ser obtidas são muito poucas.

O processo de divulgação da informação é também complexo. Há dois aspectos a considerar: o primeiro é a necessidade de tornar disponível o dado, através da Internet, por exemplo, e, o segundo, a ‘tradução’ destes dados para um público leigo que deseja ter a informação. Este último, em particular, requer um trabalho especial de forma que o leigo possa entender o que se passa na bacia hidrográfica de forma precisa e correta. Índices de qualidade da água têm sido utilizados para este fim, mas é preciso bastante cuidado para compô-los, utilizá-los e divulgá-los.

A situação do monitoramento de qualidade da água no Brasil é bastante deficitária. Um levantamento desta situação divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente no ano de 2002 (MMA, 2002) indica que apenas São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul classificam-se em boa situação e, no outro extremo, Acre, Alagoas, Amazonas, Ceará, Maranhão, Pará, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte, Rondônia, Roraima, Santa Catarina e Sergipe classificam-se em situação de monitoramento incipiente.

O site do IBAMA na Internet indica existirem 1985 estações de monitoramento de qualidade da água em operação no Brasil. Apenas como exemplo, a Agência de Proteção Ambiental Americana tem registrado no seu site na Internet a existência de 134.858 estações de monitoramento de qualidade da água e permite que qualquer entidade que opere estações de monitoramento inclua seus dados no seu site.

Podem ser identificadas as seguintes características do nosso atual sistema de monitoramento: (a) há uma diferença bem notável entre o número de estações de monitoramento nas regiões sul e sudeste em comparação com aquelas disponíveis nas demais regiões do país; (b) os dois aspectos mais deficientes mostrados no trabalho do MMA são quais parâmetros são monitorados e a forma de divulgação desses parâmetros.

Nenhuma das entidades operadoras de redes de monitoramento de qualidade da água possui uma forma de acesso à totalidade dos seus dados na Internet, isto é, à série completa dos dados monitorados ao longo de todo o período de operação, nos moldes que hoje existe para algumas redes hidrológicas.

Os problemas aqui diagnosticados têm várias origens, inclusive o pequeno número ou a ausência de laboratórios disponíveis no estado ou região para a análise de amostras de água.

Quatro estados brasileiros não possuem nenhum laboratório para análise de água, segundo levantamento do IBAMA. São eles: Tocantins, Paraíba, Amapá e Maranhão. Em 12 estados brasileiros há laboratórios mais completos, inclusive com a possibilidade de detecção de pesticidas.

Podem ser claramente identificados, portanto, problemas de duas origens: quanto às estações de monitoramento pelo seu pequeno número, dada a grande dimensão do país, e sua distribuição irregular, e quanto ao pequeno número de laboratórios disponíveis e bem equipados.

Contribuição de CT&I

As necessidades de pesquisa e desenvolvimento podem ser divididas em quatro grupos: monitoramento da qualidade das águas; construção do sistema de informação em qualidade da água; conhecimento dos sistemas aquáticos e os impactos da poluição; gestão da qualidade da água e integração dos instrumentos de gestão de recursos hídricos; programas de capacitação

Pesquisa e desenvolvimento no monitoramento da qualidade da água

Duas ações se fazem necessárias: uma relativa à própria expansão da rede e outra relativa à expansão do número de laboratórios capacitados para tal fim.

A expansão da rede em si não é uma atividade a ser financiada no âmbito do setor de ciência e tecnologia. No entanto, é essencial que esta ação seja executada de forma planejada e, para tal, necessita-se desenvolver procedimentos e diretrizes de monitoramento de qualidade da água que embasem

tal expansão. Este conjunto de procedimentos, que se constitui no protocolo de operação da rede, deve incluir critérios de projeto das redes de monitoramento, diretrizes para uniformização dos procedimentos de coleta e análise das amostras, diretrizes para análise dos dados e diretrizes para armazenamento das informações.

Para os sistemas de fiscalização e acompanhamento poderem ser mais eficientes e traduzirem melhor o resultado das avaliações é necessário que dentre os critérios de monitoramento que sejam desenvolvidos seja contemplada a definição de faixas possíveis de violação dos padrões, bem como a frequência com que tais exceções possam ocorrer.

O segundo ponto importante diz respeito à ampliação e desenvolvimento dos laboratórios de qualidade da água. Este é um ponto crucial, mas que exigirá planejamento para ser alcançado.

Em primeiro lugar é necessário executar o mapeamento dos laboratórios de qualidade de água, em complementação àquele executado pelo programa POESIA do IBAMA. O mapeamento é essencial para o planejamento da rede de laboratórios de qualidade da água.

Enfatiza-se também que o simples financiamento para aparelhamento de laboratórios não é, nem de longe, suficiente para resolver o problema. É necessário o planejamento da localização dos laboratórios, capacitação de pessoal e, por fim, o aparelhamento dos laboratórios.

A outra necessidade que vem junto com a ampliação do número de laboratórios é o processo de certificação dos laboratórios e a criação de amplos programas de estabelecimentos de práticas uniformes, que garantam bons resultados e resultados comparáveis entre diversas regiões do país.

Construção do sistema de informações em qualidade da água

Neste tópico talvez residam as maiores falhas para a gestão da qualidade das águas no país. Nem mesmo as regiões e/ou instituições mais bem estruturadas para o monitoramento da qualidade da água no país possuem bons sistemas de informação.

Um sistema de informação deve possuir dois focos principais: Um relativo ao armazenamento e acesso aos dados, e outro relativo à produção da informação através de relatórios, com diversos objetivos, desenvolvimento de índices de qualidade da água, entre outros, estruturando dessa forma a principal função da informação que é permitir o conhecimento e o acompanhamento da situação da qualidade da água.

Neste ponto, há a necessidade de apoio às diversas instituições para a construção desses bancos de dados e o incentivo à maior disponibilidade dos dados visando, principalmente, o uso da internet.

Uma forma de transmissão da informação que tem sido bastante utilizada é através do desenvolvimento de índices de qualidade da água. Um índice de qualidade da água é a combinação da informação dada por diversas variáveis de qualidade da água agrupadas num único número. Este número deve refletir a adequação do corpo hídrico a um determinado propósito ou uso da água e sua construção não é trivial. O planejamento da divulgação da informação e o desenvolvimento de índices de qualidade da água são também necessidades de desenvolvimento para o país na área de qualidade da água.

Conhecimento dos sistemas aquáticos

O agravamento da situação da poluição das águas no país traz a preocupação de conseguir avaliar de maneira correta os impactos produzidos pela ocupação antrópica das bacias hidrográficas. Além da óbvia necessidade do monitoramento para se conseguir tal intento, há a necessidade do conhecimento do comportamento dos nossos sistemas, sob seus aspectos físicos, químicos e biológicos, para que sejam determinados quais são os padrões ambientais desejáveis para os diversos ecossistemas e também para os diversos usos da água.

O país hoje baseia toda a gestão da qualidade da água em padrões ambientais trazidos de outros países, cujas realidades, tanto do ponto de vista dos ecossistemas, como do ponto de vista dos impactos antrópicos sofridos, são bastante distintas.

O melhor conhecimento do comportamento dos ecossistemas, dos habitats, e o desenvolvimento de padrões ambientais nossos, são fundamentais para melhorar a gestão da qualidade da água. Para isso, é necessário que se conheça e, portanto, se monitore, bacias que sofrem baixo impacto antrópico, que se pesquise o impacto da poluição sobre organismos aquáticos presentes nos ecossistemas brasileiros, entre outras ações.

Esta ação deve evoluir também para o desenvolvimento de padrões para testes que possibilitem o biomonitoramento dos corpos hídricos, nas suas mais variadas formas. Desde testes de laboratório que se utilizam organismos específicos, até formas de acompanhamento dos impactos da poluição no próprio corpo hídrico.

Integração da gestão da qualidade da água com os instrumentos de gestão de recursos hídricos

A gestão da qualidade da água busca o equilíbrio entre a visão utilitária da água e a preservação ambiental. Cada sociedade deve encontrar seu ponto de equilíbrio, pois há um contínuo entre um extremo e outro. Os sistemas de gestão dependem de instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados para que se alcancem os desejos da comunidade com relação à aptidão das bacias hidrográficas e os respectivos usos a serem realizados, de forma que também atendam à preservação ambiental, até para garantir sua própria sustentabilidade.

Os instrumentos que se encontram no sistema ambiental e no sistema de recursos hídricos para esta gestão são: o enquadramento dos corpos de água, o licenciamento ambiental, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água.

Os três primeiros são conhecidos como parte integrante de sistemas de gestão ditos regulatórios, enquanto que o quarto é parte dos sistemas de gestão que buscam utilizar a eficiência econômica como meio para se atingirem as metas desejadas pela comunidade. O país encontra-se numa situação em que a integração de todos esses instrumentos ainda é muito incipiente.

A evolução e a garantia de sucesso na aplicação conjunta desses instrumentos e, portanto, o atendimento à gestão integrada exigida pela Lei 9.433/87, ainda

depende de estudos, prospecções e levantamentos que devam ser feitos no bojo de projetos de pesquisa, com potencial muito grande de auxiliar as instituições gestoras e os tomadores de decisão.

Programas de Capacitação

A capacitação técnica, em todas as questões cima citadas, é uma grande lacuna no setor que não tem sido adequadamente preenchida pelas universidades. Torna-se necessária uma política de indução de programas de pós-graduação e especialização, com recursos e bolsas de estudo, destinados especificamente a aumentar os grupos de pesquisa na área de qualidade da água no país.

RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS

No item anterior foram identificados os principais aspectos com relação a C& T necessários à gestão sustentável dos recursos hídricos no se refere à qualidade da água dos sistemas brasileiros. Observa-se assim que as prioridades estão relacionadas com: (i) melhoria da informação sobre a qualidade da água dos sistemas hídricos, no qual os componentes são: monitoramento, sistema de informações e aprimoramento do conhecimento sobre os sistemas nacionais relacionados com as fontes potenciais; (ii) desenvolver mecanismos institucionais no sistema de gestão da água e do ambiente para melhoria da qualidade da água; (iii) formação e capacitação de profissionais.

Todos estes elementos estão de alguma forma integrados e inter-relacionados, portanto os mecanismos de investimentos devem priorizar um tratamento seqüencial e integrado destes elementos, discutidos a seguir.

Melhoria da Informação: Tendo como foco a melhoria da informação da qualidade da água recomenda-se que esta ação seja desenvolvida nas seguintes etapas:

- avaliação da capacidade instalada da rede de monitoramento, laboratórios e pessoal no país, complementando os estudos já realizados. Esta avaliação deve identificar as necessidades de monitoramento (coleta, análise e banco de informações) ideais e o estágio atual; proposta de procedimentos padrões a serem desenvolvidos no âmbito de C & T quanto a: parâmetros indicadores e índices, metodologia de monitoramento e análise; necessidade de investimento em infra-estrutura;
- investimento na infra-estrutura de laboratórios ligados a instituições de C & T; formação de pesquisadores; desenvolvimento dos padrões necessários para coleta e análise da qualidade da água; sistema de informações.

Sistema de Gestão da qualidade da água: desenvolver edital de pesquisa voltado para pesquisas sobre propostas de instrumentos para gestão da qualidade da água e instrumentos aplicados a realidade brasileira.

Qualidade da água e fontes de contaminação: conhecimento da qualidade da água relacionada a determinadas fontes de contaminação em determinados ambientes brasileiros ainda é muito pobre. Esta linha de investimento está voltada principalmente para o monitoramento e identificação das características de contaminação superficial e subterrânea de algumas das principais fontes de contaminação pouco conhecida como: pesticidas predominantes de uso agrícola; mineração de carvão, ouro ou outros minerais; efluentes de produtos petroquímicos, pluvial de áreas urbanas.

PARTICIPANTES DO PAINEL DE ESPECIALISTAS

Autora do documento de referência

Dra. Mônica Porto – USP

De acordo com a metodologia de prospecção adotada pelo CGEE, participaram do painel sobre “Qualidade da Água”, no dia 18 de novembro de 2003, os seguintes especialistas:

Participantes	Vínculo Institucional
Luis Fernando Alves	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Luizalice Labarrere	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA
Mauro César Lambert de Brito Ribeiro	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - DF
Mônica Porto	Universidade de São Paulo - USP
Regilene Coutinho de Souza	Companhia de Pesquisas Minerais – Serviço Geológico do Brasil - CPRM-MME



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Anexo III-b



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Qualidade da Água Subterrânea

Síntese de Painel de Especialistas

Carlos Eduardo Morelli Tucci
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Centro de Tecnologia
Universidade Federal do Pernambuco

Novembro, 2003

SUMÁRIO

CONTEXTO	4
PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS.....	5
Influência da quantidade sobre a qualidade.....	5
Tipos de contaminação	5
Proteção da água subterrânea.....	6
Problemas relacionados ao tipo de aquífero.....	6
Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos	7
Outros tópicos.....	7
RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS.....	8
Interfaces	9

CONTEXTO

A exploração de água subterrânea no Brasil se intensificou nas últimas décadas, em virtude do aumento da demanda por água de boa qualidade, e pelo fato das águas superficiais não estarem em condições de suprir as necessidades com a quantidade e qualidade exigidas.

A exploração da água subterrânea no Brasil cresceu muito devido a diversos fatores como a urbanização crescente, o aumento de áreas irrigadas, a implantação de parques industriais, favorecida também pelo avanço tecnológico na área de perfuração de poços. Por outro lado o crescimento se deu de forma desordenada, por falta de planejamento, por falta de legislação adequada na época (as leis de água subterrânea são muito recentes), e pelo fato de na cultura brasileira as pessoas acharem que sendo proprietárias do terreno têm o direito de perfurar um poço e extrair toda a água que quiserem.

Para a exploração das águas subterrâneas ser realizada em bases sustentáveis, é preciso avançar no conhecimento do meio físico, das fontes de contaminação, nas técnicas de proteção dos aquíferos e aprimorar as formas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Os objetivos deste tema são os de:

- identificar as necessidades de pesquisa de campo para conhecer com mais detalhes os sistemas aquíferos nacionais;
- identificar as necessidades de metodologia para monitoramento, incluindo parâmetros a serem monitorados, técnicas de coleta e acondicionamento de amostras, instrumentos de medição de campo e de laboratório;
- desenvolver e/ou adaptar tecnologias para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos e analisar onde e como proteger os recursos hídricos subterrâneos;
- identificar as necessidades de informações, metodologias e recursos humanos para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.



Em resumo, as perguntas que se deseja responder são: quais os focos de pesquisa em que o país deve investir tempo, recursos financeiros e recursos humanos de maneira que nos próximos anos seja possível de maneira racional, contínua e confiável contar com os volumes de água subterrânea necessários para o funcionamento do país e seu desenvolvimento.

PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS

Influência da quantidade sobre a qualidade

- Super Exploração de Aquíferos - Necessidade de desenvolver metodologia para avaliar quanto se pode explorar de um aquífero, de modo que não entre em exaustão por super exploração, haja vista que as recargas dos aquíferos em geral são muito lentas, mesmo levando em conta as recargas induzidas pelo bombeamento;
- Interferência de poços - O cálculo hidráulico da interferência de poços já é bem conhecido. Existe necessidade de desenvolver metodologia de avaliar nas grandes cidades quanto de interferência é possível aceitar, e que mecanismos técnicos e de gestão podem ser usados para minimizar interferências.
- Recarga - Necessidade de aprimorar metodologia para identificar áreas de recarga de aquíferos, bem como técnicas para induzir recarga artificial.
- Interação com água superficial - Necessidade de desenvolver metodologia para quantificar as interações entre águas superficiais e subterrâneas nos diversos aquíferos.

Tipos de contaminação

- Contaminação por nitratos provenientes de esgotos domésticos nos centros urbanos.

- Contaminação por aterros sanitários em centros urbanos.
- Contaminação por vazamentos de postos de combustíveis.
- Contaminação por agroquímicos em atividades agropecuárias.
- Contaminação em indústrias de metais, madeira, alimentos, couro, produtos químicos e petroquímica.
- Contaminação por rejeitos de mineração.
- Contaminação salina - natural, ou induzida em aquíferos costeiros e aquíferos do semi-árido.

Proteção da água subterrânea

- Vulnerabilidade de aquíferos - pesquisa sobre a vulnerabilidade dos aquíferos brasileiros.
- Proteção das áreas de recarga - pesquisa sobre relação entre o uso do solo nas áreas de recarga e a qualidade da água no aquífero.
- Proteção das captações - necessidade de pesquisa sobre perímetro de proteção de poços e aprimoramento do projeto de poços para evitar que o poço atue como meio de contaminação.
- Poços abandonados - necessidade de evitar que o poço abandonado seja um caminho de contaminação dos aquíferos.

Problemas relacionados ao tipo de aquífero

- Processos de advecção, difusão, dispersão, sorção nos diferentes tipos de aquíferos (sedimentar, cárstico, fissural).
- Necessidade de aprimorar metodologia para avaliar parâmetros hidrogeológicos de propagação de poluentes.
- pesquisa sobre ocorrência e formação de caminhos preferenciais de fluxo em diferentes tipos de solo e subsolo.

- Pesquisa do risco de subsidência do solo por exploração excessiva dos aquíferos subjacentes.
- Necessidade de melhor entendimento dos processos e dos parâmetros relacionados à propagação de poluentes na camada não saturada antes de atingir os aquíferos.
- Desenvolvimento, aprimoramento e avaliação de procedimentos para remediação de aquíferos.
- Atenuação natural - Pesquisa sobre os processos de atenuação natural de poluentes no solo e subsolo.

Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos

- Necessidade de aprimoramento de banco de informações sobre exploração de águas subterrâneas.
- Aprimoramento de ferramentas de apoio à decisão.
- Avaliação dos mecanismos legais de gestão das águas subterrâneas pelo estado.
- Avaliação dos elementos econômicos e de exploração das águas subterrâneas no sistema de gestão quanto ao financiamento da gestão, monitoramento e cobrança pela poluição.
- Avaliação dos mecanismos de gestão para proteção de áreas de recarga, proteção das captações e isolamento dos poços abandonados.

Outros tópicos

- Formação de recursos humanos.
- Educação ambiental da população para proteção e uso sustentável das águas subterrâneas.

RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS

A quantidade e a complexidade de problemas reais e potenciais nas águas subterrâneas é muito grande, de maneira que se torna necessário definir linha estratégica que ataquem os principais problemas e proporcione base de sustentação para enfrentamento gradativo dos outros problemas. Sugerem-se os seguintes eixos de atuação (para cada eixo se inclui sugestão de temas, mas outros temas poderão ser incluídos):

- **Aqüíferos urbanos** - Desenvolvimento de um sub-programa de investimentos para pesquisas em aquíferos urbanos que visem a identificação do seguinte: infiltração de esgotos domésticos, aterros sanitários, vazamento de postos de combustíveis, recarga, super exploração e interferência de poços; e das medidas mitigadoras. Este programa poderá ser desenvolvido na forma de projetos pilotos amostrais que representem a realidade brasileira.
- **Aqüíferos costeiros** - Desenvolvimento de um subprograma de investimentos para pesquisas em aquíferos costeiros, incluindo salinização por intrusão marinha, salinização por mangues e estuários, recarga, recarga artificial para evitar salinização, superexploração.
- **Aqüíferos no semi-árido** - Em grande parte do semi-árido a única opção de água está no subsolo. Propõe-se um subprograma de investimentos para pesquisas em aquíferos do semi-árido incluindo pesquisas em locação de poços no aquífero fissural, controle e redução de salinização, uso sustentável de aluviões.
- **Aqüíferos no cerrado** - A hidrogeologia do cerrado brasileiro é pouco conhecida, e a expansão econômica principalmente da agropecuária tende a impactar os mananciais subterrâneos. Este subprograma de pesquisa inclui poluição por esgotos domésticos, por aterros sanitários, poluição por agroquímicos, recarga.

- **Aqüíferos em áreas úmidas** - Desenvolvimento de um subprograma de investimentos para pesquisas em aquíferos em áreas úmidas, incluindo recarga, poluição por agroquímicos.
- **Obtenção de parâmetros hidrogeológicos** - Existem poucos trabalhos de identificação de parâmetros hidrogeológicos para estimativa da propagação de poluentes nos aquíferos brasileiros. Propõe-se uma linha de pesquisa incluindo desenvolvimento e aprimoramento de técnicas para avaliação dos parâmetros relacionados a advecção, difusão, dispersão, sorção, atenuação natural, fluxo e transporte no meio não saturado, e outros processos.
- **Gestão e Proteção de água subterrânea** - Desenvolvimento de um subprograma de investimentos para pesquisas relacionadas à proteção dos recursos hídricos subterrâneos, incluindo identificação e proteção das áreas de recarga, perímetro de proteção de poços, projetos de captação que não prejudiquem o aquífero, avaliação dos instrumentos de gestão.

Interfaces

Existem muitas interfaces do tema da qualidade das águas subterrâneas com os outros temas da prospecção tecnológica em recursos hídricos. Praticamente todos os subprogramas propostos têm interface com o tema da qualidade de água superficial. O tema de saneamento possui fortes inter-relações com o subprograma de aquíferos urbanos e com Proteção de águas subterrâneas. O tema de Racionalização do uso dos recursos hídricos no meio rural tem muita ligação com os subprogramas dos aquíferos do cerrado, do e de regiões úmidas. O tema de Clima tem interface com a recarga de aquíferos.

PARTICIPANTES DO PAINEL DE ESPECIALISTAS

Autores dos documentos de referência:

Dr. Carlos Eduardo Morelli Tucci – IPH – UFRGS

Dr. Aldo Rebouças - USP

Dr. Jaime Cabral – UFPE

De acordo com a metodologia de prospecção adotada pelo CGEE, participaram do painel sobre “Qualidade da Água Subterrânea”, no dia 26 de novembro de 2003, os seguintes especialistas:

Participantes	Vínculo Institucional
Eduardo Mediondo	Universidade de São Paulo - USP- São Carlos
Marco Antonio Ferreira Gomes	Centro Nacional de Pesquisas sobre o Meio Ambiente - CNPMA - EMBRAPA
Ricardo Aoki Hirata	Universidade de São Paulo - USP
Aldo Rebouças	Universidade de São Paulo - USP
Carlos Tucci	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Jaime Cabral	Universidade Federal do Pernambuco - UFPE
José Claudio Viegas	CPRM - RO



cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Anexo III-c



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Saneamento

Síntese de Painel de Especialistas

Nilo de Oliveira Nascimento
Escola de Engenharia
Universidade Federal de Minas Gerais

Novembro, 2003

SUMÁRIO

CONTEXTO	4
PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS	5
Monitoramento da quantidade e qualidade da água	6
Abastecimento e esgotamento sanitário	6
Drenagem urbana, resíduo sólido e saúde	7
Gestão do Espaço urbano e da avaliação integrada das águas urbanas	8
Outras limitações para desenvolvimento científico e tecnológico.....	8
RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS	10

CONTEXTO

Entre os diversos setores usuários da água, o setor de saneamento é, provavelmente, o que apresenta maior interação e interfaces com a área de recursos hídricos. Essas interfaces são ainda mais importantes, dada a dualidade do setor saneamento como usuário de água e como responsável pelo controle de poluição.

Assim, é de se esperar que se apresentem, na interface saneamento e recursos hídricos, problemas de CT&I relacionados com aspectos tais como controle de perdas de água em sistemas de abastecimento, gestão da demanda por água, implementação de sistemas de reuso de água, melhoria da eficiência de coleta de esgotos domésticos, melhoria da eficiência de sistemas de tratamento de esgotos, controle da poluição difusa de origem pluvial, aprimoramento da disposição final de resíduos sólidos, entre outros.

Saneamento é, também, um serviço de caráter público com responsabilidade por responder a objetivos de atendimento e cobertura, como os de universalidade, equidade, integralidade e qualidade. Um dos principais desafios para o setor de saneamento é, desse modo, o atendimento a populações pobres concentradas em áreas faveladas, em meio urbano, ou dispersas pelo meio rural, nas distintas regiões do Brasil. Esses desafios são não só de natureza econômico-financeira, como também tecnológica e gerencial.

Ao se avaliarem os problemas de saneamento no Brasil e os temas de P&D investigados em saneamento, delimitados tanto pelas atuais fronteiras do conhecimento técnico-científico do setor quanto por novos paradigmas de gestão

no saneamento, pode-se identificar um número importante de questões a serem ainda elucidadas, muitas das quais na interface saneamento com recursos hídricos.

Do ponto de vista do grau de emergência/consolidação de determinada técnica em saneamento ou de determinado problema sanitário, diferentes estratégias e enfoques científicos podem ser estabelecidos: (i) novos paradigmas científicos e tecnológicos (reuso da água, *ecological sanitation*, separação de efluentes nos esgotos sanitários, etc.); (ii) técnicas emergentes e “novos” problemas sanitários (microrganismos emergentes, cianotoxinas, perturbadores endócrinos, remoção de patógenos, reciclagem de resíduos, técnicas de biotecnologia, etc.); (iii) técnicas consolidadas (que ainda demandam aperfeiçoamentos); e (iv) investigações sobre modelos e estratégias de gestão em saneamento.

Portanto, busca-se uma visão moderna de investimentos em CT&I na área de saneamento que atue sobre o desenvolvimento integrado dos usos e gestão dos impactos sobre os recursos hídricos.

Os objetivos deste tema são dar suporte científico e tecnológico ao problema de contaminação dos rios pela poluição das cidades e aumentar o nível de sustentabilidade do crescimento urbano, especialmente sobre as grandes metrópoles e pólos regionais.

PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS

A partir das consultas empreendidas, chegou-se à relação das seguintes questões, cuja discussão e elucidação auxiliariam o desenvolvimento científico e tecnológico do setor. As questões acham-se relacionadas a partir de sua natureza científico-tecnológica.

Monitoramento da quantidade e qualidade da água

- avaliação da efetividade de bioensaios aplicada ao monitoramento da qualidade das águas bruta e tratada;
- aperfeiçoamento de técnicas de identificação e remoção de cianobactérias;
- monitoramento da eficiência dos sistemas de tratamento de água e esgotos e seu impacto na qualidade da água dos rios;
- desenvolvimento de procedimentos para monitoramento hidrológico e de qualidade de água em meio urbano;

Abastecimento e esgotamento sanitário

- aperfeiçoamento de técnicas de tratamento de esgotos sanitários: (a) Técnicas inovadoras de tratamento das águas residuárias na fonte e distribuído; (b) tecnologia apropriada a grandes concentrações urbanas
- aperfeiçoamento de técnicas existentes de tratamento de lixiviados gerados em sistemas de disposição final de resíduos sólidos urbanos.
- pesquisa de produtos químicos alternativos para tratamento de água;
- pesquisa sobre contaminação biológica de águas destinadas ao consumo humano;
- pesquisa sobre técnicas de tratamento de lixiviados gerados em sistemas de disposição final de resíduos sólidos urbanos;
- pesquisa sobre técnicas descentralizadas dos sistemas de fornecimento de água no meio urbano;

- desenvolvimento de procedimentos para avaliação de prioridades de investimento em esgotamento sanitário;
- desenvolvimento de novos materiais aplicados à filtração de água;
- aperfeiçoamento de sistemas de abastecimento de água em áreas especiais (rurais, indígenas, e urbanização precária);

Drenagem urbana, resíduo sólido e saúde

- pesquisa sobre conhecimento de processos hidrológicos em áreas urbanas com foco particular sobre a relação chuva-vazão e a qualidade de água;
- pesquisa sobre efeitos dos perturbadores endócrinos sobre a saúde;
- pesquisa sobre riscos sanitários, epidemiológicos e ambientais associados a soluções de drenagem urbana em fundos de vale;
- pesquisa sobre riscos sanitários, epidemiológicos e ambientais decorrentes do emprego de soluções tipo armazenamento e infiltração para a drenagem urbana;
- desenvolvimento de materiais de revestimento de redes de esgotamento sanitário e de drenagem urbana;
- desenvolvimento de procedimentos para gestão de resíduos sólidos em áreas de portos, aeroportos e fronteiras;
- aperfeiçoamento da modelagem matemática para diagnósticos de sistema de drenagem urbana;

Gestão do Espaço urbano e da avaliação integrada das águas urbanas

- desenvolvimento de instrumentos/metodologias de planejamento urbano que estabeleça a relação entre a densificação urbana e a infra-estrutura de água: esgotamento sanitário, resíduo sólido e drenagem urbana;
- desenvolvimento de Planejamento urbano que priorize a conservação do sistema de drenagem natural como base para a expansão das cidades;
- mecanismos legais e institucionais de indução a proteção, conservação e mitigação dos impactos das áreas de mananciais urbanos;
- desenvolvimento de procedimentos para avaliação de eficiência de soluções compensatórias na redução de poluição urbana difusa;
- desenvolvimento de processos alternativos de geração de energia para sistemas de abastecimento de água;
- desenvolvimento de técnicas de gestão de sistemas de saneamento com participação dos usuários;
- desenvolvimento das bases para um planejamento integrado das águas urbanas: abastecimento, esgotamento, drenagem urbana e resíduos sólidos.

Outras limitações para desenvolvimento científico e tecnológico

Além das questões tecnológicas abordadas, há uma gama de questões adicionais a serem consideradas, ao se vislumbrar uma formulação mais integrada e abrangente das ações de CT&I nas interfaces entre saneamento e recursos hídricos, entre as quais se destacam:

- capacitação de recursos humanos (uma política efetiva de pesquisa no setor de saneamento deve avaliar as necessidades de formação de pesquisadores em seus diversos níveis de formação, com ênfase para a formação de doutores, além de promover a capacitação de engenheiros e técnicos para teste, aplicação e difusão de tecnologia);



- divulgação científica e tecnológica (há necessidade de identificação dos procedimentos para disseminação do conhecimento produzido nas pesquisas, avaliando-os criticamente e propondo ações de fomento a novas modalidades de disseminação);
- transferência de tecnologia (é indispensável uma formulação mais estratégica, aliada a uma articulação entre agências de fomento, pesquisadores e prestadores de serviços, para tornar mais efetivo o processo de transferência de tecnologia no setor);
- desenvolvimento de base legal, regulamentar e de regulação para o setor de saneamento (uma parte significativa das limitações do setor advém da falta de instrumentos normativos, inclusive os referentes às novas tecnologias em saneamento);
- fomento da P&D em saneamento (o principal corolário das reflexões aqui desenvolvidas traduz-se na necessidade de uma formulação consistente, global, articulada e integralizadora para as pesquisas no saneamento);
- avaliação da P&D em saneamento (ao lado de um esforço de fomento, e como pré-requisito para seu êxito, impõe-se o esforço de avaliação em P&D, envolvendo tanto a avaliação do atual estado científico, como uma estratégia de avaliação continuada de futuros financiamentos para investigações, grupos e linhas de pesquisa).

RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS

Os investimentos podem ser realizados dentro de duas linhas principais:

- (a) investimentos em gargalos tecnológicos específicos identificados onde se busque a inovação como: racionalização da água de distribuição e armazenamento; tecnologias inovadoras para grandes centros urbanos onde estão os principais problemas nacionais; controle biológico da toxicidade em sistemas aquáticos, entre outros;
- (b) programas na forma de rede com projetos pilotos que priorizem o desenvolvimento integrado de pesquisa dos vários componentes das águas urbanas: abastecimento, esgotamento sanitário, drenagem urbana, resíduo sólido e seu impacto sobre a saúde a qualidade da água na cidade e externa a mesma. Neste caso, a visão deve ser interdisciplinar e incorporar profissionais com diferentes formações que atuam de forma integradas nos projetos e não isoladas.

AUTORES DOS DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Dr. Léo Heller – UFMG

Dr. Nilo Nascimento - UFMG

De acordo com a metodologia de prospecção adotada pelo CGEE, participaram do painel sobre “Saneamento”, no dia 6 de novembro de 2003, os seguintes especialistas:

Participantes	Vínculo Institucional
Leo Heller	Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Mario Takayuki Kato	Universidade Federal do Pernambuco - UFPE
Mauricio Ludovice	Companhia de Saneamento do Distrito Federal - CAESB
Nilo de Oliveira Nascimento	Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Sérgio Koide	Universidade de Brasília - UnB



cgEE

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Anexo III-d

Produtos e Equipamentos

Síntese de Painel de Especialistas

Paulo Kroeff Souza

Novembro, 2003



SUMÁRIO

SUMÁRIO	2
SUMÁRIO	3
CONTEXTO	4
PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS.....	5
Quanto à viabilidade da produção nacional	5
Projetos de equipamentos identificados.....	6
RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS.....	8
PESQUISA DE MERCADO E DOS GRUPOS DE PESQUISA.....	8
FINANCIAMENTO DE EMPRESAS.....	8
PROJETOS PILOTO PARA A REDE DE MONITORAMENTO	9

CONTEXTO

A necessidade de equipamentos e produtos relacionados com o uso, conservação e controle da água é muito grande, representando diferentes universos tecnológicos. Desta forma, foi necessário priorizar e delimitar o universo deste tema aos equipamentos utilizados para monitoramento quantitativo das variáveis hidrológicas como precipitação, níveis e vazões em rios.

Em um país de dimensões gigantescas, contendo alguns dos maiores rios do mundo e a maior das bacias hidrográficas, juntamente com regiões semi-áridas, produzem as mais variadas situações quanto ao monitoramento. Por exemplo, rios muito encaixados em regiões escarpadas, nas bordas do Planalto Brasileiro até rios que mudam de curso entre uma temporada e outra devido à baixíssima declividade, como acontece no Pantanal, impondo dificuldades diferentes para a instalação de linígrafos; rios receptores de grandes cargas de esgotos, devido à vazão muito baixa em épocas mais secas, têm uma água extremamente agressiva aos sensores; áreas urbanas que demandam a instalação de aparelhos registradores com precisão temporal muito superior a maioria dos rios; regiões que acesso muito difícil onde o registro pode ser realizado com intervalos maiores, mas com transmissão de informação por satélite como Pantanal e Amazônia. Esta variabilidade de cenários de um lado abre espaço para desafios importantes no âmbito tecnológico e de outro cria um universo de resultados que pode ser exportado para outros países.

Com a abertura do mercado brasileiro nos anos 90, os equipamentos existentes no país devem ser capazes de competir no mercado internacional com tecnologia atualizada, o que implica que o produtor local, ou pertença a uma multinacional, ou seja, tecnologicamente autônomo. Atualmente os produtos existentes no mercado são essencialmente importados e de custo alto em função dos impostos de importação. A política industrial continua indefinida, o que implica em instabilidade no investimento público e hesitação no privado. Na ausência de garantia de compra interna, é preciso ter competitividade internacional, sem o que uma indústria local não terá nem a escala nem a estabilidade de faturamento.

Como a rede básica de monitoramento é pública, bem como boa parte das redes dos utilizadores, a instabilidade do investimento governamental significa impossibilidade de previsão de receita para a empresa, para a qual concorrem: (i) a legislação para licitação de compras públicas que promove a fragmentação do mercado; (ii) a falta de planejamento de implantação da rede a médio e longo prazo; (iii) a instabilidade do fluxo de recursos, mesmo depois de incluídos em orçamento, provocada por freqüentes contingenciamentos. Essa “impossibilidade” de projeção de receita é o principal gargalo de um processo de nacionalização na área.

Algumas das questões presentes neste tema são: É necessária uma indústria de equipamentos de hidrometria no Brasil? Quais são os principais focos de C& T de interesse do país que poderão financiados visando aumentar o conhecimento e criar base para uma produção no país e para exportação? Quais são os mecanismos necessários para viabilizar a produção?

Os objetivos deste tema são os de identificar as oportunidades de desenvolvimento científico e tecnológico relacionadas com a produção de equipamentos de hidrometria de interesse aos usuários nacionais e sua relação com as necessidades do desenvolvimento dos objetivos da legislação de recursos hídricos do país.

PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS

Quanto à viabilidade da produção nacional

Tendo em vista os condicionantes econômico, financeiro e institucional, a orientação da indústria de equipamentos de monitoramento hidrológico poderá se dar no sentido da autonomia tecnológica, o que deixa três opções principais: (i) empresa nacional autônoma com capacidade de desenvolvimento; (ii) empresa nacional em parceria com instituição de pesquisa, (iii) subsidiária de multinacional, com acesso à tecnologia gerada na matriz. A terceira opção envolve atrair uma multinacional que produza equipamentos com características interessantes para uso no país. Nessa opção, o desenvolvimento tecnológico local ou desenvolvimentos específicos para atender peculiaridades só ocorrerão se houver uma convergência acidental entre a estratégia

da multinacional e o interesse local, o que é pouco provável. A segunda opção pode ser um estágio intermediário para viabilizar a primeira, estágio esse que pode se repetir ao longo do tempo sempre que a empresa necessitar de um esforço concentrado de desenvolvimento acima de suas capacidades. Portanto, é melhor considerar essa forma de trabalho como uma das opções à disposição da empresa para assegurar sua autonomia. Na perspectiva das duas primeiras opções, é necessário o lançamento de projetos que fomentem uma dinâmica sadia de desenvolvimento tecnológico e coloquem ao alcance das empresas o lançamento de produtos competitivos.

É recomendável que os projetos a serem financiados satisfaçam à maioria dos seguintes quesitos: (i) ter efeito importante sobre a viabilidade e/ou a qualidade do monitoramento de uma ou mais variáveis de interesse; (ii) ter perspectivas de escala de produção suficiente; (iii) desenvolvimento ao alcance de uma equipe de engenharia nacional ou de uma parceria; (iv) custo de desenvolvimento razoável face aos benefícios realizáveis em termos comerciais ou em termos de monitoramento; (v) ter chances razoáveis de colocar o produtor no mercado internacional.

Projetos de equipamentos identificados

Os projetos identificados são de desenvolvimento dos seguintes equipamentos:

- linígrafo de pressão por borbulhamento com bomba de ar que dispense a garrafa de gás, para uso geral;
- linígrafo de pressão auto-suficiente com *logger* e baterias integrados, para uso submerso em áreas sujeitas a vandalismo;
- tanque evaporimétrico automático que necessite de pouca manutenção;
- pluviógrafo de balança eletrônica para uso geral;
- uma família de *data loggers* para atender a gama de necessidades de PCD's e instrumentos avulsos usados na área;
- projeto padrão (norma?) de bóia de instrumentação para uso em açudes;
- método de medição de vazão por radar visando a disponibilização de sistemas desse tipo para uso no Brasil;



- uma série de projetos (norma?) de torres para instalação de instrumentos dentro do corpo d'água;
- sistema nacional de telemetria via satélite: estudo visando quantificar a utilidade de se ter monitoramento via satélite em tempo real como contribuição para a viabilização de um sistema nacional de satélites multi-uso;
- sensores básicos para qualidade da água (temperatura, ph, condutividade e oxigênio dissolvido);
- pesquisa e desenvolvimento de sistemas de medida da evapotranspiração por covariância em vórtices (eddy covariance¹) integrando sensores importados;

¹ Ver Informações sobre o projeto Ameriflux disponíveis em <http://nigec.ucdavis.edu/publications/annual99/southeast/SEChanton0.html>, acesso em 16/11/03

RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS

Existem algumas linhas estratégicas para o desenvolvimento da produção de equipamento e criação de uma indústria nacional no setor que permita reduzir os custos e produzir equipamentos voltada para o ambiente brasileiro. Duas linhas principais foram identificadas: (i) apoiar as empresas existentes, que já foram produtoras de equipamentos, com fundos para desenvolvimento de produtos em parceria de entidade de pesquisa; (ii) desenvolver projetos pilotos de modernização da rede hidrométrica que contemple toda a linha de produtos para modernização de uma rede de diferentes condicionantes brasileiros.

PESQUISA DE MERCADO E DOS GRUPOS DE PESQUISA

O desenvolvimento e produção de equipamento no país são, condicionados pelas quantidades anuais prováveis de cada tipo de equipamento. Portanto, é necessário o desenvolvimento de uma pesquisa de mercado para o setor em função dos dispositivos planejados. Portanto, como produto desta prospecção recomenda-se que seja desenvolvida uma pesquisa: (i) de mercado dos equipamentos identificados no item anterior e de outros produtos identificados na pesquisa; (ii) grupos de pesquisa qualificados nas universidades e centros de pesquisa.

FINANCIAMENTO DE EMPRESAS

Desenvolver edital específico para financiamento da produção de equipamentos dentro das linhas citadas acima e viabilizadas pelo estudo de mercado. No edital poderão ser propostos outros equipamentos desde que justificada sua viabilidade e inovação para o cenário brasileiro de recursos hídricos quanto a uso, controle de impactos e conservação. Os condicionantes recomendados para o edital são os seguintes: (a) empresas nacionais; (b) empresas associadas a centro de pesquisa que tenha perfil de certificação e desenvolvimento tecnológico; (c) contrapartida da empresa a ser definida de acordo com a estratégia.

Dentro desta classe de financiamento, para equipamentos de grande valor agregado, como o desenvolvimento de radar para medição de rios é recomendável que as entidades de fomento façam uma encomenda a empresas e grupos de pesquisas com alta qualificação no setor. Os produtos gerados podem permitir a formação de empresa para sua produção com patentes específicas.

PROJETOS PILOTO PARA A REDE DE MONITORAMENTO

Nas alternativas anteriores o objetivo é o de financiar produtos específicos após a identificação do mercado potencial e dos grupos potenciais. No entanto, este tipo de financiamento não permite identificar as necessidades potenciais existentes quando se deseja modernizar uma rede, aumento da produtividade e reduzir custos e eficiência da obtenção dos dados.

Desta forma, esta alternativa tem como finalidade gerar o desenvolvimento de produtos que tornem eficiente a coleta, processamento e avaliação dos dados hidrológicos dentro de um conjunto de atividades. Portanto, poderão ser identificados vários produtos ao longo deste processo, que envolvem hardware e softwares que funcionem de forma integrada dentro de um cenário de monitoramento da realidade brasileira.

O mecanismo de financiamento proposto é de identificar amostras da rede atual de monitoramento da ANA – Agência Nacional de Água. Estas amostras devem caracterizar os cenários de coleta de dados de todos os ambientes brasileiros, com suas idiossincrasias. Para cada amostra poderão ser contratados grupos que desenvolvam a modernização da rede com base na modernização de equipamentos de coleta, transmissão e processamento de informações. A prioridade será de inovação tecnológica em todo o processo de aumento da produtividade. A avaliação dos projetos deverá ser realizada com base na redução do custo e da qualidade da informação coletada.

Essa proposta permite integrar num mesmo esforço, uma entidade de pesquisa ou uma universidade e uma empresa, ambos colaborando em termos de serviços e a última produzindo os equipamentos já como licenciada.

PARTICIPANTES DO PAINEL DE ESPECIALISTAS

Autores dos documentos de referência:

Dr. Paulo Kroeff – IPH – UFRGS

De acordo com a metodologia de prospecção adotada pelo CGEE, participaram do painel sobre “Produtos e Equipamentos”, no dia 5 de novembro de 2003, os seguintes especialistas:

Participantes	Vínculo Institucional
Gre de Araújo Lobo	Universidade de São Paulo – USP - DAEE
Marcos Dias da Silva	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Paulo Garcia	Agência Nacional de Águas - ANA
Paulo Kroeff Souza	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Anexo III-e



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Clima e Recursos Hídricos

Síntese de Painel de Especialistas

*Pedro Silva Dias
Robin T. Clarke*

Outubro, 2003

SUMÁRIO

CONTEXTO	4
PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS	5
Quanto à rede de monitoramento e a previsão	5
Quanto à capacitação	5
Destaques	6
Procedimentos recomendados:.....	7
QUESTÕES ADICIONAIS DESTACADOS NA REUNIÃO	7
RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS	9

CONTEXTO

Os sistemas hídricos brasileiros são poucos conhecidos quanto aos processos climáticos e hidrológicos nas suas escalas temporal e espacial. A disponibilidade de dados é limitada sobre a diversidade dos biomas brasileiros. Estes sistemas usualmente estão sujeitos às diferentes ações antrópicas como o devido ao uso do solo e a variabilidade climática.

A identificação e previsão dos processos e a mitigação dos potenciais impactos permite melhor gerenciar o desenvolvimento sustentável destes ambientes. Os desafios deste componente são de identificar as necessárias características importantes relacionadas a esses sistemas e de monitorar, na forma de projetos-piloto representativos, as variáveis explicativas. Estas informações e os resultados das pesquisas permitirão criar uma base concreta para as ações públicas e privadas no uso e conservação dos sistemas hídricos nos diferentes biomas brasileiros, prever o impacto de ações antrópicas e mitigar as mesmas.

Os objetivos a serem alcançados neste tema são: (i) *avaliação das necessidades de observação e monitoramento experimental dos sistemas hídricos brasileiros de forma integrada com vistas a propiciar a uma melhor caracterização desses sistemas;* e (ii) *formulação de uma proposta de investimento de curto e longo prazo em CT&I.*

Dentro destes objetivos é necessário destacar que o foco deste tema envolve o entendimento dos processos, climáticos, hidrológicos: quantitativos e qualitativos, ecológicos e sociais representativos dos principais biomas do país, que tenham repercussão nos usos e impactos dos recursos hídricos e conservação ambiental.

PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS

Quanto à rede de monitoramento e a previsão

- necessidade de modernização da rede de monitoramento hidrológica e climática quanto a: revisão da rede, equipamentos e a cobertura de bacias hidrográficas de pequeno porte, onde praticamente não existem dados. As bacias urbanas, que são de pequeno porte é um exemplo marcante de falta de informações. Nas bacias pequenas com risco de inundações também pode ser importante a previsão em tempo real;
- a reduzida quantidade de dados em países vizinhos. Isto tem consequência direta para algumas bacias hidrográficas limítrofes. Portanto, pode ser importante desenvolver cooperação e mesmo investimento na obtenção de dados fora do território brasileiro em bacias compartilhadas;
- a dificuldade de previsão de tempo devido ao uso de satélites internacionais que não permitem garantia de fornecimento de informação em tempo real em alguns períodos. Este pode ser uma das justificativas para um satélite brasileiro.
- a falta de dados oceânicos no Atlântico Sul que permita melhor estimativa dos modelos climáticos para todo o continente;
- a baixa disponibilidade de dados em países vizinhos onde ocorre à gênese de alguns fenômenos meteorológicos com alto potencial para produção de precipitação no Brasil;
- a necessidade de disponibilizar os dados históricos climáticos para pesquisadores e toda a sociedade;
- a deficiência dos bancos de dados atuais para armazenar todas as informações registradas e não apenas dados diários.

Quanto à capacitação

- observou-se a falta de pesquisadores em quantidade nos diferentes aspectos necessários dentro da área de clima e recursos hídricos. Os

programas de investimentos devem possuir componentes de formação de pesquisadores em diferentes regiões do país, principalmente no Norte e Centro-Oeste;

- a necessidade de integração entre pesquisadores de meteorologia e recursos hídricos e meio ambiente voltados para o programa;
- é importante incentivar parcerias em projetos de pesquisa entre instituições acadêmicas e operacionais. Incentivar a cooperação entre a operação e a pesquisa acadêmica. Nestes três componentes foram destacados os exemplos do LBA que permitiu a formação de pesquisadores na região Amazônica;
- Incentivar a cooperação internacional dos grupos brasileiros com parceiros da América do Sul ou de outros continentes.

Destaques

- avaliação dos efeitos das mudanças climáticas nos sistemas hídricos brasileiros: previsão e predição dos efeitos da variabilidade natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e o desenvolvimento econômico e social.
- avaliação dos efeitos de alteração da precipitação em ambientes urbanos: observam-se alterações nas intensidades das precipitações em áreas urbanas que podem ser devido ao efeito das superfícies urbanas e/ou do efeito de variabilidade climática.
- avaliação do efeito da modificação do uso do solo sobre as variáveis hidrológicas: o desmatamento e reflorestamento atuam diretamente sobre o ciclo hidrológico, assim como a irrigação. Com a expansão da agricultura em diferentes partes do país é necessário conhecer os impactos sobre as variáveis e os usos da água.

Procedimentos recomendados:

- programa de observação experimental nos biomas brasileiros que priorize a observação das variáveis climáticas e as hidrológicas em diferentes escalas espaciais e temporais. Associado a observação devem ser apropriados: a capacitação de pesquisadores de grupos emergentes com grupos consolidados e; o desenvolvimento de conhecimento para mitigação dos impactos avaliados.
- a necessidade de integração interdisciplinar de pesquisadores voltados para o entendimento dos processos e para as áreas sujeitas a impactos como agricultura, energia e outros usos da água;

QUESTÕES ADICIONAIS DESTACADOS NA REUNIÃO

A seguir são resumidos os principais temas destacados durante a reunião que necessitam de desenvolvimento científico e tecnológico:

- a importância e a necessidade de aprimoramento da previsão intrasazonal, essencial para a gestão dos usos dos recursos hídricos;
- a evapotranspiração é uma das variáveis hidroclimáticas essenciais principalmente no Nordeste. A sua estimativa é muito deficiente no clima brasileiro e as equações disponíveis foram geradas em climas temperados.
- previsão ambiental: a necessidade de estimar as variáveis ambientais como o crescimento e o estado da vegetação em função da umidade do solo, condições de qualidade da água como resultado de ações antrópicas, entre outros.
- a escala dos processos hidrológicos: a necessidade de melhor compreender os processos hidroclimáticos através da medição em diferentes escalas espaciais das variáveis;
- todo o desenvolvimento sócio-econômico dos recursos hídricos se baseia em séries estacionárias. Com a variabilidade climática natural e a modificação climática devido a atividade antrópica associada ao uso do solo e construção de obras nos sistemas hídricos, a séries longas tendem

a se tornar não-estacionárias. O desenvolvimento de métodos que trate das séries não-estacionárias para o planejamento e projeto é essencial para a nova realidade.

- regionalização espacial da informação: as informações são coletadas de forma pontual no espaço e seu uso é distribuído. Portanto, a transferência espacial das variáveis hidrológicas é essencial para o seu uso consistente.
- previsão e predição de variáveis e visão integrada: a previsão e predição de precipitação, vazão, entre outras variáveis são essenciais para diferentes usos da água e prevenção de impactos e desastres. O aprimoramento dos processos é essencial para setores como o de energia e agricultura. Foi também destacado que o processo de previsão deve ser visto como um processo de várias disciplinas como, por exemplo, na energia que envolve: meteorologia, hidrologia, operação de sistemas e formação de preços.

RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS

Esta prospecção propõe que os investimentos em C & T relacionado com esta prospecção sejam realizados dentro dos seguintes focos principais:

- Desenvolvimento de um sub-programa de investimento para observação dos biomas brasileiros. Iniciando pelo Cerrado, e Amazônico e estendo-se para os demais. Este programa deve incentivar a medida experimental dos processos físicos nas diferentes escalas, dos componentes sócio-econômicos relacionados e dos impactos.
- Características: observação das variáveis climáticas, hidrológicas em escalas espaciais apropriadas de bacias hidrográficas com representatividade dos principais processos sócio-econômicos desses biomas.
- Formato: formação de rede de pesquisadores que busquem a formação de grupos emergentes com fixação regional, preferencialmente com componentes internacionais. A rede deve estar composta preferencialmente com perfil interdisciplinar na área de hidrologia, climatologia, biologia, entre outros.
- Conteúdo: além da observação e identificação dos processos as pesquisas devem procurar abordar um ou mais dos itens referenciados no item anterior.
- Desenvolvimento de um programa de Previsão e Prognóstico voltado para a mitigação dos impactos da variabilidade climática:
- Características: o programa deve procurar investir numa rede de pesquisa voltada para aumentar a capacidade de previsibilidade do clima e das variáveis necessárias aos usos e conservação dos recursos hídricos com vistas à mitigação dos seus impactos e melhor gestão dos recursos hídricos.
- Formato: formação de rede de pesquisadores que busquem a formação de grupos emergentes com fixação regional, preferencialmente com

componentes internacionais. Os pesquisadores devem buscar criar uma cadeia de conhecimento: meteorologia/climatologia, hidrologia, sistemas, usos da água e formação de preço.

- Conteúdo: A previsão em tempo real e previsão de longo prazo e o prognóstico são as prioridades. A previsão em tempo real para mitigação de impactos de inundação e segurança de obras hidráulicas. A previsão de longo prazo para manejo de reservatórios energéticos e formação de preço e para manejo agropastoril. Quanto ao prognóstico o mesmo deve procurar examinar o impacto das modificações climáticas e das variabilidades climáticas de longo prazo sobre os recursos hídricos e no desenvolvimento sócio-econômico.

Nestes programas, a estratégia recomendada deve combinar a cooperação internacional, entre agências de operação e pesquisa e a formação de pesquisadores em regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

PARTICIPANTES DO PAINEL DE ESPECIALISTAS

Autores do documento de referência:

Dr. Pedro Silva Dias – USP

Dr. Robin T. Clarke – IPH - UFRGS

De acordo com a metodologia de prospecção adotada pelo CGEE, participaram do painel sobre “Clima e Recursos Hídricos”, nos dias 16 e 17 de outubro de 2003”, os seguintes especialistas:

Participantes	Vínculo Institucional
Francisco de Assis de Souza Filho	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME
Javier Tomazella	Centro de Previsão e Estudos Climáticos – CPTEC – INPE
Pedro Dias	Universidade de São Paulo - USP
Robin Clarke	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Waldemar Guimarães	Agência Nacional de Águas - ANA
Francisco de Assis Diniz	Instituto Nacional de Meteorologia – INMET – Min. Agricultura
Expedito Rebello	Instituto Nacional de Meteorologia – INMET – Min. Agricultura



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Anexo III-f



Prospecção Tecnológica

Recursos Hídricos

Racionalização do Uso da Água no Meio Rural

Síntese de Painel de Especialistas

Andres Troncoso Vilas

Outubro, 2003

SUMÁRIO

CONTEXTO	4
PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS.....	5
Demanda	5
Oferta	6
Qualidade.....	7
Gestão	8
RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS.....	9

CONTEXTO

O uso da água no meio rural envolve vários aspectos: o uso da água para irrigação, população e dessentação animal, impactos das práticas agrícolas e produção de animais para abate, entre outros. A irrigação é o maior usuário da água tanto em nível de país como em âmbito mundial (da ordem de 60% do total). A água utilizada na produção irrigada é consuntiva, ou seja, parte do volume utilizado não retorna para o sistema hídrico, mas é evaporado para a atmosfera. Na maioria das regiões este volume de água não retorna ao local evaporado, mas entra no sistema geral de circulação da atmosfera. Em regiões de limitada disponibilidade de água frente à demanda, é necessário buscar a racionalidade do uso da água, evitando-se conflitos de usos e impactos ambientais.

A racionalidade do uso da água não é vista aqui somente com relação à irrigação, mas também as práticas agrícolas que de alguma forma afetam a quantidade e qualidade do ciclo hidrológico natural dos sistemas hídricos.

O desenvolvimento rural no Brasil tem sido muito grande nos últimos anos pela capacidade técnica e científica do país em dominar a agricultura tropical. Isto tem permitido bater recordes sucessivos de produção agrícola principalmente pela produtividade. Com este sucesso também se observa expansão do uso de áreas agrícolas em direção a Amazônia e ao Cerrado, que tem características de relevo apropriado para uso agrícola. No caso do Cerrado, as limitações estão no longo período sazonal seco (maio a setembro) que requer irrigação. Esta demanda está aumentando com forte impactos sobre a disponibilidade hídrica e o meio ambiente. A tendência natural é a de construção de pequenos reservatórios, já que a água subterrânea encontra-se a grande profundidade.

No o limitante principal é a disponibilidade hídrica, seja para a irrigação empresarial como para a subsistência. Observa-se aí que a fruticultura tem sido uma tendência de buscar maior valor agregado à produção e ao retorno do investimento. No Sul e parte do Sudeste o desenvolvimento do plantio utiliza pouca irrigação (com exceção do arroz no Sul), mas desde a década de 90 tem sido utilizado o plantio direto. Este tipo de plantio alterou o impacto das práticas agrícolas sobre o comportamento hídrico das bacias hidrográficas, com um ganho econômico e ambiental. Devido a reduzido uso da irrigação o plantio na região é fortemente dependente das condições climáticas de cada ano, o que tem impacto sobre a produção e renda regional.

A produção de animais para o abate no Sudoeste de Santa Catarina, com expansão para o Centro-Oeste tem produzido uma dos maiores impactos ambientais do país, principalmente pela terceirização da produção por pequenas propriedades e cargas distribuídas por extensas áreas em que o meio ambiente passa a subsidiar a indústria de alimentos, já que os efluentes não são tratados. Somado a este conjunto de elementos devem-se destacar também outros aspectos ambientais relacionados com a produção agrícola como o impacto sobre os sistemas hídricos do uso de pesticidas, mas principalmente sobre o consumo de água pelas populações urbanas.

O perfil de grande produtor mundial de alimentos do país está baseado nas suas condições climáticas, solo e água. A futura expansão desta área de desenvolvimento econômico dependerá das condições climáticas, da disponibilidade hídrica e da sustentabilidade ambiental, pois o crescimento sem controle pode destruir este alto potencial de recursos existente no país.

A complexidade deste conjunto de problemas dificilmente poderia ser explorada na sua totalidade dentro de uma única prospecção tecnológica. Portanto, os objetivos deste estudo são de identificar os tópicos científicos e tecnológicos que necessitam ser examinados e elencar prioridades e mecanismos de investimento para atuar sobre os tópicos identificados visando sobre tudo dar sustentabilidade ao desenvolvimento rural do país dentro de bases científicas e tecnológicas qualificadas no que se refere ao meio ambiente aquático.

PRINCIPAIS QUESTÕES IDENTIFICADAS

As questões identificadas no documento de base e ao longo da reunião técnica devem ser vistas dentro de duas linhas principais. Os aspectos relacionados com a necessidade do país e, muitas vezes não relacionado diretamente com a Ciência e Tecnologia e os tópicos de interesse de investimento de C & T por um fundo de investimento como o CTHidro. Os tópicos a seguir destacados foram reunidos dentro do seguinte conjunto: demanda, oferta, qualidade e gestão. Dentro de cada um dos temas foram destacados os principais tópicos.

Demanda

- Zoneamento que envolva a avaliação e caracterização das principais culturas que combinem a produtividade econômica com o uso racional da água. Apesar do

conhecimento empírico corrente sobre as culturas mais apropriadas em cada região, torna-se necessário uma avaliação técnico-científica que oriente ao produtor sobre as culturas apropriadas que combinem tipo de solo, clima, uso da água, manejo e retorno econômico.

- Avaliação econômica e tecnológica das diferentes práticas de irrigação como orientação ao produtor. Estas práticas estão relacionadas diretamente com os tipos de sistemas de irrigação, investimentos, retornos e financiamento;
- Desenvolvimento de práticas racionais de uso da água para o arroz irrigado no Sul visando à redução da demanda por água e redução de potenciais conflitos;
- Desenvolvimento e aprimoramento das relações água e produtividade agrícola para diferentes culturas como elementos para o gerenciamento do uso e racionamento da água.

Oferta

- Previsão climática de longo prazo de disponibilidade hídrica e avaliação de risco de oferta hídrica agrícola. Considerando a grande dependência da precipitação e da vazão tanto no Nordeste como no Sul e Sudeste do Brasil é fundamental para a produção agrícola brasileira ter maior conhecimento sobre as condições climáticas e a oferta hídrica. Nos últimos anos o clima tem sido muito favorável e parte do aumento da produção se deve a estes novos condicionantes. Até que ponto os mesmos se manterão no futuro? Qual o risco? Como poderia ser reduzido o impacto do risco com previsibilidade climática?
- Uso de técnicas alternativas de armazenamento da água para aumentar a regularização de vazão como: recarga de aquíferos, barragens subterrâneas e sistema de regularização superficial. A grande expansão destas técnicas em diferentes regiões do país sem avaliação dos resultados pode levar a impactos ambientais e a própria redução da disponibilidade hídrica. As principais questões são: Quais as vantagens e desvantagens destas técnicas? Quais os resultados quantitativos para a produção agrícola e os impactos ambientais resultantes? Como orientar as práticas adequadas?
- O Plantio Direto alterou parte do ciclo hidrológico terrestre aumentando a infiltração e o escoamento sub-superficial. Quais são efetivamente estas alterações em termos quantitativos? Quais são os impactos em termos de rendimento e disponibilidade

hídrica? Qual é a efetiva recarga para o aquífero e o retorno ao escoamento superficial, impacto sobre o ravinamento, entre outros? Qual é a experiência adquirida e seu reflexo sobre os sistemas de recursos hídricos das bacias de jusante? Este componente deveria reunir as práticas de sucesso deste tipo de plantio, investir em aumentar o conhecimento sobre os gargalos de conhecimento.

Qualidade

Este componente tem uma forte interface com as prospecções de qualidade da água, qualidade da água subterrânea e saneamento:

- Avaliação do impacto resultante da produção de aves e suínos no Sudoeste e Centro-Oeste de Santa Catarina sobre as bacias hidrográficas. Desenvolvimento de práticas sustentáveis e tratamento de efluentes e avaliação da sustentabilidade econômica e social. Pode-se observar que as cargas existentes são muito altas e que a reciclagem sustentável dificilmente tem condições de minimizar de forma substancial da carga lançada sobre os rios. Desta forma, torna-se necessário desenvolver sistema de tratamentos de pequena carga e buscar a viabilidade econômica financeira para esta produção. No cenário atual o ambiente está subsidiando a produção nacional e de exportação, o que seguramente terá um preço a ser pago;
- Desenvolvimento de práticas de reuso da água urbana no sistema agropecuário dentro de padrões ambientais adequados, buscando reduzir a carga residuária do sistema;
- Avaliação da qualidade da água efluente de diferentes práticas agrícolas sujeita a diferentes compostos existentes nos pesticidas. Esta avaliação passa pelo escoamento e a carga em suspensão nos rios e no depósito de sedimentos que representa o acumulado das cargas depositados em vários anos nos rios e sujeita a re-suspensão durante as inundações.
- A produção de sedimentos em áreas críticas e devido à prática da agropecuária como ocorre no Mato Grosso do Sul. Esta produção de sedimentos pode comprometer a capacidade dos rios e reservatórios em função da expansão agrícola.

Gestão

- Desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão a partir de uma base de dados de campo, em informações de satélites, modelos de previsão climáticos e de umidade do solo, produtividade agrícola e condições de plantio;
- Um plano de capacitação de profissionais para os diferentes aspectos tecnológicos que forneçam o suporte à expansão do negócio agropecuário;
- Desenvolvimento de um programa securitização que envolva: risco agrícola – Pesquisa sobre os instrumentos legais que possam impactar positivamente no uso da água na agricultura. Pesquisa sobre as variáveis climáticas e hidrológicas, variação do risco agrícola.
- Gestão interdisciplinar da previsão climática, hidrológica, manejo agrícola e resultado econômico. Estes aspectos estão de alguma forma inseridos nos itens anteriores, mas destaca-se aqui o aprimoramento da integração interdisciplinar para o desenvolvimento integrado, que envolvem profissional de meteorologia, hidrologia, análise de sistema, manejo agrícola e produtividade em função da demanda e retorno econômico.

RECOMENDAÇÕES E MECANISMOS

Uma parcela dos itens relacionados possui forte inter-relação com os temas de clima e recursos hídricos, qualidade da água, qualidade da água subterrânea e saneamento. Os mecanismos propostos nestes componentes devem se integrar para a busca de uma visão integrada do desenvolvimento da pesquisa.

Com relação ao tema de clima e recursos hídricos, foi proposto o investimento de uma rede de observação de bacias pilotos nos ambientes brasileiros. Neste caso, bastaria incorporar os itens identificados aqui de medidas de sedimentos, dos processos que ocorrem no plantio direto e qualidade da água nas medidas deste programa. Portanto, a amostragem das bacias em diferentes escalas deveria contemplar amostras de condições ambientais e de práticas agrícolas nos ambientes brasileiros.

No referido tema também foi proposto o desenvolvimento de um programa de pesquisa de previsão e mitigação dos impactos climáticos. Um dos focos deste programa deve ser a agropecuária com visão de mitigação dos efeitos do risco agrícola, com foco principalmente em regiões com e sem irrigação.

No que se refere aos outros tópicos tecnológicos recomenda-se o investimento em editais específicos que busquem responder as questões de destaques a serem elencadas durante o workshop.

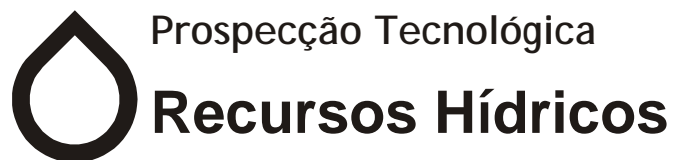
PARTICIPANTES DO PAINEL DE ESPECIALISTAS

Autor do documento de referência:

Dr. Andrés Troncoso Vilas – Consultor independente

De acordo com a metodologia de prospecção adotada pelo CGEE, participaram do painel sobre “Racionalização do uso da água no meio rural”, nos dias 15 e 16 de outubro de 2003, os seguintes especialistas:

Participantes	Vínculo Institucional
Antonio Felix Domingues	Agência Nacional de Águas - ANA
Demetrios Christofidis	Ministério da Integração
Helvécio Saturnino	Consultor Independente
Washington Luiz de C. e Silva	Embrapa - CNPH
Andrés Troncoso Vilas	Consultor independente



Análise dos Dados do Programa Prospector

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
TÓPICOS RELEVANTES	7
MATRIZ ‘TÓPICOS RELEVANTES’ VERSUS ‘TEMAS’ EM ESTUDO NO CGEE	8
ANÁLISE COMPLETA DOS CRUZAMENTOS.....	9
COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS.....	22

APRESENTAÇÃO

Este documento traz o resultado de análise realizada a partir dos resultados do Delphi do Programa Prospectar (MCT/ 2002) para o tema Recursos Hídricos. Objetivando avaliar as necessidades tecnológicas brasileiras em Recursos Hídricos, o Programa Prospectar adotou o seguinte procedimento: 1. Elegeu o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Agência Nacional de Águas (ANA) como instituições âncoras responsáveis pela primeira redação dos tópicos tecnológicos; 2. A primeira rodada Delphi lançada com 116 subtemas e 139 tópicos foi respondida por 1.332 especialistas, identificados principalmente a partir da Plataforma Lattes do CNPq; 3. A segunda rodada Delphi consolidada a partir das sugestões dadas pelos respondentes, com 11 subtemas (correspondendo às Diretrizes Estratégicas para o Fundo Setorial de Recursos Hídricos) e 218 tópicos, 681 respondentes; 4. Terceira rodada Delphi, 11 subtemas e 213 tópicos tecnológicos, 228 respostas, com espaço para comentários e justificativas.

Procedimento de Hierarquização Multicritério dos Tópicos Tecnológicos¹

A metodologia utilizada, para além da perspectiva descritiva, caracteriza-se pela construção de visões estratégicas sobre o conjunto de respostas dos especialistas envolvidos no Delphi, necessárias para a tomada de decisão sobre a relevância dos tópicos avaliados. A hierarquização multicritério destaca os tópicos tecnológicos que obedecem aos critérios definidos, que as classificam como desejáveis e que garantem a confiabilidade e a robustez do conjunto.

Para efeito dessa hierarquização se utilizou um conjunto de critérios cujas valorações estivessem disponíveis na base de dados do Programa Prospectar. O questionário Delphi utilizado consistia dos seguintes itens para cada tópico tecnológico:

¹ Para uma descrição em profundidade dos procedimentos metodológicos utilizados e suas justificativas ver ZACKIEWICZ, M. *Análise Multicritérios para seleção de prioridades no Programa Prospectar*. Anexo do Relatório Final do Programa Prospectar, 2002.

1. grau de conhecimento e experiência do respondente no tópico
2. efeito esperado para aumentar a eficiência do sistema produtivo
3. efeito esperado para melhoria da qualidade de vida da população
4. efeito esperado para o avanço do conhecimento científico e tecnológico
5. disponibilidade de recursos humanos qualificados
6. disponibilidade de infra-estrutura de pesquisa
7. disponibilidade de capacitação tecnológica no setor produtivo
8. necessidade de cooperação internacional
9. horizonte de realização do tópico tecnológico

Neste caso, entre os critérios de hierarquização foram incluídos dois especialmente voltados à qualidade das informações: o número de respondentes dos tópicos e a especialização desses respondentes (questão 1). Os demais critérios correspondem às demais questões do Delphi. Para a hierarquização cada questão foi tomada como um critério independente (mesmo tendo sido constatada certa correlação entre algumas delas). Essa opção permitiu uma avaliação mais detalhada e captar eventualmente "sinais fracos" de tópicos que fogem do padrão geral de correlação.

Questões		Respostas Disponíveis				
1	Grau de Conhecimento e Experiência do Respondente no Tópico	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
2	Efeito Esperado para Aumentar a Eficiência do Sistema Produtivo	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
3	Efeito Esperado para a Melhoria da Qualidade de Vida da População	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
4	Efeito Esperado para o Avanço do Conhecimento Científico e Tecnológico	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
5	Disponibilidade de Recursos Humanos Qualificados	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
6	Disponibilidade de Infra-Estrutura de Pesquisa	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
7	Disponibilidade de Capacitação Tecnológica no Setor Produtivo	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
8	Necessidade de Cooperação Internacional	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
9	Horizonte de Realização do Tópico Tecnológico	até 2002	2009-2010	2017-2018		
		2003-2004	2011-2012	2019-2020		
		2005-2006	2013-2014	após 2020		
		2007-2008	2015-2016			

A hierarquização multicritério deve ser entendida como complementar à síntese estatística apresentada no relatório final do Programa Prospectar. Enquanto aquela mostra um panorama geral e mais sintético do comportamento dos tópicos, esta destaca mais os tópicos que obedecem aos critérios específicos escolhidos.

Foi examinado um conjunto de 232 tópicos contidos no tema Recursos Hídricos e áreas correlatas e dois conjuntos com os principais tópicos foram extraídos, o primeiro contendo aqueles mais relevantes, o segundo contendo tópicos relevantes nos quais foram identificadas importantes entraves à sua realização.

TÓPICOS RELEVANTES

A lista abaixo contém uma síntese entre as duas hierarquias. Tratam-se da lista dos tópicos obtidos por meio de uma visão pragmática (com foco estrito em impactos econômicos e sociais no curto prazo) e a lista obtida por uma visão futura (com maior equilíbrio entre importância econômica e social e desenvolvimento sustentado de competências) que foram pontuadas e cruzadas para identificação dos tópicos mais robustos, isto é, aqueles que respondem, ao mesmo tempo, às duas visões. A lista final contém 16 tópicos e representa uma inflexão em relação à pontuação máxima de corte (a próxima teria 25 tópicos).

Subtemas - Recursos Hídricos	Tópicos Relevantes
Água e o Gerenciamento Urbano Integrado	Uso amplo de tecnologias de menor custo e menor impacto ambiental tanto na produção de água potável quanto no tratamento de efluentes e na drenagem
	Desenvolvimento tecnológico na área da saúde para combater as doenças de veiculação
	Captação, armazenamento e utilização de águas pluviais em centros urbanos
	Desenvolvimento científico e tecnológico aplicado à gestão de resíduos sólidos e líquidos
	Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas simplificados de tratamento de água potável e de esgoto, para gestão dos recursos hídricos
	Uso amplo de sistemas simples (Condominial) para esgotamento sanitário
Água na Região do Semi-Árido	Técnicas de manejo de água
	Desenvolvimento de processos simplificados de captação, armazenagem e tratamento de águas para consumo humano e animal
Gerenciamento de Bacias Hidrográficas	Educação Ambiental com ênfase na conservação de recursos hídricos
Produtos e Processo para o Uso e Conservação da Água	Desenvolvimento de instrumentação informatizada para detecção radioativa e fluorescente
Qualidade da Água e dos Sistemas Hídricos	Determinação de padrões de qualidade de água (índices de qualidade e variação ao longo do tempo) adequados aos ecossistemas brasileiros, com o objetivo de classificação de corpos de água, de acordo com a legislação vigente
Uso do Solo e os Sistemas Hídricos	Desenvolvimento de tecnologias de irrigação de baixo custo e economia de água
	Racionalização do uso da água na agricultura visando proteger o meio ambiente
	Desenvolvimento de técnicas de controle de erosão urbana e rural, utilizando o conhecimento integrado da análise geomorfológica
	Uso prático da teoria da sedimentologia, aplicada à prevenção e correção do assoreamento de rios, lagos e reservatórios
Uso Integrado dos Sistemas Hídricos	Desenvolvimento de tecnologias para o cultivo de peixes de água doce e água do mar, em cativeiro

Os subtemas "Comportamento dos Sistemas Hídricos" (8 tópicos), "Prevenção e Controle de Eventos Críticos" (7 tópicos), "Recursos Hídricos Costeiros" (12 tópicos) e "Variabilidade Climática e os Sistemas Hídricos" (4 tópicos) não tiveram tópicos destacados nesta lista.

MATRIZ 'TÓPICOS RELEVANTES' VERSUS 'TEMAS' EM ESTUDO NO CGEE

A matriz abaixo relaciona os tópicos da Lista de Tópicos Relevantes (item 1 acima) com os estudos componentes do Exercício de Prospecção em Recursos Hídricos conduzido atualmente no CGEE. A matriz indica os cruzamentos em que há relação (x), relação importante (xx) e relação total (xxx).

Tópicos Relevantes \ Estudos CGEE	Qualidade de Água	Qualidade de Água Subterrânea	Produtos e Equipamentos	Racionalização da Água na Agricultura	Clima e Recursos Hídricos	Transferência de Tecnologia em Saneamento
Uso amplo de tecnologias de menor custo e menor impacto ambiental tanto na produção de água potável quanto no tratamento de efluentes e na drenagem	x		xx			xxx
Desenvolvimento tecnológico na área da saúde para combater as doenças de veiculação hídrica	xx		xx			xxx
Captação, armazenamento e utilização de águas pluviais em centros urbanos	x		x			
Desenvolvimento científico e tecnológico aplicado à gestão de resíduos sólidos e líquidos	x		xx			x
Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas simplificados de tratamento de água potável e de esgoto, para gestão dos recursos hídricos	xx	x	x			x
Uso amplo de sistemas simples (Condomínio) para esgotamento sanitário			x			xxx
Técnicas de manejo de água		x		xxx	x	
Desenvolvimento de processos simplificados de captação, armazenagem e tratamento de águas para consumo humano e animal			xx	x	x	xx
Educação Ambiental com ênfase na conservação de recursos hídricos		x		x		x
Desenvolvimento de instrumentação informatizada para detecção radioativa e fluorescente	x	x	xxx			
Determinação de padrões de qualidade de água (índices de qualidade e variação ao longo do tempo) adequados aos ecossistemas brasileiros, com o objetivo de classificação de corpos de água, de acordo com a legislação vigente	xxx	xxx				
Desenvolvimento de tecnologias de irrigação de baixo custo e economia de água			x	xxx		
Racionalização do uso da água na agricultura visando proteger o meio ambiente			x	xxx		
Desenvolvimento de técnicas de controle de erosão urbana e rural, utilizando o conhecimento integrado da análise geomorfológica			x	x		
Uso prático da teoria da sedimentologia, aplicada à prevenção e correção do assoreamento de rios, lagos e reservatórios				xx	x	
Desenvolvimento de tecnologias para o cultivo de peixes de água doce e água do mar, em cativeiro			xx			



ANÁLISE COMPLETA DOS CRUZAMENTOS

A tabela a seguir mostra o resultado de um exercício exaustivo de cruzamento entre os tópicos do Programa Prospectar e os temas da prospecção tecnológica em Recursos Hídricos realizada pelo CGEE. A tabela distingue relações consideradas "fortes" (xx) daquelas consideradas apenas "existentes" (x). Mostra ainda o número de respondentes do Delphi Prospectar que avaliaram cada tópico e a previsão obtida para o ano de realização da tecnologia considerada. Cada tópico tecnológico é descrito segundo seu tema e subtema de origem, informações importantes para uma caracterização mais precisa.

Ao final, são apresentados dados e gráficos para sintetizar as informações contidas nas tabelas de cruzamento.

Programa Prospear - Tópicos Relacionados a Recursos Hídricos							Prospecção CGEE (2003)					
<i>Tema</i>	<i>Subtema</i>	<i>Tópico</i>	<i>Horizonte temporal de realização (em 2007-2002)</i>	<i>Número de Respostas na 3ª Rodada</i>	<i>Qualidade da Água</i>	<i>Qualidade da Água Subterrânea</i>	<i>Produtos e Equipamentos</i>	<i>Racionalização da Água na Agricultura</i>	<i>Clima e Recursos Hídricos</i>	<i>Transferência de Tecnologia em Saneamento</i>		
1	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso amplo de sistemas simples (Condominial) para esgotamento sanitário	2005	18					xx		
2	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Redução das Perdas no Abastecimento Urbano	2005	14					x		
3	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Definição de soluções visando a construção de pontes para integração de áreas urbanas	2005	14					x		
4	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático das técnicas de administração municipal e urbana, enfocados nos aspectos físico-ambientais do planejamento urbano e regional por bacia hidrográfica	2007	19	xx		x				
5	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático das técnicas para avaliação e monitoramento da qualidade do ar, das águas e do solo, relacionando-as às práticas da engenharia sanitária, para gestão dos recursos hídricos	2007	18	xx	x	x		x		
6	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático das técnicas da química sanitária, para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas de tratamento de águas de abastecimento e residuárias	2007	14	x		x		x		
7	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso amplo de metodologias de combate às doenças de veiculação hídrica	2007	15					xx		
8	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático das técnicas de rastreamento por radioisótopos e outros traçadores (fluorescentes, biológicos), aplicados à avaliação da eficiência hidráulica de unidades de tratamento de efluentes	2007	9	x		x		x		
9	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Aplicação da cartografia geotécnica associada a Sistemas de Informação Geotécnica para planejamento urbano e regional	2007	25	x		x	x	x		
10	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Recarga artificial de aquíferos utilizando efluentes domésticos tratados	2007	14		x			x		
11	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Desenvolvimento de sistemas de tratamento para remoção de nematódios intestinais	2007	9					xx		
12	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Reuso da água industrial e saúde pública	2007	14					xx		
13	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Desenvolvimento científico e tecnológico aplicado à gestão de resíduos sólidos e líquidos	2007	31					xx		



<i>Tema</i>	<i>Subtema</i>	<i>Tópico</i>	<i>Ano</i>	<i>N</i>	<i>QA</i>	<i>QS</i>	<i>FE</i>	<i>RA</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
14	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Projetos para disponibilização de tecnologias de controle de poluição de baixo custo para indústrias e municípios	2007	23					xx
15	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático do planejamento e gestão dos recursos hídricos no controle de enchentes em municípios	2007	17		x		xx	
16	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Captação, armazenamento e utilização de águas pluviais em centros urbanos	2007	27					x
17	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Desenvolvimento de novas técnicas de drenagem pluvial, visando uma melhor integração da água com o espaço urbano	2007	15					xx
18	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Reuso de águas residuárias na agricultura	2007	23			xx		
19	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Desenvolver um conhecimento teórico no campo educacional, incluindo abordagens antropológicas dos diferentes grupos sociais que ocupam as periferias urbanas	2007	23					x
20	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Educação Tecnológica em Periferias Urbanas	2007	21					x
21	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Toxicologia e análise de riscos à saúde humana em bacias hidrográficas e aquíferos sujeitos à poluição industrial	2007	17	x	x			x
22	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Remoção de compostos orgânicos em águas de abastecimento por membranas poliméricas.	2007	12					xx
23	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Geoprocessamento como ferramenta de apoio no uso prático das técnicas de planejamento e projetos urbanos e regionais, aplicadas à bacia hidrográfica	2007	26		x		xx	
24	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Poluição dos lençóis freáticos por infiltração de combustíveis	2007	20		x			
25	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso amplo de técnicas de exploração e conservação de bacias hidrográficas urbanas para o abastecimento	2008	14					
26	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Aplicação de técnicas geomorfológicas e sedimentológicas ao planejamento da execução de obras, visando à redução de carga sólida carreada para redes de drenagem urbana.	2008	18					
27	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático das técnicas de microbiologia aplicada ao ecossistema aquático, relacionando-as às práticas da engenharia sanitária, para gestão dos recursos hídricos	2009	12					x
28	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas simplificados de tratamento de água potável e de esgoto, para gestão dos recursos hídricos	2009	14		x			x
29	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Desenvolvimento tecnológico na área da saúde para combater as doenças de veiculação hídrica	2009	18					xx
30	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático de tecnologias de controle da poluição para solução de problemas ligados ao saneamento em bacias hidrográficas	2009	15					x
31	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso amplo de tecnologias de menor custo e menor impacto ambiental tanto na produção de água potável quanto no tratamento de efluentes e na drenagem	2009	18					x
32	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Desenvolvimento de sistemas baseados na tecnologia de wetlands com plantas nativas para tratamento de águas residuárias e esgotos de atividades rurais	2009	17			xx		
33	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Desinfecção de águas - processos alternativos	2009	16					x
34	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Identificação e uso prático de indicadores biológicos para determinação da qualidade da água	2009	23	x				x

<i>Tema</i>	<i>Subtema</i>	<i>Tópico</i>	<i>Ano</i>	<i>N</i>	<i>QA</i>	<i>QS</i>	<i>FE</i>	<i>RA</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
35	Recursos Hídricos	Água e o gerenciamento urbano integrado	Uso prático das técnicas avançadas de tratamento de águas para o abastecimento e residuárias, para a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas	2010	16					x
36	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Uso de técnicas tradicionais e geofísicas na prospecção de águas subterrâneas e caracterização de aquíferos, fornecendo subsídios para a exploração racional dos recursos	2005	12	xx				
37	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Estratégias para cobrança de água dessalinizada em pequenas comunidades rurais	2006	7			x		
38	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Modelos de balanço hídrico para a avaliação e estimativa das disponibilidades hídricas regionais	2007	13				xx	
39	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Técnicas de manejo de água	2007	9				x	
40	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Uso prático de reservatórios no aproveitamento e gestão dos recursos hídricos no semi-árido	2007	17					
41	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Avaliação Econômica e Ambiental do Processo de Salinização em Solos Irrigados	2007	10			x		
42	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Controle dos processos de degradação dos recursos naturais (água e solo) por salinização	2007	11			x		
43	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Desenvolvimento de processos simplificados de captação, armazenagem e tratamento de águas para consumo humano e animal	2007	18					x
44	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Desmineralização de água por Osmose Reversa (OR)	2007	13					x
45	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Impacto de cultivos e de períodos de irrigação na disponibilidade de recursos hídricos de bacias hidrográficas	2008	11			xx	x	
46	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Estudo de um modelo de mesoescala para o Nordeste do Brasil do Tipo RAMS ou ETA	2008	10				xx	
47	Recursos Hídricos	Água na região do semi-árido	Água subterrânea em meio fissural (Hidrodinâmica e prospecção)	2010	14	x				
48	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Desenvolvimento tecnológico de modelos de simulação voltados aos recursos hídricos	2007	17				xx	
49	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Microclimas de bacias hidrográficas	2007	7				xx	
50	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Desenvolvimento de técnicas integradas para avaliação da recarga de águas subterrâneas	2007	11	xx				
51	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Estudos das relações quantitativas e qualitativas entre as bacias hidrogeológicas e hidrográficas	2007	12	x	xx			
52	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Caracterização de parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos	2008	9		xx			
53	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Erosão - Transporte de Sedimentos - Assoreamento de canais de drenagem e de reservatórios	2008	18					
54	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Desenvolvimento tecnológico na área de micrometeorologia, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	2009	12		x		xx	
55	Recursos Hídricos	Comportamento dos sistemas hídricos	Micrometeorologia de ecossistemas brasileiros	2009	5		x		xx	
56	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Desenvolvimento em climatologia geográfica aplicada à gestão dos recursos hídricos por bacia hidrográfica	2007	9				xx	
57	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso prático da teoria da hidrologia superficial, subterrânea e atmosférica, aplicada à gestão de recursos hídricos por bacia hidrográfica	2007	14	x	x			
58	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso prático das técnicas de informação, cadastramento e mapeamento de informações sobre o território, aplicadas à bacia hidrográfica	2007	20	x	x	x	x	



	Tema	Subtema	Tópico	Ano	N	QA	QS	FE	RA	C	S
59	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso prático de metodologias de sensoriamento remoto aplicados a recursos hídricos	2007	20	x		x		x	
60	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso de novas tecnologias e meios de comunicação de massa para o fortalecimento dos processos de conscientização	2007	10						x
61	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Valoração econômica dos recursos hídricos	2007	10						
62	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Desenvolver mecanismos que levem a uma diferenciação dos atores envolvidos no manejo de uma microbacia, principalmente usuários diretos da água e outros recursos: um tratamento tributário diferenciado	2007	10						
63	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Competências, subsidiariedade e cooperação intergovernamental	2008	8						
64	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Funções de custo de controle da poluição hídrica aplicáveis a bacias e controle de poluição	2008	11						x
65	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Criação de mercado de águas em bacias	2008	9						
66	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso da Internet para desenvolver cursos para estudo à distância na área de recursos hídricos	2008	10						
67	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso amplo de técnicas de planejamento ambiental e comportamento humano, com vistas a esclarecer as comunidades sobre a importância do uso racional da água para o homem e para o meio ambiente	2009	15						x
68	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Desenvolvimento de mecanismos institucionais para gestão de bacias e integração microregional	2009	12						
69	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Bases institucionais da política de recursos hídricos no país	2009	13						
70	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Avaliar a relação tradicional das comunidades regionais com os recursos hídricos, considerando a memória coletiva e o imaginário	2009	14						x
71	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Estudo de ferramentas de mobilização social entre os atores institucionais envolvidos e a população para uma gestão participativa de bacias hidrográficas	2009	13						x
72	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Incentivos compatíveis de gestão de recursos hídricos	2009	5						
73	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Funções de demanda da água aplicáveis a bacias hidrográficas	2009	9						
74	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Aplicação de técnicas de hidrometria visando à gestão de recursos hídricos por bacia hidrográfica	2009	13	x		x			
75	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Desenvolvimento de práticas gerenciais descentralizadas	2009	9						
76	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso amplo de tecnologias de teleinformação aplicadas à rede telemétrica de hidrometeorologia	2009	9			xx			
77	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Modelos econômicos geo-referenciados de uso da água	2010	7					x	
78	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Gestão de Águas Subterrâneas	2010	12		x				
79	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de lay-out de processos industriais, para gestão dos recursos hídricos	2011	6			x			
80	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso amplo das técnicas de psicologia social, com ênfase nas relações interpessoais, com vistas a entender o relacionamento do homem com a água no meio urbano e rural	2011	6						x

	Tema	Subtema	Tópico	Ano	N	QA	QS	FE	RA	C	S
81	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Instrumentos tributários visando a captura da valorização imobiliária gerada pelo investimentos em recursos hídricos	2011	4						
82	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Estudo da importância histórico social dos recursos hídricos para cada comunidade a ser trabalhada	2011	10						x
83	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso amplo de técnicas de empowerment para a constituição e fortalecimento dos Comitês de Bacias	2011	5						x
84	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Modelo orçamentário-fiscal de gestão de bacias	2011	5						
85	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso amplo de processos de conscientização e organização social para o desenvolvimento da economia regional e urbana, com ênfase na economia regional, com vistas ao planejamento por bacia hidrográfica	2011	8						x
86	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Elucidação da taxa de depleção ótima do recurso natural semi-renovável água	2011	6					x	
87	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Educação Ambiental com ênfase na conservação de recursos hídricos	2011	20						
88	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso prático da teoria da sedimentologia aplicada ao transporte de sedimentos em cursos d'água, em suporte à gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas	2011	10						
89	Recursos Hídricos	Gerenciamento de bacias hidrográficas	Uso amplo das técnicas sociológicas para mapear os principais atores responsáveis pela degradação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica	2011	9						x
90	Recursos Hídricos	Prevenção e controle de eventos críticos	Desenvolvimento de análise estocástica para modelação hidrológica aplicada à previsão de secas e enchentes	2007	11					xx	
91	Recursos Hídricos	Prevenção e controle de eventos críticos	Desenvolvimento tecnológico na área de interação do oceano com a atmosfera, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição da dinâmica dos fenômenos meteorológicos e à prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	2007	8			x		xx	
92	Recursos Hídricos	Prevenção e controle de eventos críticos	Desenvolvimento na área de sensoriamento remoto da atmosfera, à medição de características meteorológicas, ao mapeamento do movimento local, regional e global das águas atmosféricas e à prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	2007	9			xx		xx	
93	Recursos Hídricos	Prevenção e controle de eventos críticos	Desenvolvimento de métodos de identificação e previsão das precipitações, utilizando dados de satélite e convencionais	2007	10					xx	
94	Recursos Hídricos	Prevenção e controle de eventos críticos	Desenvolvimento tecnológico na área de movimento da água do mar e sua interação com as águas doces, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição da dinâmica dos fenômenos meteorológicos e à prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	2008	4			x		xx	
95	Recursos Hídricos	Prevenção e controle de eventos críticos	Desenvolvimento e implementação de modelos acoplados hidrológicos-atmosféricos	2009	12					xx	
96	Recursos Hídricos	Prevenção e controle de eventos críticos	Desenvolvimento tecnológico na área de meteorologia aplicada, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	2011	13			x		xx	
97	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de tecnologias de teleinformação aplicadas à rede telemétricas de hidrometeorologia	2003	2			xx		x	
98	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Técnica de traçadores e uso de isótopos em Hidrologia	2003	4		x	xx			
99	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolver equipamentos para oxigenar lagos ou estação de tratamento	2004	6						xx



	Tema	Subtema	Tópico	Ano	N	QA	QS	FE	RA	C	S
100	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de hardware e software específicos aplicados aos recursos hídricos	2005	4			xx			
101	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso prático das tecnologias de prospecção de mananciais subterrâneos e de perfuração e instalação de poços profundos, artesanais ou não	2005	2		xx				
102	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de técnicas de capacitação em planejamento participativo	2005	7						x
103	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de técnicas de análise e avaliação das despesas com programas em recursos hídricos no Brasil	2005	2						
104	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso do sensoriamento remoto da superfície com alta resolução espacial e espectral	2005	4			xx			
105	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de sistemas automáticos de aquisição de dados agrometeorológicos	2005	4			xx	x	x	
106	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Elucidar métodos de redução de escala (downscaling) das previsões climáticas dos modelos globais para a escala de bacias hidrográficas	2005	3					xx	
107	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso amplo de modelos de hardware e software para o desenvolvimento da ciência de computação em recursos hídricos	2005	2			xx			
108	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso do sensoriamento remoto para classificar os corpos d'água segundo o volume de água, profundidade, etc.	2005	3			xx			
109	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolver equipamentos para reciclagem integral	2005	4						x
110	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Processos físico-químicos e químicos para tratamento de efluentes líquidos provenientes da indústria do petróleo	2005	10						xx
111	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Videografia Digital aplicada à gestão de recursos hídricos	2005	1			xx			
112	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Aplicação da Fotogrametria Digital para a geração de Modelos de Elevação do Terreno	2005	3			xx			
113	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de geoindicadores para países tropicais	2005	4			xx			
114	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Certificação dos laboratórios de geoquímica analítica do país	2005	5			xx			
115	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Redes Telemétricas de coleta de dados	2005	2			xx			
116	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de instrumentação informatizada para detecção radioativa e fluorescente	2005	3	x		xx			
117	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Aplicação de técnicas imunológicas para detecção de contaminantes microbianos	2005	3						xx
118	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Filtração de água de abastecimento através de membranas poliméricas para remoção de cistos e oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> em águas de abastecimento	2005	3						xx
119	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Sensoriamento Remoto Multiespectral Aerotransportável	2005	3			xx			
120	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos	2005	4			xx			
121	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de sistemas capazes de integrar facilidades dos Sistemas de Informações Geográficas com as facilidades das ferramentas de análise do tipo OLAP para dar suporte à gestão de recursos hídricos	2005	1			xx			
122	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de técnicas de baixo custo para produção de cartografia básica aplicada a recursos hídricos	2006	3						

	<i>Tema</i>	<i>Subtema</i>	<i>Tópico</i>	<i>Ano</i>	<i>N</i>	<i>QA</i>	<i>QS</i>	<i>FE</i>	<i>RA</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
123	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Elucidação da tratabilidade de despejos perigosos (de alta toxicidade)	2006	5						xx
124	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso de microorganismos em processos de despoluição de resíduos aquícolas	2006	7						x
125	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de instrumentação meteorológica, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e prevenção de eventos críticos - secas e enchentes	2007	4			xx		x	
126	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de sistemas de informação geográficas aplicados aos recursos hídricos	2007	4			xx			
127	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Qualidade dos equipamentos que constituem os sistemas de irrigação pressurizado	2007	4				x		
128	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Geotecnia Ambiental	2007	4			xx			
129	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Geofísica Aplicada à Hidrogeologia	2007	3			xx			
130	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Instrumentos e Técnicas Hidrométricas	2007	3			xx			
131	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Automação Total de Sistemas de Irrigação	2007	2				x		
132	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Elucidação dos modelos de simulação mais aplicáveis ao setor de recursos hídricos	2007	4			xx			
133	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso amplo de padrões e ferramentas de gerência de metadados para garantir a disseminação e integração de informações sobre recursos hídricos no Brasil	2007	3			xx			
134	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento e uso de modelagem exploratória associada a inteligência artificial na avaliação de prospectos para poços profundos	2007	1		x	xx			
135	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso amplo de tecnologia de Data Warehouse para dar suporte à análise de informações em ambientes de administração municipal e urbana ligados à bacias hidrográficas	2008	3			xx			
136	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolver sensores eletroquímicos para a determinação de poluentes em águas e efluentes	2008	6			x			x
137	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Geoquímica isotópica aplicada aos estudos de águas e efluentes	2008	3			xx			
138	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Uso prático das técnicas para estudo, avaliação, monitoramento e projetos de sistemas de águas industriais - captação, uso e disposição final, para gestão dos recursos hídricos	2009	7			xx			x
139	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de metodologias com vistas à integração das águas superficiais com as águas subterrâneas para propiciar a gestão integrada dos recursos hídricos em bacias hidrográficas	2009	3						
140	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de metodologias modernas para a determinação de poluentes orgânicos e inorgânicos no ambiente	2009	11						x
141	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Elucidação e adaptação de software específicos aplicados aos recursos hídricos	2009	3			xx			
142	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento de metodologias de monitoramento das bacias hidrográficas	2009	11			xx			
143	Recursos Hídricos	Produtos e processos para o uso e conservação da água	Desenvolvimento e estudo de traçadores naturais para datação de água e estudo de dinâmica do ciclo hidrológico, que sejam adequados às condições do hemisfério sul	2011	4			xx			
144	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Uso prático da tecnologia química para determinação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas em bacias hidrográficas	2007	22	xx	xx				



	Tema	Subtema	Tópico	Ano	N	QA	QS	FE	RA	C	S
145	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Determinação de concentrações de arsênio e metais associados em águas superficial e subterrânea	2007	15	xx	xx				
146	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Estudo de elementos traços em áreas de captação de drenagens acima de 50Km ²	2007	14	xx	x				
147	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Desenvolvimento de tecnologias de remediação ambiental para remoção de arsênio de águas e solos envenenados	2007	13	x	xx				
148	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Desenvolvimento de modelos de monitoramento para ambientes aquáticos,	2007	24	xx					
149	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Desenvolvimento de indicação biológica de poluição	2007	24	xx					
150	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Determinação de padrões de qualidade de água (índices de qualidade e variação ao longo do tempo) adequados aos ecossistemas brasileiros, com o objetivo de classificação de corpos de água, de acordo com a legislação vigente	2007	28	xx					
151	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Elucidação dos mecanismos envolvidos na poluição de águas subterrâneas	2008	17		xx				
152	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Desenvolvimento tecnológico na área de química da atmosfera, como apoio à gestão dos recursos hídricos, à medição de características meteorológicas e controle da poluição da água - chuva ácida	2009	13	xx				x	
153	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Elucidar os processos de contaminação das águas interiores por poluentes orgânicos e inorgânicos	2009	16	xx					
154	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Análise de radioatividade presente nas águas	2009	8	xx					
155	Recursos Hídricos	Qualidade da água dos sistemas hídricos	Dinâmica de sedimentos coesivos	2009	3	xx					
156	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Dinâmica Estuarina	2007	14						
157	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Desenvolvimento de metodologias com vistas à integração das águas superficiais com as águas subterrâneas, estuarinas e costeiras para propiciar a gestão integrada dos recursos hídricos em bacias hidrográficas	2009	6						
158	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Estudo dos processos envolvidos na floculação de partículas sedimentares em ambientes estuarinos tropicais e subtropicais	2010	9						
159	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Sedimentação Costeira	2011	12						
160	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Variáveis físicas e químicas preponderantes no processo de difusão de poluentes nas zonas marinhas costeiras	2011	13						
161	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Desenvolvimento de metodologias analíticas para o estudo de metais e pesticidas em ambientes costeiros	2006	13						
162	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Desenvolvimento de técnicas de monitoramento e controle da poluição das águas costeiras pelas bacias hidrográficas	2007	12						
163	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Elucidação de fatores físicos e químicos interferentes na vida aquática de ecossistemas marinhos costeiros(mangues, restingas, lagoas)	2007	16						
164	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Desenvolver técnicas para identificar áreas costeiras sujeitas a inundações rápidas (modelos, mapeamento)	2007	13					x	
165	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Elucidação da dinâmica de Ecossistemas Costeiros	2008	15					x	
166	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Gestão de recursos hídricos em cidades litorâneas	2009	11						
167	Recursos Hídricos	Recursos hídricos costeiros	Oceanografia Física Costeira	2009	14						
168	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso prático das técnicas da geologia ambiental, aplicadas para o melhor entendimento da relação entre geologia, meio ambiente e recursos hídricos superficiais e subterrâneos	2005	10	x	x				

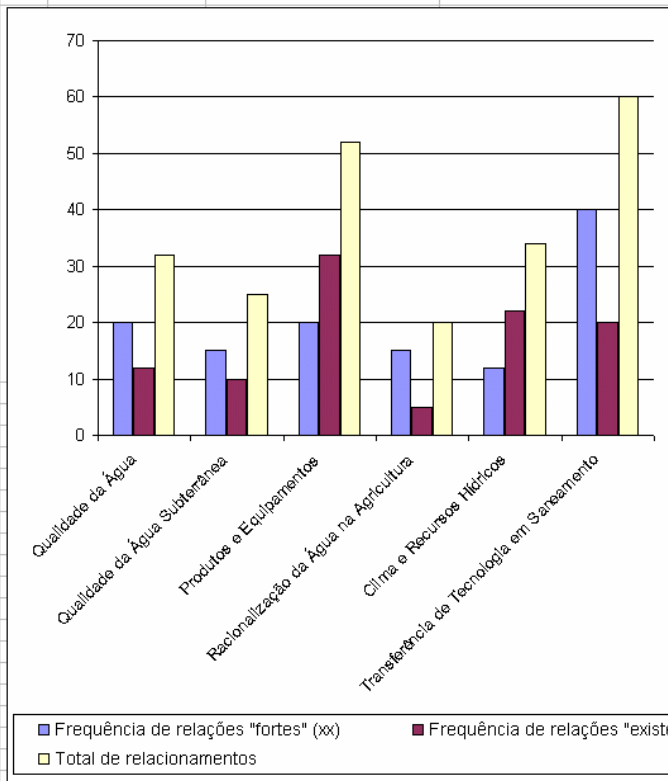
	Tema	Subtema	Tópico	Ano	N	QA	QS	FE	RA	C	S
169	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso prático das técnicas da geologia regional, aplicadas para o melhor entendimento da relação entre geologia, planejamento territorial e recursos hídricos superficiais e subterrâneos	2005	6	x	x				
170	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso prático das técnicas da hidrogeologia, aplicadas ao melhor entendimento do movimento da água em meios porosos, zonas de carga e recarga de aquíferos, e avaliação de bacias hidrográficas	2005	7		xx				
171	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Desenvolvimento de tecnologias de irrigação de baixo custo e economia de água	2005	9				xx		
172	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Estudos de efluentes de minas incluindo drenagem ácida	2005	3						
173	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Desenvolvimento de técnicas de controle de erosão urbana e rural, utilizando o conhecimento integrado da análise geomorfológica	2005	14						
174	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso prático da Modelagem Digital de Terreno para recuperação e simulação do sistema de drenagem e de projetos de irrigação	2005	6				x		
175	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Dimensionamento econômico de sistemas de irrigação	2006	4				x		
176	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Elucidação das técnicas de interpretação geológica que possam ser utilizadas para o melhor entendimento da relação entre a dinâmica da biota e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos	2007	7	x	x				
177	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso amplo de sistemas de informação geográficas aplicadas ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos	2007	16			x			
178	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Desenvolvimento de técnicas de prevenção e controle de processos erosivos em bacias hidrográficas	2007	15						
179	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso prático das técnicas de interpretação de fotografias aéreas para o diagnóstico do uso do território e dos aspectos ecológicos em bacias hidrográficas	2007	13						
180	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Desenvolvimento de indicadores hidrológicos para o monitoramento da qualidade ambiental do manejo florestal	2007	3	x	x				
181	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação	2007	6				x		
182	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Procedimentos, equipamentos e técnicas para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação por superfície	2007	3				x		
183	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Racionalização do uso da água na agricultura visando proteger o meio ambiente	2007	9				xx		
184	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso prático das técnicas da geomorfologia, aplicadas para o melhor entendimento da conformação, relevo e uso do solo em bacias hidrográficas	2008	8	x					
185	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Elucidação do rendimento da exploração da pesca em águas interiores	2008	2						
186	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso prático da teoria da sedimentologia, aplicada à prevenção e correção do assoreamento de rios, lagoas e reservatórios	2009	6						
187	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Uso amplo de técnicas de recuperação de matas ciliares	2009	8						
188	Recursos Hídricos	Uso do solo e os sistemas hídricos	Recuperação de solos degradados	2009	14						
189	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Elucidação de modelos morfológicos de sistemas fluviais como apoio à navegação	2003	1						
190	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Uso de bactérias para o controle de poluição de efluentes provenientes da aquicultura	2005	1						
191	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Desenvolver programas de operação de barragens hidrelétricas com vistas ao uso múltiplo dos rios, particularmente da navegação	2005	5						



	Tema	Subtema	Tópico	Ano	N	QA	QS	FE	RA	C	S
192	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Simulação da Operação Hidráulica de Sistemas de Reservatórios de Usos Múltiplos	2005	1						
193	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Gerenciamento dos usos múltiplos em reservatórios de hidrelétricas	2005	5						
194	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Desenvolvimento de tecnologias para o cultivo de peixes de água doce e água do mar, em cativeiro	2006	3						
195	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Levantamento dos Recursos Pesqueiros nos Reservatórios do Sistema Elétrico	2006	2						
196	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Desenvolvimento tecnológico do manejo e conservação dos recursos pesqueiros de águas interiores	2007	2						
197	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Desenvolvimento tecnológico na construção de eclusas com grande altura	2007	1						
198	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Desenvolver sistemas de segurança operacional e meio ambiente aplicados ao manejo de cargas tóxicas em terminais hidroviários, comboios fluviais e rotas de navegação fluvial	2007	2						
199	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Efeitos possíveis de mudanças climáticas sobre a produção de energia hidrelétrica no Brasil	2007	2					xx	
200	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Uso prático de técnicas de análise de risco, gerenciamento de risco e atendimento de situações de crise para a proteção de recursos hídricos da bacia hidrográfica em que o modal se insere	2008	3						
201	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Elucidação dos mecanismos fisiológicos de contaminação e toxicidade dos poluentes orgânicos e inorgânicos na biota aquática	2008	5	x					
202	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Análise do Transporte Intermodal	2008	2						
203	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Cálculo da capacidade suporte ambiental para a sustentação de empreendimentos aquícolas	2008	2				x		
204	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Elucidação dos fatores que afetam o manejo e a conservação dos recursos pesqueiros de águas interiores	2009	2						
205	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Elucidação dos mecanismos do cultivo de peixes de água doce e água salgada, em cativeiro	2009	2						
206	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Desenvolvimento tecnológico de sistemas de monitoramento da qualidade e quantidade das águas em terminais hidroviários	2009	4	x		x			
207	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Estudos de containerização e unitização da cargas que permitam o desenvolvimento regional ao longo das hidrovias, com vistas ao escoamento de cargas de maior valor agregado, abastecimento regional, exportação etc.	2009	1						
208	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Reuso da água na aquíicultura	2011	1						
209	Recursos Hídricos	Uso integrado dos sistemas hídricos	Uso amplo das experiências na área da produção de energias (principalmente elétrica em PCHs), segundo um planejamento microrregional	2012	2						
210	Recursos Hídricos	Variabilidade climática e os sistemas hídricos	Desenvolver detecção de mudanças climáticas por métodos estocásticos	2007	7					xx	
211	Recursos Hídricos	Variabilidade climática e os sistemas hídricos	Aquecimento global e seus impactos	2009	18					xx	
212	Recursos Hídricos	Variabilidade climática e os sistemas hídricos	Estudo sistematizado de interação oceano atmosfera, principalmente Oceano Atlântico e Pacífico.	2009	13					xx	
213	Recursos Hídricos	Variabilidade climática e os sistemas hídricos	Métodos e técnicas de medidas das variáveis atmosféricas e oceânicas à superfície	2010	9					xx	

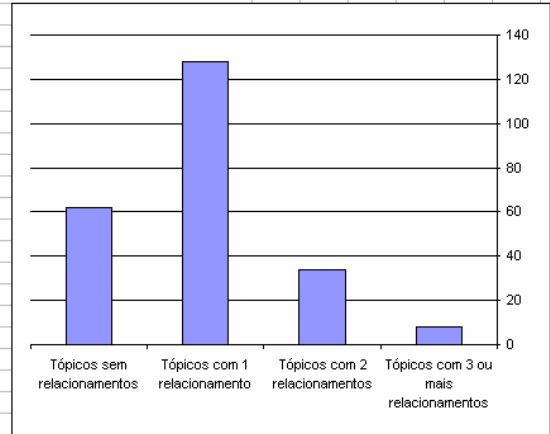
	<i>Tema</i>	<i>Subtema</i>	<i>Tópico</i>	<i>Ano</i>	<i>N</i>	<i>QA</i>	<i>QS</i>	<i>FE</i>	<i>RA</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
214	Energia	Meio Ambiente e Reciclagem	DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO DE TRATAMENTO PARA REMOÇÃO DA TOXICIDADE DE EFLUENTES HÍDRICOS.	2007	14						xx
215	Energia	Meio Ambiente e Reciclagem	DESENVOLVIMENTO DE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E RESÍDUOS.	2007	11						xx
216	Energia	Meio Ambiente e Reciclagem	DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS.	2007	19						x
217	Energia	Meio Ambiente e Reciclagem	DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO DE MÉTODOS ELETROQUÍMICOS PARA O TRATAMENTO E/OU RECICLAGEM DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.	2007	10						x
218	Energia	Meio Ambiente e Reciclagem	DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA O MONITORAMENTO, DIAGNÓSTICO E RECUPERAÇÃO DOS MANANCIAIS CONTAMINADOS PELOS DERIVADOS DE PETRÓLEO.	2008	13						x
219	Energia	Meio Ambiente e Reciclagem	USO AMPLO DE REMEDIAÇÃO DE SOLO, SUBSOLO, ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ÁREAS COSTEIRAS CONTAMINADAS.	2011	11						
220	Agropecuária	Pesca e Aqüicultura	Desenvolvimento de tecnologias para avaliar impactos ambientais em águas continentais ou marinhas, de cultivos ou exploração de organismos aquáticos nativos ou exóticos.	2007	29						
221	Agropecuária	Pesca e Aqüicultura	Desenvolvimento de códigos de conduta com base em boas práticas de manejo para assegurar a qualidade da água, do solo e do recurso pesqueiro em sistemas aquícolas e seus efluentes de produção.	2007	31						
222	Agropecuária	Pesca e Aqüicultura	Desenvolvimento de técnicas para o aproveitamento da água residual de viveiros aquícolas para cultivo de espécies alternativas e captação de nutrientes utilizáveis para adubação de solo e fabricação de rações.	2007	21						
223	Agropecuária	Pesca e Aqüicultura	Desenvolvimento de técnicas de purificação de águas servidas através da utilização de algas de águas continentais.	2007	20						x
224	Agropecuária	Pesca e Aqüicultura	Elucidação das condições para o cultivo de espécies nativas e exóticas em águas residuais, oriundas de efluentes de unidades dessalinizadoras.	2009	15						
225	Agropecuária	Recursos Naturais e Meio Ambiente	Desenvolvimento de tecnologias para avaliação e monitoramento da qualidade e quantidade, uso e manejo de água nos diferentes ecossistemas.	2009	66	x		x			
226	Agropecuária	Recursos Naturais e Meio Ambiente	Uso prático de métodos de conservação e recuperação de solo e fontes de água, dentro de bacias hidrográficas, visando conciliar agricultura e "produção" de água visando a sustentabilidade do sistema agropecuario.	2009	65				x		
227	Agropecuária	Recursos Naturais e Meio Ambiente	Desenvolvimento de técnicas de recuperação e manutenção dos ecossistemas aquáticos e áreas adjacentes que interagem com os recursos pesqueiros.	2011	33						
228	Agropecuária	Recursos Naturais e Meio Ambiente	Uso prático de sistema para remoção da carga poluente em lagos, baías e outros corpos aquáticos, aplicando tecnologias de restauração ambiental que utilizem funções ecossistêmicas e biológicas.	2011	42				x		x
229	Saúde	Ambiente e Saúde	Uso amplo de técnicas de tratamento da água e de água para uso médico	2006	12						xx

	<i>Tema</i>	<i>Subtema</i>	<i>Tópico</i>	<i>Ano</i>	<i>N</i>	<i>QA</i>	<i>QS</i>	<i>FE</i>	<i>RA</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
230	Saúde	Ambiente e Saúde	Desenvolvimento de técnicas simplificadas de saneamento e tratamento de resíduos urbanos, industriais e hospitalares	2007	26						xx
231	Saúde	Ambiente e Saúde	Desenvolvimento de metodologia para avaliação dos níveis de contaminação de alimentos e água por agentes nocivos	2007	31						xx
232	Saúde	Ambiente e Saúde	Uso amplo de tecnologia de esgoto sanitário não convencional a custo reduzido	2009	14						xx



	<i>Qualidade de Água</i>	<i>Qualidade de Água Subterrânea</i>	<i>Produtos e Equipamentos</i>	<i>Racionalização da Água na Agricultura</i>	<i>Clima e Recursos Hídricos</i>	<i>Transferência de Tecnologia em Saneamento</i>	
Frequência de relações "fortes" (xx)	20	15	20	15	12	40	122
Frequência de relações "existentes" (x)	12	10	32	5	22	20	101
Total de relacionamentos	32	25	52	20	34	60	223

Tópicos com 3 ou mais relacionamentos	8
Tópicos com 2 relacionamentos	34
Tópicos com 1 relacionamento	128
Tópicos sem relacionamentos	62



COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Como em qualquer consulta ampla a um público amplo, toda proposição geral tende a ser também mais amplamente aceita. Isso explica a presença de alguns tópicos mais genéricos entre os de maior destaque. Entretanto, formulações mais específicas apareceram também na lista indicando que foram percebidas como importantes pelos respondentes.

O ponto forte da avaliação prospectiva realizada pelo Prospectar é a visão de conjunto que ela proporciona, a partir da qual pode-se enveredar no detalhe com maior segurança. É importante, neste sentido, fazer a leitura correta dos resultados obtidos. Trata-se da síntese da opinião de muitas pessoas que, se por um lado, merece ser considerada, por outro, também é marcada por insuficiências e particularidades. A visão de conjunto que emerge dos resultados do Prospectar pode não ser a "melhor" visão, mas certamente é uma visão "real" do estágio (coletivo) de entendimento e julgamento das questões tecnológicas referentes aos recursos hídricos.

Assim sendo, a lista apresentada acima não deve ser tomada como definitiva e tampouco como referência exclusiva. Ela indica pistas para investigação e aprofundamento e, principalmente, sobre os pontos em comum sobre os quais poder-se-á construir uma agenda mais ampla sobre a área no país.

A Matriz de cruzamento entre os Tópicos Relevantes e os Estudos propostos pelo CGEE e as tabelas exaustivas de cruzamento apresentadas mostram que existe uma boa cobertura dos tópicos nos recortes escolhidos pelos Documentos de Referência, bem como boas oportunidades de sinergias entre eles.