

Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários



Hidrogênio energético no Brasil

Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários



Hidrogênio energético no Brasil

Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Organização Social supervisionada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência e Tecnologia. Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

PRESIDENTA

Lucia Carvalho Pinto de Melo

DIRETOR EXECUTIVO

Marcio de Miranda Santos

DIRETORES

Antônio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

EDIÇÃO E REVISÃO | *Tatiana de Carvalho Pires*

DESIGN GRÁFICO | *Eduardo Oliveira*

DIAGRAMAÇÃO | *Camila Maia*

C389h

Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025; Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

68 p.; il, 21 cm (Série Documentos Técnicos, 7)

1. Energia. 2. Economia. 3. Desenvolvimento. I. CGEE. II. Título.

CDU 662.769.2

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgEE.org.br>

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão CGEE – 15º Termo Aditivo/Ação: Tecnologias Críticas e Sensíveis em Setores Prioritários – Subação: Hidrogênio II - 51.21.4/MCT/2009.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

Sugestão de citação: CGEE, título, autoria, ano de publicação, CGEE: Brasília.

Impresso em 2010.

Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários



Hidrogênio energético no Brasil

Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025

SUPERVISÃO GERAL

Fernando Cosme Rizzo Assunção

CONSULTORIA

Paulo Fabrício Palhavam Ferreira (Hytron)

EQUIPE TÉCNICA CGEE

Elyas Ferreira de Medeiros (coordenador)

Ceres Zenaide Barbosa Cavalcanti

Demétrio Antônio da Silva Filho



cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



COLABORADORES DESTE TRABALHO

Adonis M. Saliba-Silva, IPEN

Ailton de Souza Gomes, UFRJ

Ana Maria Rocco, UFRJ

André Luis Furlan, Hytron

Antonio Carlos Dias Ângelo, UNESP

Antonio José Marin Neto, Hytron

Artur José Santos Mascarenhas, UFBA

Carla Eponina Hori, UFU

Cesar Augusto Moraes de Abreu, UFPE

Cristiano da Silva Pinto, CENEH

Daniel Gabriel Lopes, Hytron

Edson Bazzo, UFSC

Edson A Ticianelli, USP

Eduardo T. Serra, Cepel

Emília Satoshi Miyamaru Seo, IPEN

Ennio Peres da Silva, Unicamp

Estevam V. Spinacé, IPEN

Fábio Bellot Noronha, INT

Fábio Coral Fonseca, IPEN

Gerhard Ett, Electrocell

Gilmar Clemente Silva, UFF

Heloyza Martins Carvalho Andrade, UFBA

João Carlos Camargo, Hytron

João Guilherme Rocha Poço, IPT

Joelma Perez, USP

José Amaral Peixoto Neves, Energo Brasil

José Antenor Pomilho, Unicamp

José Geraldo de Melo Furtado, Cepel

Luciana Almeida da Silva, UFBA

Luiz Antônio Magalhães Pontes, UFBA

Marcelo Linardi, IPEN

Maria do Carmo Rangel, UFBA

Mariana de Mattos Vieira Mello Souza, UFRJ

Martin Schmal, COPPE

Maurício Pereira Cantão, Lactec

Mauricio Moszkowicz, MPX Energia

Newton Pimenta Neves Jr., Unicamp/ CENEH

Rafael Amaral Shayani, UnB

Renan Tavares Figueiredo, UNIT

Roberto Cordaro, Nuvera Fuel Cells, Inc.

Sérgio Pinheiro de Oliveira, INMETRO

Sílvio Carlos A de Almeida, UFRJ

Túlio Matencio, UFMG

Vanessa de Freitas Cunha Lins, UFMG

Waldir F. Quirino, MMA

Walter Issamu Suemitsu, UFRJ

Willian Becker, Linde Gases



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO À TECNOLOGIA DO HIDROGÊNIO	10
PROPOSTA CENTRAL N° 1	
INCENTIVOS À ECONOMIA DO HIDROGÊNIO	14
Ambiente internacional	14
Ambiente nacional	15
Considerações sobre a economia do hidrogênio	17
Gargalos e propostas	18
PROPOSTA CENTRAL N° 2	
INCENTIVOS À PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO	25
Ambiente internacional	25
Ambiente nacional	25
Considerações sobre a produção de hidrogênio	26
Gargalos e propostas	27
PROPOSTA CENTRAL N° 3	
INCENTIVOS AO DESENVOLVIMENTO DA LOGÍSTICA DO HIDROGÊNIO	33
Ambiente internacional	33
Ambiente nacional	34



PROPOSTA CENTRAL N° 4	
INCENTIVOS AOS SISTEMAS DE UTILIZAÇÃO DO HIDROGÊNIO	40
Ambiente internacional	40
Ambiente nacional	41
Gargalos e propostas	43
QUADRO SÍNTESE DE RECOMENDAÇÕES	49
Economia do hidrogênio	49
Produção do hidrogênio	51
Logística do hidrogênio	52
Sistemas de utilização do hidrogênio	53
DOCUMENTOS CGEE EM HIDROGÊNIO	54
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	54
COLABORADORES ESPECIALISTAS QUE APRESENTARAM SUGESTÕES AO TEXTO DESTE DOCUMENTO	56
COLABORADORES DE AGÊNCIAS PÚBLICAS E PRIVADAS QUE PARTICIPARAM NOS DEBATES DESTE DOCUMENTO	65



APRESENTAÇÃO

Em linhas gerais, a expressão economia do hidrogênio tem sido utilizada para descrever um novo paradigma econômico baseado no hidrogênio como vetor energético e não mais numa economia dependente quase exclusivamente de recursos não-renováveis, como o petróleo e seus derivados.

Segurança energética e a redução dos impactos ambientais constituem os principais motivadores para a mudança de paradigma do setor energético. A segurança energética é evidenciada uma vez que a possibilidade de obtenção de hidrogênio de várias fontes permite privilegiar as fontes locais de cada país diminuindo ou evitando a importação de energia. Os impactos ambientais diminuem, já que a utilização do hidrogênio para geração de energia elétrica através de célula a combustível não produz gás de efeito estufa produzindo apenas água como subproduto. As emissões também são significativamente reduzidas na queima do hidrogênio em motores de combustão interna ou queimadores para a geração de calor.

No entanto há certo consenso na comunidade internacional que a transição da infraestrutura energética atual para uma infraestrutura baseada no hidrogênio e outros combustíveis alternativos levará décadas, pois barreiras técnicas, econômicas e institucionais deverão ser suplantadas. Os sistemas de produção, armazenamento, transporte, distribuição e conversão do hidrogênio ainda enfrentam gargalos tecnológicos e econômicos. Tecnologias de produção de hidrogênio como a reforma de combustíveis em pequena escala e a eletrólise da água, o armazenamento de hidrogênio gasoso em pressões elevadas ou em materiais sólidos adsorvedores, a conversão do gás em energia elétrica, seja em células a combustível ou em motores de combustão interna ou turbinas, demandam esforços e investimentos elevados em todo o mundo.

No Brasil, cujos recursos naturais renováveis são abundantes e cuja matriz energética possui elevada participação de fontes energéticas renováveis, o desenvolvimento de tecnologias para a economia do hidrogênio certamente contribuirá para uma utilização mais eficiente dessas fontes energéticas, além de possibilitar uma participação importante no mercado mundial de equipamentos e serviços relacionados às energias renováveis e ao hidrogênio. Dessa forma, o engajamento do país na corrida para a implantação da economia do hidrogênio é altamente estratégico dos pontos de vista econômico, tecnológico e ambiental.



Este documento propositivo oferece, aos tomadores de decisão, subsídios para definir ações político-institucionais, que em consonância com a visão de demanda futura e com principais pensamentos estratégicos de especialistas, tenham elevado potencial para promover o estabelecimento e a sustentabilidade das tecnologias do hidrogênio no país. O documento foi produzido pela equipe técnica do CGEE, servida por ampla base de especialistas, encarregada da liderança do estudo denominado Estudos, Análises e Avaliações; para a Ação N.º. 21, Tecnologias Críticas e Sensíveis em Setores Prioritários; e Sub-ação N.º. 04, Hidrogênio II.

Cabe ressaltar ainda que este estudo oferece aos formuladores de políticas públicas elementos e instrumentos que podem balizar as ações governamentais que estão em fase de estruturação e que tem o foco nas tecnologias do hidrogênio.

Desta forma, a equipe técnica do estudo coordenou a participação (em oficinas de trabalho e em consultas eletrônicas) de dezenas de pesquisadores e executivos de instituições de governo e de empresas para chegar à síntese que aqui se apresenta no formato de propostas em quatro frentes de atuação:

1. Recomendações gerais para o incentivo à economia do hidrogênio;
2. Recomendações para o incentivo à produção do hidrogênio;
3. Recomendações para o incentivo ao desenvolvimento da logística do hidrogênio;
4. Recomendações para o incentivo aos sistemas de utilização do hidrogênio.

Essas linhas centrais propositivas são desdobradas em recomendações para o incentivo e desenvolvimento das tecnologias do hidrogênio apresentando ações para o estabelecimento de uma agenda tecnológica, voltada à pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico; e ações para o estabelecimento de uma agenda de inovação, voltada para o incentivo ao desenvolvimento industrial dessas tecnologias.

As propostas apresentadas têm o horizonte de 15 anos; onde, para efeito deste documento, deve-se considerar:

Ações de curto prazo: 0 a 5 anos;

Ações de médio prazo: 5 a 10 anos;

Ações de longo prazo: 10 a 15 anos.



Ainda que apresente propostas limitadas a algumas áreas das tecnologias do hidrogênio, saliente-se que não se esgotam aqui os debates sobre o estabelecimento de uma estratégia nacional diante das oportunidades dessas tecnologias.

Finalmente, o estudo apresenta a percepção de enormes oportunidades para o Brasil, sendo que o incentivo destas tecnologias por meio de instituições governamentais e empresariais deve propiciar ganhos consideráveis na forma de:

- Diminuição de impactos ambientais na geração e utilização de energia;
- Aumento da segurança energética;
- Melhoria do aproveitamento dos recursos naturais;
- Desenvolvimento regional;
- Desenvolvimento de parque industrial competitivo;
- Geração de empregos.



INTRODUÇÃO À TECNOLOGIA DO HIDROGÊNIO

Atualmente, pode-se observar um crescimento no número de especialistas que relacionam o aumento da emissão de gases de efeito estufa, como por exemplo, o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), ao aumento da temperatura média anual da biosfera do planeta, fenômeno conhecido como aquecimento global. Este fator, associado à redução das reservas de fontes fósseis de energia, ao aumento do preço do petróleo e da demanda energética mundial, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, Índia e China, têm incentivado a utilização de fontes renováveis de energia.

O elevado potencial das fontes renováveis no mundo evidencia a oportunidade em se utilizar aquelas com menores impactos ambientais, em particular no Brasil, onde os potenciais hidráulico, solar e eólico são elevados e o etanol da cana-de-açúcar é produzido a preços competitivos.

Neste mesmo sentido, a aplicação das tecnologias do hidrogênio é considerada por muitos especialistas como uma alternativa à utilização dos atuais combustíveis fósseis nos transportes, já que se trata de uma opção que apresenta baixíssimos impactos ambientais locais. Entretanto, o hidrogênio não é encontrado na natureza na forma livre, devendo ser produzido por algum processo, uma vez que ele se encontra normalmente ligado a algum outro elemento ou composto químico.

A utilização do hidrogênio como um vetor energético produzido a partir de biomassas e bio-combustíveis (como o etanol) ou utilizando a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis (hidráulica, eólica e solar fotovoltaica), transformando eletricidade em energia transportável e armazenável, vem sendo avaliada como uma das formas mais eficientes e ambientalmente interessantes, principalmente quando associada à utilização de células a combustível¹ para con-

¹ Uma célula combustível é uma célula eletroquímica, basicamente uma bateria em que é consumido um combustível e é liberada energia. É considerada uma bateria em que os reagentes são alimentados continuamente. Os reagentes típicos são o hidrogênio e o oxigênio. O hidrogênio é fornecido do lado do anodo e o oxigênio do lado do catodo.

versão do hidrogênio em energia elétrica. Esta característica do hidrogênio, que é a possibilidade de sua produção através de diversos insumos e processos, colocam-no como um elemento de integração entre diversas tecnologias, como pode ser observado na Figura 1.

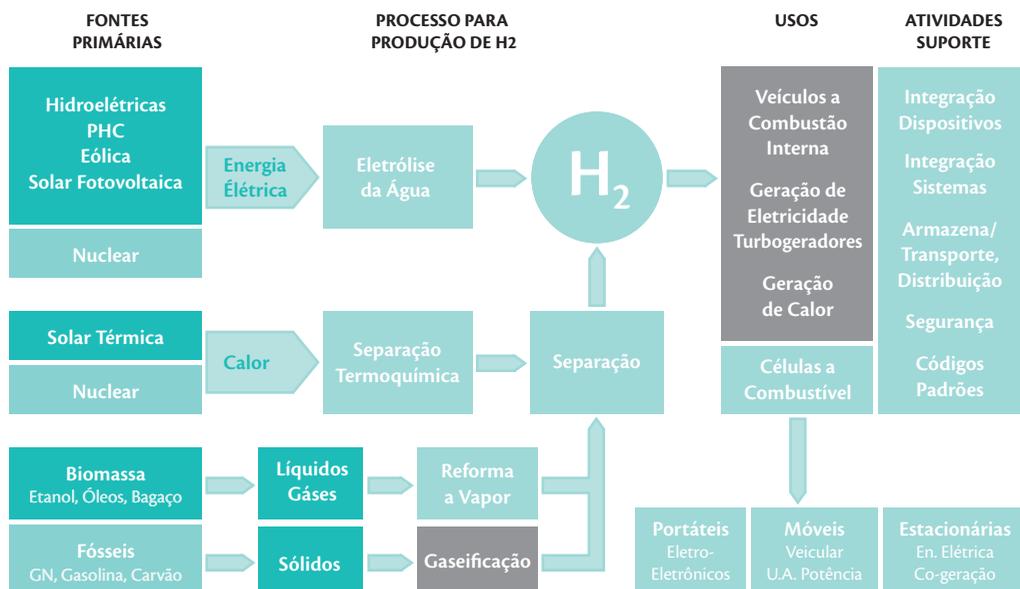


Figura 1: Possíveis rotas para produção e utilização do hidrogênio como vetor energético.

Fonte: CENEH

Com relação à utilização energética do hidrogênio, esta pode ocorrer em diversos sistemas e tecnologias. Há atualmente grande interesse nas aplicações veiculares e na geração distribuída de eletricidade. A tecnologia de células a combustível para uso veicular apresenta destacada vantagem, tendo em vista as maiores eficiências desses sistemas, alcançadas pelo conjunto célula a combustível e motor elétrico e, sobretudo, emissões locais praticamente nulas.

Tratando-se de geração distribuída (GD) de potência, dispõem-se principalmente das tecnologias de motores de combustão interna, turbinas, células a combustível e sistemas híbridos turbinas/células a combustível. Todas essas tecnologias estão disponíveis numa ampla faixa de potências, de *quilowatts* a *megawatts*. Uma diferença importante entre elas está na qualidade do combustível utilizado como insumo para geração, sendo que as células a combustível tipo PEM (membrana eletrolítica polimérica) são muito exigentes com relação à presença de impurezas no hidrogênio.

Células a combustível podem utilizar hidrogênio, metano, gás natural ou álcoois (como metanol e etanol) para geração de potência na ordem de *watts*. Mesmo para *quilowatts*, células a combustível ainda são mais eficientes que os motores de combustão interna, e ainda apresentam a possibilidade de cogeração de calor em sistemas de pequeno porte, que são praticamente isentos de ruídos sonoros.

Para potências da ordem de centenas de *quilowatts*, a existência de microturbinas e motores de combustão interna são alternativas competitivas na cogeração de eletricidade e calor, podendo operar com gás oriundo do processo de gaseificação cuja rota de produção permite o aproveitamento de resíduos para geração eficiente de energia. Isso é ressaltado em maior vulto, quando a operação em ciclo combinado (células a combustível/turbogeradores a gás) é viabilizada, gerando dezenas ou centenas de *megawatts*.

As maiores potências das células a combustível estão na faixa de *megawatts*, todavia para operação com gás natural ou, num contexto renovável, biogás. Sistemas cogenerando eletricidade e calor possuem melhor desempenho quando comparados aos motores de combustão interna ou turbinas de mesmo porte.

Diversos grupos brasileiros de PD&I sediados em universidades e centros de tecnologia têm contribuído para o desenvolvimento das tecnologias de hidrogênio, como foi observado nos estudos já realizados para a identificação do potencial e das competências desses grupos. Nota-se nesses estudos que há uma concentração de esforços nas áreas de: i) células a combustível de membrana condutora de prótons (PEMFC); ii) células a combustível de óxido sólido (SOFC) e; iii) catalisadores e sistemas para reforma de etanol. Também fica evidenciado que, apesar dos esforços já realizados, será necessário aumentar significativamente os investimentos, tornar mais eficiente a utilização dos recursos financeiros disponíveis e melhorar a coordenação das atividades dos grupos² de pesquisa envolvidos, principalmente na organização dos resultados obtidos e na continuidade dos trabalhos, em busca da solução dos gargalos tecnológicos.

A razão para tal concentração de esforços em PEMFC, SOFC e reforma de etanol é resultado das competências já existentes no país na ocasião do lançamento do PROCaC, primeiro programa do MCT para o hidrogênio, em 2002, atualmente denominado ProH₂ - Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio. Diversos grupos de pesquisa

2 CGEE. Hidrogênio Energético – Cenário Atual. 224p. Relatório final. Brasília, DF. Jun/2009.

já desenvolviam trabalhos em eletroquímica, sistemas de produção eletrolítica de hidrogênio, novos materiais e óxidos cerâmicos, desenvolvimento de catalisadores para processos termoquímicos, entre outros. O crescente interesse internacional nessas tecnologias acabou por atrair ainda mais grupos de pesquisa em áreas correlatas.

Com base no desenvolvimento do setor acadêmico, diversas empresas de base tecnológica surgiram no Brasil para transformar P&D em novos produtos, ainda que estes produtos se restrinjam atualmente a projetos de demonstração de protótipos ou a aplicações em pequenos nichos de mercado.

Deve-se ressaltar que, mesmo antes desta perspectiva comercial de aplicação energética do hidrogênio em células a combustível, já são produzidos mundialmente cerca de 40 milhões de toneladas do gás hidrogênio por ano; número que tende a dobrar a cada década³. Os maiores responsáveis por este crescimento são as refinarias de petróleo, que utilizam o hidrogênio para produzir combustíveis a partir do hidrocrackeamento do petróleo, a utilização do hidrogênio na fabricação de fertilizantes, na indústria alimentícia, no processo de fabricação de semicondutores, dentre outras; sendo que 95% deste hidrogênio é produzido a partir de fontes fósseis⁴.

Os documentos oficiais dos países envolvidos na implantação da economia do hidrogênio permitem a identificação dos principais motivadores para o estabelecimento das tecnologias relacionadas à utilização energética do hidrogênio. Tais motivadores estão claramente associados às características do hidrogênio como vetor energético que incluem produção a partir de fontes diversas e utilização envolvendo baixíssimos impactos ambientais.

Desta forma, fica evidente que os principais países que demonstram interesse na implantação dessa nova economia são aqueles que apresentam uma maior demanda energética, e por consequência, os maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa. A economia do hidrogênio também é uma solução para a questão de segurança energética causada pela grande dependência energética desses países por combustíveis fósseis importados, além de ser uma alternativa estratégica em países que possuem outras fontes de energia.

No Brasil, as ações a serem conduzidas para a implantação da economia do hidrogênio são identificadas de acordo com as perspectivas descritas a seguir.

³ International Energy Agency – IEA, Prospects for Hydrogen and Fuel Cells 2005.

⁴ (TOLMASQUIM, 2003)



PROPOSTA CENTRAL Nº 1

INCENTIVOS À ECONOMIA DO HIDROGÊNIO

Ambiente internacional

Por iniciativa dos Estados Unidos, através de seu Departamento de Energia (DOE), foi estabelecida em novembro de 2003 a Parceria Internacional para a Economia do Hidrogênio (IPHE), sendo esta parceria um esforço internacional com propósito de organizar e efetivamente implementar a pesquisa internacional, o desenvolvimento, as atividades de utilização comercial e demonstração, relacionadas ao hidrogênio e a tecnologia das células a combustível. Além disso, a IPHE foi concebida para ser um fórum para políticas avançadas, normas e padronizações técnicas comuns que podem acelerar a transição a custo efetivo para uma economia do hidrogênio e educar e informar os interessados e o público em geral dos benefícios e desafios, integrando as tecnologias relacionadas ao hidrogênio no mercado. Dezesesseis parceiros formaram originalmente a IPHE: Alemanha, Austrália, Brasil, Canadá, China, Comissão Européia, Federação Russa, Estados Unidos, França, Índia, Islândia, Itália, Japão, Noruega, República da Coreia, e o Reino Unido. Mais tarde juntou-se à parceria a Nova Zelândia e, mais recentemente, a África do Sul.

Por meio da assinatura dos termos de cooperação, os parceiros têm se comprometido a, juntos, acelerar o desenvolvimento das tecnologias do hidrogênio e das células a combustível, buscando a melhoria da segurança energética, de padrões ambientais e promoção da economia. Os governos integrantes dessa parceria internacional, incluindo o Brasil, patrocinaram a elaboração de roteiros dedicados à economia do hidrogênio, tendo como público alvo os próprios governos e as indústrias locais.

Os principais motivadores elencados pelos países para a elaboração de seus roteiros foram: a redução das emissões de gases de efeito estufa e a segurança energética, seguido de outros, como o uso sustentável e mais eficiente dos combustíveis fósseis, o uso de energia de menor impacto ambiental, benefícios econômicos, novas indústrias, principalmente de dispositivos e equi-

pamentos de alto valor agregado, e competitividade. Além disso, os roteiros destacaram que a introdução da nova economia, nos respectivos países, possibilitaria melhor aproveitamento dos recursos energéticos locais e a identificação de novos nichos de mercado.

Por essas razões, as seguintes ações têm sido executadas em várias partes do mundo:

- Atuação conjunta de entidades governamentais e empresas privadas para o desenvolvimento da economia do hidrogênio;
- Investimento público e privado contínuo nas diversas áreas (pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento, demonstração e mercado) e nas diversas tecnologias de hidrogênio;
- Execução de inúmeros projetos de demonstração das tecnologias de hidrogênio patrocinados pelos governos centrais com o intuito de se verificar a viabilidade técnica, ambiental e econômica, além de dar visibilidade pública às tecnologias e incentivar a demanda por produtos e pela criação da infraestrutura necessária;
- Criação de políticas e programas nacionais e internacionais para a introdução da economia do hidrogênio em escala global;
- Criação e harmonização de códigos, normas e padrões para as tecnologias e a infraestrutura de hidrogênio.

Ambiente nacional

O principal documento do Ministério de Minas e Energia (MME) para o uso energético do hidrogênio, denominado Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil (2005), considera que as seguintes premissas devem nortear a criação de um modelo de desenvolvimento de mercado para o hidrogênio:

- Diversificação da matriz energética brasileira com crescente participação dos combustíveis renováveis;
- Redução de impactos ambientais, principalmente aqueles oriundos da poluição atmosférica em grandes centros urbanos;
- Redução da dependência externa de combustíveis fósseis ;



- Produção de hidrogênio a partir do gás natural, nos próximos dez anos;
- Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis de energia, com ênfase na utilização do etanol;
- Desenvolvimento de base tecnológica para auferir confiabilidade aos consumidores, e;
- Planejamento da participação da indústria nacional de bens e serviços no desenvolvimento da nova economia.

O Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH₂, 2002) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) contempla as seguintes diretrizes gerais:

- Criação e operação de redes cooperativas de PD&I abrangendo universidades, institutos de pesquisa, centros de pesquisa, incubadoras e empresas;
- Apoio para a revitalização e melhoria da infraestrutura de pesquisa das instituições envolvidas no ProH₂;
- Fomento à formação e treinamento de recursos humanos, com ênfase à pós-graduação no Brasil e aperfeiçoamento em centros de excelência no Brasil e no exterior;
- Implantação de projetos de demonstração de diferentes sistemas de células a combustível e de tecnologias de produção de hidrogênio, com prioridade para as tecnologias desenvolvidas no ProH₂;
- Implementação de projetos de demonstração integrados que privilegiem o uso de combustíveis renováveis nacionais, com ênfase especial à reforma do etanol;
- Fomentar o estabelecimento de normas e padrões para certificação dos produtos, processos e serviços relativos às tecnologias de hidrogênio e células a combustível;
- Manutenção e disponibilização de informações sobre os grupos de pesquisa, infraestrutura, projetos e empresas envolvidas com as tecnologias do hidrogênio no Brasil.

Considerações sobre a economia do hidrogênio

O Brasil é líder em PD&I em tecnologias de hidrogênio na América Latina, dispondo de diversos grupos de pesquisa e empresas de base tecnológica. Entretanto, existe uma deficiência na formação e fixação de recursos humanos nas instituições de PD&I devido, principalmente, ao fato de que boa parte dos trabalhos realizados dependem de mão de obra qualificada composta de alunos de mestrado e doutorado que deixam suas instituições ao final do período de suas bolsas.

Os investimentos brasileiros, de origem pública e privada, em tecnologias de hidrogênio, entre 1999 e 2007, totalizaram cerca de R\$ 134 milhões, o que corresponde de 25% a 35% dos investimentos individuais realizados por Rússia, Índia, China ou Coreia do Sul, e de apenas 3% a 5% dos investimentos de Japão, União Européia ou EUA. Além do volume financeiro notadamente inferior as dificuldades burocráticas impedem uma utilização eficiente dos recursos. O pequeno volume de investimentos na área, entre outros efeitos, impede a criação de laboratórios ou instituições de pesquisa nacionais capacitados a certificar todos os equipamentos e processos desenvolvidos na indústria ou a oferecer treinamento certificado em operação e segurança. O Inmetro, que desenvolve programas de avaliação da conformidade reconhecidos internacionalmente – que geram, entre outros produtos, a certificação e a etiquetagem –, já poderia se inserir neste contexto de necessidade de certificação. Além disso, há a necessidade do apoio aos programas de Tecnologia Industrial Básica (TIB), uma vez que o Brasil já está atingindo um maior patamar na área de hidrogênio, com a necessidade de maior desenvolvimento da pesquisa aplicada e das etapas seguintes, de demonstração e comercialização de bens ligados ao hidrogênio energético. Isso ocorreria com um suporte maior à cadeia “metrologia, normalização, regulamentação técnica e avaliação da conformidade”, estando incluído também o aumento da confiabilidade metrológica nas medições em sistemas de células a combustível. Da mesma maneira existe um volume insuficiente de normas e padrões nacionais relacionados à utilização energética do hidrogênio. As normas existentes são traduções de normas ISO e IEC, que possuem poucas contribuições efetivas do Brasil, embora hoje a ABNT seja membro votante na comissão técnica de hidrogênio da ISO e observadora da IEC.

Embora haja grande sinergia entre as áreas, não existem programas conjuntos sobre a utilização de fontes renováveis alternativas de geração de energia elétrica (solar fotovoltaica, eólica, gaseificação de biomassa) e utilização de hidrogênio e células a combustível. No Brasil praticamente inexistem projetos de demonstração acerca das tecnologias de hidrogênio, seja com células a combustível, com sistemas híbridos ou no segmento de produção e armazenamento de hidro-

gênio. Tais projetos são fundamentais para conferir visibilidade às tecnologias consideradas e possibilitam ainda a avaliação de sistemas e seus componentes em situações reais e em testes de longa duração. Desta forma, existe pouca ou nenhuma disseminação pública de informações sobre a tecnologia do hidrogênio, seus pontos positivos, negativos e impactos, afetando a receptividade social acerca dessas tecnologias.

Os projetos de demonstração podem melhorar a interação entre grupos de P&D e empresas da área de tecnologias do hidrogênio, incentivando o deslocamento da pesquisa básica em direção à pesquisa aplicada das atividades de PD&I desenvolvidas no Brasil, além de contribuir para o incremento da durabilidade (vida útil) e para redução dos custos de produção dos materiais, dispositivos, componentes e sistemas. Paralelamente, os projetos de demonstração incentivariam o desenvolvimento nacional de sistemas eletro-eletrônicos auxiliares, tais como controladores de carga, conversores CC/CA e sistemas de condicionamento de potência.

Gargalos e propostas

Gargalo E⁵1: equipamentos

Os equipamentos desenvolvidos no Brasil necessitam de ganhos de escala para se tornarem competitivos.

As empresas nacionais dedicadas ao desenvolvimento de equipamentos relacionados à tecnologia do hidrogênio são empresas de pequeno porte com grandes limitações financeiras e dificuldades em ampliar sua capacidade produtiva. Esta constatação, aliada ao fato da tecnologia do hidrogênio ainda não possuir uma ampla gama de aplicações economicamente viáveis, torna muito difícil a concorrência das empresas nacionais com empresas estrangeiras (ver Gargalo E2) mesmo nos nichos de mercado já existentes.

5 E = Economia

|| *Como ampliar a capacidade de produção das empresas nacionais visando à diminuição dos custos de produção por ganhos de escala?*

Roteiro político-institucional

Incentivar a participação das empresas de base tecnológica nacionais como fornecedoras de equipamentos para os projetos de demonstração das tecnologias de hidrogênio e, efetivamente, viabilizar a criação desses projetos de demonstração através da realização de compras governamentais. Os editais devem especificar um índice mínimo de nacionalização dos equipamentos a fim de evitar a aquisição de sistemas importados.

A realização de projetos de demonstração tem como intuito a disseminação de informações relacionadas às tecnologias do hidrogênio ao público alvo leigo. A integração de empresas às instituições de pesquisa no desenvolvimento dos projetos de demonstração deve ser um requisito para sua aprovação. Os recursos necessários à realização dos projetos podem ser oriundos dos Fundos Setoriais CT-Energ e CT-Petro, e projetos de P&D ANEEL.

Paralelamente à realização de compras governamentais deve-se ampliar a abrangência das políticas de desenvolvimento de tecnologias alternativas para geração de energia elétrica, de forma a também incentivar o desenvolvimento da tecnologia do hidrogênio.

Gargalo E2: concorrência

Empresas brasileiras concorrem com competidores internacionais altamente incentivados em seus países de origem.

O uso do hidrogênio no Brasil colabora com a ampliação do consumo de etanol e de hidroeletricidade e melhora a eficiência de utilização do petróleo e gás natural. O importante nas próximas décadas é a eficiência energética sustentável.

O avanço tecnológico das universidades e institutos de pesquisas tem sido notável, graças à competência técnica dos pesquisadores e também graças ao apoio financeiro do governo devido à elaboração da política do hidrogênio brasileira.

A expansão comercial das células a combustível no Brasil se deve, principalmente, a importação destes sistemas por universidades, empresas públicas e privadas, governo e institutos de pesquisas. Estes equipamentos são oriundos, principalmente, do Canadá, EUA, Alemanha, China e Japão. Nos últimos anos os EUA exportaram 75 mil unidades de células a combustível. Para alcançarem este nível de competitividade, as empresas sediadas nestes países receberam de seus governos e forças armadas grandes encomendas de células a combustível, sendo até hoje comum o subsídio governamental destes equipamentos.

Como incentivar a indústria brasileira, que cria empregos, emprega a mão de obra especializada recém formada em universidades, cria uma rede de fornecedores, utiliza a tecnologia nacional e ainda concorre com produtos incentivados fabricados no exterior?

Roteiro tecnológico

- Incentivar o desenvolvimento tecnológico, com o objetivo de redução de custos, incremento de vida útil e eficiência energética de componentes para viabilizar a entrada de células a combustíveis nacionais em novos nichos de mercados, contemplados os seguintes itens:
 - Membranas operadas sem necessidade de umidificação adicional e com menor custo;
 - Conjuntos membrana-eletrólito (MEĀS);
 - Catalisadores com maior tolerância a SO_x e CO;
 - Eletrônica de potência de menor custo.
- Incentivar o desenvolvimento tecnológico, com objetivo de redução de custos, incremento de vida útil e eficiência energética de sistemas de produção de hidrogênio por meio de:
 - Eletrólise da água;
 - Reforma de hidrocarbonetos;
 - Gaseificação de biomassa.
- Os desenvolvimentos necessários podem ser promovidos por meio de projetos de P&D a serem realizados com financiamento das FAPs, CNPq e Finep.

Roteiro político-institucional

- Abertura de editais de subvenção econômica para empresas localizadas em todo o território nacional com a indicação de temas relacionados à tecnologia do hidrogênio como área de interesse e/ou abertura de linhas de financiamento do BNDES. A concessão de subvenção econômica para a inovação nas empresas é um instrumento de política de governo largamente utilizado em países desenvolvidos, operado de acordo com as normas da Organização Mundial do Comércio. A parcela do orçamento do projeto a ser subvencionada deve utilizar recursos da Finep/FNDCT. Empresas de base tecnológica e de pequeno porte devem ter tratamento diferenciado, visando a sua consolidação no mercado.
- Incentivar o desenvolvimento industrial de motores elétricos de tração (compactos e eficientes), inversores e conversores CC/CC e CC/CA, controladores de carga e condicionadores de potência adequados à aplicação conjunta com células a combustível.
- Aumentar a carga tributária sobre a importação de sistemas de produção de hidrogênio e de células a combustível completas, visando equilibrar os incentivos oferecidos a estes equipamentos em seus países de origem.
- Diminuir carga tributária na importação de componentes para tecnologias de hidrogênio e células a combustível, visando à diminuição dos custos de aquisição de equipamentos não disponíveis no Brasil.

Gargalo E3: normas e padrões

Existe um volume insuficiente de normas e padrões nacionais relacionados à utilização energética do hidrogênio. Ainda não existem laboratórios ou instituições de pesquisa nacionais capacitados a certificar todos os equipamentos e processos desenvolvidos na indústria ou a oferecer treinamento certificado em operação e segurança.

A normatização é um item essencial para a entrada de uma nova tecnologia no mercado. Embora existam esforços nacionais no sentido de traduzir, adaptar e adotar as normas estabelecidas nos ambientes ISO e IEC, verifica-se que o volume de normas brasileiras ainda é insuficiente e existe pouca participação do Brasil na elaboração das normas internacionais.

Da mesma forma, existe a necessidade da criação de centros capacitados a certificar os equipamentos desenvolvidos no país a fim de atestar sua conformidade normativa e de especificação e qualidade.

Roteiro tecnológico

Promover educação e treinamento apropriado em NCP (normas, códigos e padrões) e segurança para autoridades, reguladores, estudantes, usuários e o público em geral através de cursos e workshops específicos. Incentivar a utilização maciça da metrologia e da qualidade nas aplicações do uso do hidrogênio energético.

Roteiro político-institucional

- Realizar, no curto prazo, por intermédio da ABNT, Inmetro e Ceneh e em colaboração com universidades, institutos tecnológicos e empresas, a tradução e adaptação das normas internacionais sobre utilização do hidrogênio energético, atualmente conduzidas nos ambiente da ISO e IEC. Ampliar a participação nacional na elaboração das normas internacionais garantindo a presença de representantes brasileiros nas reuniões plenárias e de grupos de trabalho. A utilização de normas internacionais tem como finalidade facilitar a exportação de tecnologias desenvolvidas no Brasil.
- Criação de leis regulatórias do mercado de geração e utilização de energia elétrica distribuída no país, possibilitando mercado doméstico de compra e venda de energia elétrica.
- Capacitar e autorizar instituições de PD&I a realizar testes e certificações em componentes e equipamentos desenvolvidos pela indústria, em conformidade com as políticas nacionais para Tecnologia Industrial Básica (TIB) e com o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro). As seguintes instituições possuem experiência na área: Cepel, CPqD, INT e Lactec.

Gargalo E4: tecnologias

As tecnologias do hidrogênio ainda possuem grande potencial de desenvolvimento tecnológico, redução de custos e ampliação de aplicações.

As tecnologias do hidrogênio não estão tecnicamente consolidadas. Espera-se que já nos próximos anos ocorra a diminuição significativa dos custos de produção por ganhos de escala e amadurecimento tecnológico. Espera-se também que, em especial para as células a combustível, ocorra um aumento expressivo na vida útil e eficiência. A melhoria destas características técnicas deve propiciar um aumento dos nichos de aplicação desta tecnologia devido aos menores custos globais.

|| *Como manter o desenvolvimento tecnológico nacional destes sistemas de forma a acompanhar os desenvolvimentos realizados no exterior?*

Roteiro tecnológico

Dar continuidade ao Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (PROH₂), do MCT. O programa visa o desenvolvimento das tecnologias do hidrogênio e das células a combustível no Brasil, na forma de redes nacionais. Recomenda-se uma reestruturação das redes já estabelecidas para dar melhor cobertura aos aspectos sugeridos neste roteiro. Também será necessário superar as dificuldades administrativas que retardaram sobremaneira o andamento dos trabalhos. É necessário dar continuidade à formação de recursos humanos por meio de bolsas de estudos em todos os níveis (estágios, formação de técnicos, iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado). Além disso, incentivar a adequada fixação de profissionais, a manutenção das equipes e a continuidade dos projetos nas instituições participantes do PROH₂. Finalmente, é preciso modernizar a infraestrutura laboratorial dos integrantes das redes do PROH₂.

Roteiro político-institucional

- Equilibrar os investimentos em pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimentos, inclusive com a verificação das necessidades de empresas que podem ser atendidas pelos grupos nacionais de P&D.
- Incentivos às empresas de base tecnológica a participarem das redes de pesquisa do ProH₂.



Gargalo E5: institucionalidade

Os institutos de pesquisa, empresas e pesquisadores vinculados ao desenvolvimento das tecnologias do hidrogênio não possuem um órgão representativo oficial de seus interesses.

A inexistência de um órgão representativo oficial da classe, isto é, de uma Associação Brasileira do Hidrogênio, por exemplo, limita as possibilidades de negociações e solicitações junto às esferas executiva e legislativa. Desta forma, as necessidades e interesses mútuos da classe são apresentadas sempre como necessidades e interesses de grupos específicos, diminuindo sua importância junto as agências de governo.

Roteiro político-institucional

Criação, por meio das empresas, ICTs e pesquisadores, de uma associação nacional de representação ou vinculação das atividades relacionadas às tecnologias do hidrogênio a uma associação já existente.

PROPOSTA CENTRAL N° 2

INCENTIVOS À PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO

Ambiente internacional

No cenário internacional são consideradas diversas rotas para a produção do hidrogênio. Os EUA investem na possibilidade da produção centralizada do gás utilizando como insumo:

- A energia nuclear
- Carvão
- Gás natural

Embora o carvão e o gás natural sejam combustíveis fósseis, e a produção de hidrogênio através destes insumos resulte em emissões de gases de efeito estufa, a estratégia norte-americana contempla a realização da captura do carbono emitido na produção.

Os países da União Européia, por outro lado, incentivam também a produção de hidrogênio por fontes renováveis de energia elétrica; tais como:

- A geração solar fotovoltaica
- Eólica, associadas aos eletrolisadores de água

Ambiente nacional

O Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil e o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH₂) destacam que no cenário



brasileiro, altamente favorecido por fontes renováveis, a produção de hidrogênio deverá ser, prioritariamente, realizada por:

- Reforma de etanol
- Gaseificação de biomassa
- Eletrólise da água utilizando fontes renováveis de geração de eletricidade

Considerações sobre a produção de hidrogênio

O Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil destaca que a eletrólise da água, a reforma de etanol e os processos a partir da biomassa são as formas prioritárias para produção de hidrogênio. A produção de hidrogênio, através da eletrólise da água, terá um papel muito importante em países que possuem grande potencial renovável para produção de energia elétrica, como é o caso do Brasil. Embora o processo de eletrólise convencional da água seja dominado no exterior, não existem equipamentos nacionais e o Brasil tem dado pouca ênfase à PD&I nesse item. Considera-se que grande parte do hidrogênio que abastecerá os veículos com células a combustível será produzida a partir da eletrólise da água.

O processo de reforma do etanol está em estágio de desenvolvimento pré-industrial, porém, necessitando ainda de avanços em pesquisa básica de catalisadores, engenharia de reatores, processos de purificação e balanço de planta. Os processos de produção de hidrogênio a partir de derivados de biomassa, como glicerol e bio-óleos, permitem o aproveitamento de subprodutos de baixo valor agregado, diversificando as fontes de hidrogênio. Estas tecnologias, embora promissoras, ainda apresentam muitos gargalos tecnológicos.

No curto prazo, a produção de hidrogênio para insumo químico é um mercado em expansão e representa um potencial já existente. A utilização de hidrogênio proveniente de fontes renováveis como insumo químico pode proporcionar a diminuição de impactos ambientais de produção. Atualmente, o mercado de hidrogênio químico é suprido principalmente por hidrogênio proveniente de fontes fósseis.

Gargalos e propostas

Gargalo P⁶1: mercado

Não existe um mercado de hidrogênio energético

Atualmente, cerca de 40 milhões de toneladas de hidrogênio são produzidas por ano no mundo, número que tende a dobrar a cada década⁷. No Brasil, o mercado aproxima-se de 920 mil toneladas por ano. Os setores responsáveis por este crescimento são principalmente as refinarias de petróleo (produção e melhoramento de combustíveis) e as indústrias de fertilizantes (produção de amônia), seguidas pela indústria alimentícia (produção de gorduras hidrogenadas), siderúrgicas, indústrias de semicondutores, entre outras, sendo que 95% deste hidrogênio são produzidos a partir de fontes fósseis⁸. Apesar da grande quantidade produzida, apenas uma pequena parcela do hidrogênio gerado como subproduto de processos químicos é utilizada com finalidades energéticas, notadamente para produção de calor em aplicações locais. Por esse motivo, pode-se afirmar que atualmente o mercado para o hidrogênio energético é incipiente. Isso ocorre principalmente porque o hidrogênio não pode competir economicamente com outras opções energéticas estabelecidas há longo tempo no mercado.

É interessante notar que o mesmo fato ocorreu com o etanol e o biodiesel, que eram considerados inviáveis inicialmente por razões econômicas e tecnológicas. No caso do etanol ocorreram retrocessos importantes em determinados períodos, que quase impediram o sucesso do programa, hoje admirado por todos os países do mundo. No caso do biodiesel, as pesquisas em andamento na década de 1970 foram interrompidas e os grupos de pesquisa foram desmobilizados. Hoje, após a retomada das pesquisas, o programa começa a mostrar resultados promissores. Mas é evidente que essas interrupções geraram atrasos e resultaram em maiores custos para o país. Por esse motivo são necessárias medidas de incentivo ao hidrogênio energético, a fim de superar as barreiras que dificultam o seu desenvolvimento e evitando-se os equívocos cometidos nos exemplos citados.

6 P= Produção

7 International Energy Agency – IEA, Prospects for Hydrogen and Fuel Cells 2005

8 (TOLMASQUIM, 2003)

|| Como incentivar o desenvolvimento de um mercado de hidrogênio energético?

Roteiro político-institucional

- As medidas políticas e institucionais para superar esse gargalo devem ser similares às adotadas para incentivar o uso do etanol combustível, do biodiesel e do gás natural. Como medidas iniciais de incentivo, as seguintes ações são propostas:
- Adicionar 1% a 10% m^3/m^3 de hidrogênio produzido a partir de energias renováveis ao gás natural utilizado no país. Isso pode ser feito respeitando-se a Resolução ANP nº16 que estabelece a composição do gás natural e o intervalo de poderes caloríficos para comercialização. Estima-se que essa quantidade represente de 1,4% a 14% do hidrogênio produzido no Brasil anualmente.
- Substituir os bancos de baterias com autonomia igual ou superior a 72 MJ (5 kW, 4 h) por armazenamento na forma de hidrogênio em parte dos equipamentos já instalados ou novos. Essas aplicações poderiam ser estações de rádio base para telefonia, sistemas com painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas que necessitem de autonomia e aplicações de energia ininterrupta.
- Diminuir significativamente a tarifa da eletricidade fora de pico utilizada na produção de hidrogênio por eletrólise da água.
- Diminuir significativamente os impostos sobre o etanol utilizado na geração de hidrogênio.
- Incentivos para equipamentos que produzem hidrogênio devem ser similares aos dos equipamentos que consomem hidrogênio energético, tais como células a combustível, grupos geradores com motor à explosão, microturbinas e queimadores, pois se a demanda por hidrogênio energético não for atendida, o preço do gás tenderá a aumentar.
- Financiar a aquisição de equipamentos para produção de hidrogênio, tais como eletrolisadores, reformadores e gaseificadores, pelo BNDES e bancos oficiais.
- Incentivar o aproveitamento do hidrogênio gerado como subproduto de processos químicos, que em muitos casos é descartado. O armazenamento e distribuição do produto podem contribuir para abater as despesas com eletricidade em horários de pico, ou melhorar a eficiência energética de processos que utilizam o hidrogênio energético dentro da própria empresa ou em empresas próximas. Esse gás também pode ser utilizado em aplicações químicas, aumentando a disponibilidade do produto e diminuindo seu custo.

- Estender os benefícios utilizados no desenvolvimento do hidrogênio energético para o hidrogênio utilizado com fins químicos. Essa medida poderá viabilizar o desenvolvimento dos equipamentos para geração de hidrogênio a partir de recursos renováveis e, consequentemente, favorecerá a criação do mercado de hidrogênio energético.

Gargalo P2: custos

Para o desenvolvimento de uma economia do hidrogênio é necessário reduzir os custos de produção deste energético.

Atualmente, a forma mais barata de produzir o hidrogênio é a partir do gás natural, de derivados de petróleo ou de carvão. Em todos esses casos há emissão de quantidades relevantes de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono. O hidrogênio assim produzido é utilizado exclusivamente como reagente em processos químicos, pois nas aplicações energéticas geralmente são utilizados os próprios combustíveis para gerar energia, sem necessidade de realizar o processo de produção do hidrogênio.

As principais formas sustentáveis de produção de quantidades significativas de hidrogênio que podem ser utilizadas no Brasil a curto e médio prazo são:

- Eletrólise da água, a partir de energias renováveis
- Reforma de etanol
- Gaseificação de biomassa. Nesses processos, as emissões nocivas ao meio ambiente são consideravelmente menores ou inexistentes. Entretanto os custos de produção são consideravelmente maiores

▮ *Como reduzir o custo do hidrogênio proveniente de fontes renováveis a fim de torná-lo economicamente competitivo?*

Roteiro tecnológico

Investimento, no curto prazo, com recursos do CNPq, Finep e das fundações estaduais de amparo à pesquisa (FAPs). Os investimentos devem contemplar recursos humanos em diferentes



níveis, mas principalmente doutores em projetos com tempo de execução superior a dois anos, tendo em vista a complexidade das questões envolvidas. As seguintes áreas são prioritárias:

Eletrólise da água

É o processo mais versátil de produção de hidrogênio, pois podem ser construídos equipamentos para geração de gás puro numa faixa de 0,5 L/min a 100.000 m³/h. Para reduzir o custo do hidrogênio produzido pelos eletrolisadores de água é necessário diminuir o custo do equipamento e o consumo de eletricidade. Para tanto, o seguinte roteiro tecnológico é sugerido:

- Desenvolver materiais poliméricos e metálicos mais baratos e com resistência química adequada, catalisadores para os eletrodos visando diminuir o consumo de eletricidade, membranas resistentes, do ponto de vista químico e mecânico
- Aumentar a temperatura de operação dos eletrolisadores, a fim de diminuir o consumo de eletricidade no processo
- Aumentar a pressão de operação propiciando economia de capital pelo menor custo dos compressores
- Desenvolver eletrônica de potência eficiente e de baixo custo

Reforma de etanol

É um processo adequado para produção distribuída de quantidades intermediárias de hidrogênio, com intervalo estimado de 50 m³/h a 500 m³/h. Os reformadores de etanol ainda estão em fase de desenvolvimento no país e a tecnologia é similar à empregada na reforma do gás natural. Para avançar no desenvolvimento desses equipamentos, o seguinte roteiro tecnológico é sugerido:

- Desenvolver catalisadores para as reações de oxidação parcial e reforma do etanol e conversão do monóxido de carbono. O aumento da pressão de operação dos reformadores pode melhorar o balanço global de energia, pois em algumas aplicações, o uso de compressores poderá ser evitado, melhorando a eficiência global de energia dos sistemas a hidrogênio e reduzindo os custos de capital e de manutenção.
- Desenvolver sistemas de purificação para o gás originado na reforma do etanol. Os processos

sugeridos neste caso são o PSA (*pressure swing adsorption*) e a permeação em tubos de ligas prata-paládio. Melhorar o balanço de planta.

- Desenvolvimento de reatores estruturados (microreatores, reatores de placas e reatores monolíticos) visando uma maior eficiência global do sistema.

Gaseificação de biomassa

Como acontece nos processos que utilizam biomassa, eficiências adequadas só são atingidas para equipamentos de grande porte. Assim sendo, das tecnologias abordadas neste trabalho, esta é a que se presta à produção de maiores quantidades de hidrogênio. Para avançar no desenvolvimento dessa tecnologia, pode-se utilizar um roteiro tecnológico similar ao dos reformadores de etanol. Adicionalmente, os seguintes temas são sugeridos:

Realizar estudos sobre o uso de biomassas sólidas e líquidas no gaseificador realizar esforços para automatizar o processo de gaseificação. Realizar o desenvolvimento de catalisadores capazes de remover o alcatrão proveniente do processo e resistentes à ação do enxofre.

Roteiro político-institucional

As medidas políticas e institucionais para superar esses gargalos, eletrólise de água, reforma de etanol, gaseificação da biomassa, são:

- Atuar junto aos organismos de financiamento, como FAPs, Finep e BNDES, a fim de facilitar o financiamento dos produtos e processos relacionados às tecnologias do hidrogênio. Devem ser apoiados laboratórios das redes do PROH₂ interessados em transformar suas pesquisas em produtos, empresas de base tecnológica ou grandes empresas.
- Abrir, no curto prazo, linhas específicas de financiamento por parte da Finep ou BNDES direcionadas à aquisição de equipamentos e infraestrutura para empresas de pequeno e médio portes nacionais, envolvidas no desenvolvimento de sistemas de produção de hidrogênio por meio de reforma de etanol, eletrólise e gaseificação.
- Utilizar o mecanismo de compras governamentais para incentivar as tecnologias do hidrogênio, o que poderá ser feito em sinergia com outros programas já existentes, como, por exemplo, o Proinfa e o Luz para Todos, e também com atividades nas áreas de energia eólica,



energia fotovoltaica e PCH. Definição de um percentual mínimo de energia elétrica armazenada na forma de hidrogênio em substituição ao armazenamento convencional em baterias.

- Redução, no médio prazo, da carga tributária incidente sobre a energia elétrica e o etanol, quando utilizados como insumo para produção de hidrogênio, visando tornar estas rotas de produção competitivas com as rotas utilizando insumos fósseis.
- Fomentar, através de incentivos fiscais, a produção descentralizada de hidrogênio, tanto para uso energético, como para uso químico, a partir de fontes renováveis e a construção de eletrolisadores, gaseificadores e reformadores por empresas brasileiras com índice de nacionalização mínimo a ser estabelecido.

PROPOSTA CENTRAL N° 3

INCENTIVOS AO DESENVOLVIMENTO DA LOGÍSTICA DO HIDROGÊNIO

Ambiente internacional

A logística de transporte e armazenamento de hidrogênio está intimamente ligada às estratégias de produção deste gás devido à possibilidade da produção centralizada ou descentralizada. Desta forma, pode-se identificar a existência de duas vertentes internacionais.

A primeira vertente, encabeçada pelos EUA, privilegia a produção centralizada do hidrogênio utilizando como insumo o carvão, o gás natural e a energia elétrica proveniente de centrais nucleares. Nesta visão, o hidrogênio deve ser distribuído aos centros consumidores por meio de gasodutos ou pelo transporte do hidrogênio liquefeito. O armazenamento local do hidrogênio é realizado na forma líquida ou na forma gasosa comprimida.

A segunda vertente, encabeçada pela Comunidade Européia, indica como prioridade a produção descentralizada do hidrogênio, próximo aos centros consumidores com armazenamento local na forma líquida ou na forma gasosa comprimida.

Em ambos os casos percebe-se uma tendência de armazenamento do hidrogênio sob a forma gasosa comprimida em alta pressão para a utilização final. Esta tendência está relacionada principalmente à utilização do hidrogênio em veículos.



Ambiente nacional

O Brasil, através dos documentos Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil (MME) e Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (MCT), identifica a produção local de hidrogênio como forma prioritária.

Considerações sobre a logística do hidrogênio

No ano de 2010, a produção total de hidrogênio no Brasil deverá ser de 10,2 bilhões de metros cúbicos (aproximadamente 917 mil toneladas), sendo que em um futuro próximo, ano de 2015, este volume de hidrogênio será de 12,5 bilhões de metros cúbicos (1,12 milhões de toneladas); para estes dados não se consideram os prováveis projetos que ainda podem vir a público, tais como plantas de fertilizantes e de metanol.

Desse total de gás gerado, considera-se que 1% em peso é queimado como combustível e 94,3% transportado por tubovia, com a finalidade de ser utilizado como matéria-prima para diversas aplicações (refinarias, petroquímicas, fertilizantes e metanol). Somente 4,7% são transportados em alta pressão, comprimidos a pressões acima de 150 bar em cilindros, cestas e carretas.

Nos dois cenários internacionais apresentados existe a necessidade da compressão do hidrogênio para sua utilização final. Embora dominada no exterior, a tecnologia de compressores de alta pressão (> 350 bar) para hidrogênio não existe no Brasil, assim como não existe desenvolvimento tecnológico sobre tanques de armazenamento de alta pressão no país.

Diversos países trabalham no desenvolvimento de sistemas utilizando materiais nanoestruturados para armazenamento de hidrogênio. Estas pesquisas são praticamente inexistentes no Brasil.

A utilização do hidrogênio como forma de armazenagem da energia produzida por fontes renováveis intermitentes (solar e eólica) é fundamental para a ampliação da inserção destas tecnologias em sistemas isolados da rede.

Gargalos e propostas

Gargalo L1: transporte

Transporte de hidrogênio por tubovias (gasodutos)

É difícil aproveitar o hidrogênio proveniente do excedente de produção de refinarias de petróleo, plantas de fertilizantes e de metanol ou mesmo hidrogênio subproduto de indústrias químicas, eletroquímicas e petroquímicas, bem como de geradores eletrolíticos a serem instalados ao lado das hidroelétricas.

A utilização de tubovias para o transporte de grandes quantidades de gás é a forma mais econômica de transporte do hidrogênio para os centros distribuidores e consumidores. Mas, existem ainda severas restrições para a implantação e consolidação das tubovias no mercado de hidrogênio. A regulamentação para a construção de tubovias é restritiva, os custos de implantação são elevados e é baixa a disponibilidade de hidrogênio a ser transportado.

Também se pode constatar que, se excetuarmos as tubovias que hoje transportam e distribuem os grandes volumes de gás natural ao longo do seu traçado, a logística para gás natural comprimido e liquefeito, a princípio, poderia ser utilizada como modelo para desenvolvimento de um sistema de logística de hidrogênio como fonte energética.

▮ *Como viabilizar o transporte de hidrogênio através de gasodutos?*

Roteiro político-institucional

- Revisar a regulamentação nacional para construção das tubovias visando diminuir as restrições.
- Incentivar a produção de hidrogênio junto às usinas hidrelétricas pode aumentar o volume de gás disponível, tornando viável a implantação de gasodutos para o transporte aos centros consumidores.



Gargalo L2: compressores

Desenvolvimento de compressores para hidrogênio

Para o armazenamento de quantidades significativas de hidrogênio é necessário que o gás seja comprimido a fim de se reduzir o volume dos reservatórios. Embora não existam fabricantes nacionais para este equipamento, existem fabricantes de compressores de diversos portes (vazão e pressão) para outras finalidades.

▮ *Como incentivar o desenvolvimento nacional de compressores de alta pressão para hidrogênio?*

Roteiro político-institucional

Considerando que compressores para hidrogênio são basicamente os mesmos usados para o gás natural, não existe a necessidade de grandes investimentos de tempo e recursos no desenvolvimento tecnológico destes equipamentos. O aumento da demanda de equipamentos para compressão de hidrogênio deve ser um incentivo natural para sua produção nacional. Entretanto, melhorias incrementais em eficiência energética dos compressores e no aumento da pressão de saída dos equipamentos (para 350 bar) ainda se fazem necessárias.

Gargalo L3: vasos de pressão

Desenvolvimento nacional de vasos de pressão para armazenamento e transporte de hidrogênio comprimido, os equipamentos também são semelhantes aos empregados para gás natural, sendo que hoje no Brasil existem cerca de 600 carretas (tubetrailers) de diversos tamanhos, as mais modernas já trafegando com 3 eixos espaçados que atendendo a legislação brasileira, já estão permitidas a trafegar com peso bruto de 53 toneladas, transportando 5.000 Nm³ (415 kg) de hidrogênio comprimido a 185 bar.

Entretanto, devemos observar que, dos veículos acima, quase todos são importados, já chegando ao país montados com sistema rodante ou sob a forma de containeres que são montados em sistemas rodantes fabricados no Brasil.

|| *Como incentivar o desenvolvimento nacional de vasos de pressão para hidrogênio?*

Roteiro tecnológico

Fomento à pesquisa para desenvolvimento de materiais (ligas metálicas e compósitos) e métodos para fabricação de cilindros para armazenamento de hidrogênio gasoso a alta pressão, de 350 a 1000 bar. Devido à inexistência de grupos de PD&I específicos nesta área são necessárias ações de curto prazo neste setor a serem realizadas por meio de chamadas públicas de projetos do CNPq, das FAPs e Finep.

Fomento à pesquisa para desenvolvimento de materiais nanoestruturados para o armazenamento de hidrogênio por adsorção. Devido à inexistência de grupos de PD&I específicos nesta área são necessárias ações de curto prazo neste setor a serem realizadas por meio de chamadas públicas de projetos do CNPq, das FAPs e Finep.

Fomento à pesquisa para desenvolvimento de hidretos metálicos para o armazenamento de hidrogênio. Os investimentos devem ser voltados às instituições de PD&I e às empresas de base tecnológica (ou em projetos conjuntos entre universidade e empresa); e realizados por meio de editais específicos.

Roteiro político-institucional

Verificando o passado, cerca de 25 anos, pode-se constatar que devido as restrições de importação então existentes, houveram algumas tentativas para montagem de carretas nacionais. Mas todas elas sofriam com restrições de armazenamento em baixa/média pressão ou ainda com relação ao tamanho dos cilindros de alta pressão disponíveis no Brasil.

As restrições existentes advinham da produção de tubo de aço ao cromo sem costura, cujo diâmetro máximo produzido no Brasil era de seis polegadas, o que impedia a confecção de cilindros com comprimento maior do que seis metros.

A partir do ano de 2010 entra em operação mais uma siderúrgica com capacidade de 1,5 milhões de toneladas por ano que produzirá tubos de aço com diâmetro de até 12 polegadas. Assim, se



os atuais fabricantes de cilindros de alta pressão prepararem o ferramental, eles poderão fabricar os cilindros adequados à montagem de carretas com pressão de 200 bar.

Ainda neste capítulo, deve-se observar que na Europa (os vasos para a classe de pressão de até 1.000 bar que combina aço com revestimento de materiais compostos) já foram desenvolvidos e já é realidade em algumas estações de armazenamento de hidrogênio; cita-se a cidade de Berlin, no programa de chamado CEP (*Clean Energy Partnership*). Os veículos que fazem parte deste programa já conseguem armazenar hidrogênio a 350 e 700 bar. Note-se que compressores e sistemas de enchimento já estão disponíveis.

Desta forma, deve-se incentivar o desenvolvimento industrial de tanques de armazenamento de hidrogênio utilizando fibras de carbono e outros materiais compósitos. Esta tecnologia permite maiores pressões de armazenamento, sistemas mais leves e compactos.

Gargalo L4: hidrogênio líquido

Desenvolvimento da tecnologia de hidrogênio líquido

A liquefação, armazenamento e transporte de hidrogênio líquido é uma forma economicamente viável para o aumento da capilaridade da distribuição. O hidrogênio líquido, quando vaporizado, tem seu volume multiplicado em 853 vezes. A tecnologia de super isolamento para os tanques criogênicos já permitem armazenamento de hidrogênio em condições inertes com perdas por vaporização inferiores a 2% a cada 730 horas (1 semana). Esta mesma tecnologia já é aplicada a tanques móveis, tanto para transporte como para motores e veículos que utilizam hidrogênio como combustível.

Entretanto, no Brasil, a falta de regulamentação para o transporte de hidrogênio líquido impede os investimentos necessários.

|| *Como viabilizar o transporte de hidrogênio em sua forma líquida?*

Roteiro político-institucional

Para adequação desta tecnologia de transporte e armazenamento de hidrogênio liquefeito, o Brasil terá que regulamentar este transporte nos moldes da Europa ou dos Estados Unidos ou ainda regulamentar esta atividade adaptada à realidade brasileira, que se caracteriza pelas grandes distâncias, centros urbanos densamente povoados, a quase inexistência de ferrovias bem como a ainda deficiente infraestrutura rodoviária.

Uma vez regulamentada a questão do transporte de hidrogênio liquefeito, o mercado brasileiro consumidor de hidrogênio já adquiriu escala para a implantação de pelo menos uma unidade de liquefação de hidrogênio.



PROPOSTA CENTRAL Nº 4

INCENTIVOS AOS SISTEMAS DE UTILIZAÇÃO DO HIDROGÊNIO

Ambiente internacional

Tendência de utilização portátil do hidrogênio

As tendências internacionais para utilização de sistemas de células a combustível portáteis, para aparelhos eletrônicos de pequeno porte como computadores portáteis, telefones celulares e aparelhos de GPS, indicam que estas devem ser as primeiras aplicações disseminadas em grande escala e em mais curto prazo. Isso se verifica pelas seguintes razões:

- Tais sistemas admitem custos mais elevados, porém comparáveis com os custos das baterias atualmente empregadas nesses aparelhos;
- O tempo de duração de cada carga de um sistema de células a combustível é maior do que a duração da carga de uma bateria;
- Aplicações militares se beneficiariam em larga escala com a redução do número de baterias atualmente empregadas.

Praticamente todas as grandes empresas de eletrônicos mundiais possuem patentes e protótipos desenvolvidos. Os principais desenvolvedores incluem Samsung, Sony, Toshiba, Motorola, Panasonic, Fujitsu, NEC, Hitachi, entre outros. Embora o mercado ainda não esteja maduro, o volume de investimentos dessas empresas indica que a tecnologia deverá estar consolidada em alguns anos.

Tendência de utilização estacionária do hidrogênio

Com relação à utilização estacionária, grandes sistemas de cogeração de eletricidade e calor es-

tão em demonstração em todo o mundo. Atualmente, células MCFC e SOFC com potências entre 200 kW e 3 MW estão em operação utilizando gás natural, biogás e gás de síntese. Estima-se que tais sistemas sejam economicamente viáveis se o custo de fabricação atingir US\$400/kW até 2015 de acordo com as metas do US-DOE.

Paralelamente, sistemas de geração distribuída de pequeno porte (de 1 a 10 kW) para atendimento residencial estão sendo desenvolvidos com maior ênfase na Europa e Japão. Espera-se que os custos de fabricação cheguem a US\$450/kW até 2020 de acordo com estudos do US-DOE. Alguns destes sistemas de pequeno porte baseados em células PEMFC já são economicamente viáveis em um nicho de mercado, o backup de energia para estações rádio-base (ERB) em substituição aos bancos de baterias.

Tendência de utilização veicular do hidrogênio

Em todo o mundo, o desenvolvimento de células a combustível para aplicações veiculares está voltado principalmente para automóveis e sendo realizado pelas grandes montadoras de automóveis. Também se verificam, mas com menor ênfase, o desenvolvimento de ônibus e outros veículos a células a combustível, como empilhadeiras elétricas.

Neste último caso, as células PEMFC já atingiram um estágio de desenvolvimento e custos que viabilizam sua utilização comercial na substituição de bancos de baterias.

Ambiente nacional

Utilização portátil

Não estão sendo verificados desenvolvimentos em células a combustível para aplicações portáteis no Brasil.

Utilização estacionária

No cenário brasileiro, as aplicações estacionárias de pequeno porte podem se beneficiar da sinergia resultante da interação das células a combustível com fontes alternativas de energia, em especial com a utilização das células em conjunto com fontes intermitentes de geração tais como microcentrais hidrelétricas, painéis fotovoltaicos e geradores eólicos, empregando o hidrogênio como meio armazenador. Essas aplicações permitem também atender comunidades isoladas. Os sistemas de geração distribuída com células a combustível, com cogeração ou não, também podem garantir o fornecimento de energia elétrica com alta confiabilidade para aplicações específicas, como as estações rádiobase.

Utilização veicular

Ao contrário das tendências internacionais para aplicações veiculares de células a combustível, os programas nacionais visam o emprego de células no transporte coletivo rodoviário de passageiros. Essa tendência vem ao encontro do grande potencial industrial brasileiro na produção de ônibus urbanos e à necessidade de melhoria do trânsito e a redução de emissões poluentes em grandes cidades.

Considerações sobre a utilização do hidrogênio

Os programas brasileiros enfatizam a prioridade do desenvolvimento do transporte coletivo utilizando hidrogênio em detrimento do transporte individual. O desenvolvimento de ônibus para o transporte coletivo não vem recebendo dos grandes fabricantes internacionais os mesmos investimentos que os veículos leves; desta forma, verifica-se a existência de espaço para o desenvolvimento nacional desta tecnologia. Já para o caso dos veículos de passeio deve-se considerar que as grandes montadoras vêm, há alguns anos, desenvolvendo veículos utilizando hidrogênio e células a combustível, já tendo alcançado sucesso em boa parte das metas estabelecidas. Desta forma é bastante improvável que o desenvolvimento desses veículos irá ocorrer no Brasil.

Células a combustível tipo PEMFC vêm encontrando nichos de mercado no setor de telecomunicações e no setor de transporte de cargas em ambientes com restrições (empilhadeiras

elétricas). Entre as tecnologias de células a combustível, PEMFC possui o maior grau de desenvolvimento no Brasil, contando com pelo menos três fabricantes nacionais.

Sistemas de cogeração de energia com tecnologias MCFC e SOFC com potências entre 200 kW e 3 MW, utilizando como combustível gás natural; biogás de aterro sanitário; e de estações de tratamento de esgoto e gás, de síntese de processos diversos, estão sendo demonstrados em todo o mundo.

Dada a existência no país de logística de distribuição de etanol, considera-se de grande interesse nacional o desenvolvimento de células a combustível tipo etanol direto. A menor disponibilidade deste combustível em outros países abre espaço para o desenvolvimento nacional desta tecnologia.

Gargalos e propostas

Gargalo U⁹1: mercado

Ampliação do mercado através da redução de custos

A conquista de mercado de CaC dos tipos PEMFC e SOFC está intimamente relacionada com a redução de custos de fabricação em geral, tanto dos módulos como dos sistemas. Ainda são necessários esforços em PD&I intensos, visando aperfeiçoamento de componentes, produtos e sistemas, bem como de seus respectivos processos de fabricação. Este desenvolvimento de PD&I envolve o crescente aumento de desempenho e durabilidade para cada aplicação específica (estacionária, transporte e portátil) com redução de custos.

|| *Como reduzir os custos de produção das células a combustível?*

Roteiro tecnológico

As reduções de custos de componentes e de processos de fabricação podem ser alcançadas

9 U= Utilização

com investimentos em programas de PD&I em institutos de pesquisas e universidades brasileiras, a exemplo do que já vem sendo realizado pelo PROH₂. Estes investimentos devem ser direcionados, numa de suas etapas, para este gargalo específico, com prioridade em inovação de materiais e processos alternativos menos custosos, mas de eficiência e durabilidade adequadas.

PD&I em PEMFC

- Sistemas de eletrocatalisadores nanoestruturados, suportados ou não, específicos para oxidação direta de hidrogênio contaminado com CO, de metanol e etanol e seus respectivos processos de fabricação.
- Processos de fabricação de eletrodos de difusão gasosa (anodo e catodo), incluindo aumento de escala e automação.
- Materiais de eletrólitos alternativos (membranas condutora de prótons), de 80 a 200°C de faixa de operação e os correspondentes processos de fabricação. Podem ser poliméricos, cerâmicos ou compósitos.
- Materiais alternativos de placa bipolares e seus processos de fabricação, incluindo aumento de escala e automação. Materiais de vedação, estruturais, etc.;
- Todos os equipamentos e processos envolvidos na fabricação de módulos de CaC (Stacks) e de sistemas de CaC, como trocadores de calor, umidificadores de gases, sistemas de refrigeração, eletrônica de potência, etc. para as diversas aplicações.

PD&I em SOFC

- Materiais de eletrodos, anodo e catodo, para SOFC e ITSOFC (Intermediate Temperatura SOFC), que incluem eletrocatalisadores, específicos para oxidação direta de hidrogênio com contaminadores, etanol, metano e seus respectivos processos de fabricação.
- Fabricação e processamento de componentes, incluindo aumento de escala e automação. Inclui-se neste item estudos e modificações em interfaces, para aumento de desempenho de eletrodos, caracterização destas interfaces;
- Materiais de eletrólitos alternativos para SOFC e ITSOFC (cerâmicas condutoras iônicas), de 600 a 1000°C de faixa de operação. Caracterização deste componente.

- Materiais de interconectores (placa bipolares) e seus processos de fabricação. Materiais selantes, estruturais, etc.;
- Todos os equipamentos e processos envolvidos na fabricação de módulos de CaC (Stacks) e de sistemas de CaC, como trocadores de calor, sistemas de refrigeração, eletrônica de potência, etc. para aplicações estacionárias.

PD&I em DEFC

- Catalisadores de processo
- Sistemas de controle
- Balanço de planta
- Métodos de caracterização

Roteiro político-institucional

- Continuidade do PROH₂, Programa do MCT de desenvolvimento da tecnologia de CaC e Hidrogênio no Brasil, na forma de redes nacionais. Talvez seja esta ação a mais importante para o Hidrogênio Energético para o Brasil, nos próximos 10 anos. Recomenda-se, entretanto, uma reestruturação de cada rede já estabelecida, de modo a otimizar os objetivos, desta vez mais focados nas ações descritas acima, otimizando também os recursos públicos. Continuidade e ênfase na formação de recursos humanos, tanto por meio de bolsas de estudos em diversos níveis (estágios, formação de técnicos, iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado). Deve ser pensada uma forma adequada de fixação de doutores e outros especialistas (engenheiros, químicos, etc.) nos locais de geração de tecnologia cobertos pelo PROH₂.
- Atuação governamental para criação de mercados específicos para as CaC. A criação de mercados pode ser incentivada por editais e encomendas governamentais para projetos de demonstração (ver gargalo U.2 a seguir). Dois mercados devem ser priorizados neste período de 10 anos, na ordem: Mercado Estacionário de energia elétrica (geração distribuída com PEMFC e SOFC) e Mercado para Transporte, priorizando o transporte coletivo (ônibus híbridos baterias/CaC PEMFC).
- Incentivo a cooperação internacional, em diversas áreas, para atalhos tecnológicos

- Incentivo, no curto prazo, por meio da Anatel da aplicação de células a combustível em sistemas de backup da rede de telecomunicações. Tais incentivos poderiam ser obtidos por meio da alteração de normas, que estimulem as empresas do setor de telecomunicações a ampliar o tempo mínimo de backup elétrico em estações radio base. Atualmente, a autonomia dos sistemas de backup é determinada pelo Sistema de Práticas da Telebrás, através da SDT 240.500.700 de agosto de 1982.

Gargalo U2: Projetos de demonstração

Há necessidade, nos próximos 10 anos, de projetos de demonstração, de toda a tecnologia e produtos (sistemas de PEMFC e SOFC), gerados pelo PROH₂. Estes projetos, encomendados, ou parte de metas do PROH₂, devem determinar viabilidades técnicoeconômicas nos respectivos segmentos de mercado e gerar dados de confiabilidade para futuras comercializações dos produtos/sistemas de energia. Os dados de confiabilidade incluem durabilidade, árvore de falhas e dados de perda de desempenho com o tempo (envelhecimento), para cada aplicação específica (estacionária e transporte coletivo).

Roteiro Tecnológico

Algumas instituições participantes do PROH₂, particularmente as que possuem infraestrutura para isso, devem executar projetos de demonstração de CaC, que contenham, gradualmente, inovações geradas nas respectivas redes do PROH₂ (PEMFC e SOFC). Os projetos de demonstração podem estar alocados na rede de Sistemas e Integração. As ações neste sentido são listadas a seguir:

- Demonstração de sistemas de CaC do tipo PEMFC. Estes projetos devem ter uma sequência de aumento de potências elétricas nominais de 1,5, até 10 kWe, com inserção também gradativa, de tecnologias desenvolvidas nas instituições participantes do PROH₂. O sistema de CaC deve ser encomendado para a indústria nacional, que por sua vez, assinará acordos com os participantes do PROH₂, para a aplicação das tecnologias desenvolvidas em seus produtos. As instituições que irão operar os sistemas devem possuir infraestruturas adequadas para este fim;
- Demonstração de sistemas de CaC do tipo SOFC. Estes projetos devem ter uma sequência de aumento de potências elétricas nominais de 0,5 até 2 kWe, com inserção também gradativa, de tecnologias desenvolvidas nas instituições participantes do PROH₂. O sistema de

CaC deve ser encomendado para a indústria nacional, que por sua vez, assinará acordos com os participantes do PROH₂, para a aplicação das tecnologias desenvolvidas em seus produtos. As instituições que irão operar os sistemas devem possuir infraestrutura adequadas para este fim.

- Continuidade e ampliação em demonstração de sistemas híbridos de baterias/CaC do tipo PEMFC aplicados a ônibus, para transporte coletivo em cidades brasileiras. As inovações da rede PEMFC devem ser incorporadas a estes projetos.

Roteiro político-institucional

- Incentivo a projetos de demonstração de sistemas de CaC do tipo PEMFC e SOFC. As ações neste sentido podem partir tanto do PROH₂, como de editais. Realizar investimento em projetos piloto na área de transporte coletivo urbano. A possibilidade da utilização de uma pequena frota de ônibus a hidrogênio com parcela significativa da tecnologia embarcada desenvolvida no Brasil, durante a Copa do Mundo de 2014 e/ou Olimpíadas Rio 2016, promoverá grande visibilidade em âmbito nacional e internacional. Estações de abastecimento dotadas de tecnologia de produção nacional também deverão ser contempladas.
- Inclusão de metas de confiabilidade de CaC PEMFC e SOFC em projetos das redes do PROH₂.
- Incentivos, tanto por editais como encomendas, a projetos de demonstração de ônibus híbridos baterias/CaC do tipo PEMFC para transporte coletivo. Os projetos devem incluir tecnologia nacional.
- Criação de uma política industrial do setor. Ações governamentais devem ser criadas para incentivos a criação e manutenção de indústrias de CaC dos tipo PEMFC e SOFC no Brasil, com incentivos fiscais e outros.
- Realização, no curto prazo, de editais por meio da Finep ou BNDES, de compras governamentais de sistemas de células a combustível com grau de nacionalização especificado, visando alavancar empresas nacionais na área e promover reduções de custos de equipamentos por ganhos de escala.



Gargalo U3: informação

Mudança de paradigma. Disseminação da tecnologia

A falta de conhecimento desta tecnologia representa também um entrave à sua disseminação. Muitos empresários, engenheiros e técnicos da área de energia em geral não conhecem a tecnologia de CaC. Alguns já possuem conhecimento, entretanto, sem o devido aprofundamento, sem visão de conjunto e futuro. Esta visão limitada gera preconceitos e enganos. Associado ao preconceito pode estar o “lobby” de grandes empresas, por exemplo, de petróleo e/ou automobilísticas.

Roteiro político-institucional

- Criação de políticas de disseminação da tecnologia de CaC e do conceito de “Economia do Hidrogênio” em escolas, universidades, indústrias, empresas públicas e privadas em geral e órgão de divulgação (mídia), de vários tipos. As ações neste sentido podem ser palestras, cursos, brochuras expositivas, livros, visitas guiadas, etc.;
- Incentivo à criação de cursos de pós-graduação estruturados nesta área, tanto *lato sensu* como *stricto sensu*, com bolsas de estudo associadas.

QUADRO SÍNTESES DE RECOMENDAÇÕES

Economia do hidrogênio

RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA O INCENTIVO À ECONOMIA DO HIDROGÊNIO					
RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	CURTO PRAZO (0 A 5 ANOS)	MÉDIO PRAZO (5 A 10 ANOS)	LONGO PRAZO (10 A 15 ANOS)	INSTITUIÇÕES
ROTEIRO TECNOLÓGICO					
Incentivar o desenvolvimento tecnológico, em células a combustível, com objetivo de redução de custos de membranas separadoras, MEAs, catalisadores com maior tolerância a contaminantes e eletrônica de potência.	Muito alta	X	X		MCT, FINEP, CNPq, FAPs
Incentivar o desenvolvimento tecnológico, em eletrólise da água, reforma de hidrocarbonetos e gaseificação de biomassa.	Muito alta	X	X		MCT, FINEP, CNPq, FAPs
Promover educação e treinamento apropriado em NCP (normas, códigos e padrões) e segurança para autoridades, reguladores, estudantes, usuários e o público em geral através de cursos e <i>workshops</i> específicos.	Muito alta	X			ABNT, INMETRO, CENEH
Dar continuidade ao PROH ₂ , Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio do MCT.	Muito alta	X	X	X	MCT, FINEP, CNPq
Dar continuidade à formação de Recursos Humanos por meio de bolsas de estudos em todos os níveis	Muito alta	X	X	X	MCT, FINEP, CAPES, CNPq, FAPs
Consolidar a infraestrutura de laboratórios de hidrogênio	Alta	X			CNPq, FAPs, CAPES, FINEP

RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA O INCENTIVO À ECONOMIA DO HIDROGÊNIO

RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	CURTO PRAZO (0 A 5 ANOS)	MÉDIO PRAZO (5 A 10 ANOS)	LONGO PRAZO (10 A 15 ANOS)	INSTITUIÇÕES
ROTEIRO POLÍTICO-INSTITUCIONAL					
Realização de projetos de demonstração	MA	X	X	X	MCT, MME, CNPq, FAPs, CAPES, FINEP, ANP, ANEEL
Ampliar a abrangência das políticas de desenvolvimento de tecnologias alternativas para geração de energia elétrica.	A	X	X	X	MME, MMA
Abertura de editais de subvenção econômica para empresas localizadas em todo o território nacional com a indicação de temas relacionados à tecnologia do hidrogênio como área de interesse.	MA	X	X		FINEP, BNDES
Incentivar o desenvolvimento industrial de eletrônica de potência adequada a aplicação com sistemas de produção de hidrogênio e células a combustível.	A	X	X		MDIC, FINEP, ABDI
Aumentar a carga tributária sobre a importação de sistemas completos de produção de hidrogênio e células a combustível.	A	X			MF, MPOG
Reduzir a carga tributária sobre a importação de componentes para sistemas de produção de hidrogênio e células a combustíveis.	A	X			MF, MPOG
Realizar a tradução, adaptação e adoção das normas internacionais desenvolvidas nos ambientes ISO/IEC. Ampliar a participação do Brasil na elaboração destas normas.	A	X			ABNT, INMETRO, CENEH
Criação de leis regulatórias do mercado de geração e utilização de energia elétrica distribuída.	M		X	X	ANEEL
Capacitar e autorizar instituições de PD&I a realizar testes e certificações em componentes e equipamentos desenvolvidos pela indústria	A	X			CEPEL, CPqD, INT, LACTEC
Equilibrar os investimentos em pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimentos	A	X	X	X	MCT, MME, CNPq, FAPs, CAPES, FINEP, ANP, ANEEL
Criação por meio das empresas, ICTs e pesquisadores de uma associação nacional de representação	M	X			ICTs, empresas

Produção do hidrogênio

RECOMENDAÇÕES PARA INCENTIVO À PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO					
RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	CURTO PRAZO (0 A 5 ANOS)	MÉDIO PRAZO (5 A 10 ANOS)	LONGO PRAZO (10 A 15 ANOS)	INSTITUIÇÕES
ROTEIRO TECNOLÓGICO					
Investimento no desenvolvimento de catalisadores, reatores e sistemas para reforma de etanol e derivados da biomassa	MA	X	X	X	CNPq, FINEP, FAPs
Investimento no desenvolvimento de eletrolisadores	MA	X	X		CNPq, FINEP, FAPs
Investimento no desenvolvimento de gaseificadores de biomassa, sistemas de tratamento e de purificação	A	X	X	X	CNPq, FINEP, FAPs
ROTEIRO POLÍTICO-INSTITUCIONAL					
Adicionar 1% a 10% m ³ /m ³ de hidrogênio produzido a partir de energias renováveis ao gás natural utilizado no país.	MA		X		ANP, Petrobras
Substituir os bancos de baterias por armazenamento na forma de hidrogênio.	A	X			MME, ANEEL, ANATEL
Diminuir significativamente a tarifa da eletricidade e do etanol para a produção de hidrogênio.	MA	X	X	X	MF, MPOG, ANEEL, ANP
Financiamento direcionado à aquisição de equipamentos e infraestrutura para empresas de pequeno e médio porte nacionais, envolvidas no desenvolvimento de sistemas de produção de hidrogênio	MA	X	X		FAPs, FINEP, BNDES

Logística do hidrogênio

RECOMENDAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA LOGÍSTICA DO HIDROGÊNIO					
RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	CURTO PRAZO (0 A 5 ANOS)	MÉDIO PRAZO (5 A 10 ANOS)	LONGO PRAZO (10 A 15 ANOS)	INSTITUIÇÕES
ROTEIRO TECNOLÓGICO					
Fomento à pesquisa de materiais nanoestruturados para armazenamento de hidrogênio por adsorção.	B	X	X	X	CNPq, FAPs, FINEP
Fomento à pesquisa para desenvolvimento de materiais e métodos para fabricação de cilindros para armazenamento de hidrogênio gasoso a alta pressão, de 350 a 1000 bar	M	X	X	X	CNPq, FAPs, FINEP
Fomento à pesquisa sobre armazenamento de hidrogênio em hidretos metálicos	B	X	X	X	CNPq, FAPs, FINEP
ROTEIRO POLÍTICO-INSTITUCIONAL					
Revisar a regulamentação nacional para construção de gasodutos visando diminuir as restrições.	A	X			Agências Reguladoras (MME, ANEEL, ANATEL)
Incentivo ao desenvolvimento industrial de compressores de alta pressão para hidrogênio.	A	X	X		MDIC, ABDI
Incentivo ao desenvolvimento industrial de tanques de armazenamento de hidrogênio de altas pressões	A	X	X		MDIC, ABDI
Incentivo ao desenvolvimento nacional de sistemas de liquefação de hidrogênio, incluindo a normatização	A	X	X		MDIC, ABDI, ABNT

Sistemas de utilização do hidrogênio

RECOMENDAÇÕES DE INCENTIVO AOS SISTEMAS DE UTILIZAÇÃO DO HIDROGÊNIO					
RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	CURTO PRAZO (0 A 5 ANOS)	MÉDIO PRAZO (5 A 10 ANOS)	LONGO PRAZO (10 A 15 ANOS)	INSTITUIÇÕES
ROTEIRO TECNOLÓGICO					
Financiamento do desenvolvimento de células a combustível tipo PEM	MA	X			CNPq, FAPs, MCT
Financiamento do desenvolvimento de células a combustível tipo Etanol Direto	MA	X	X	X	CNPq, FAPs, MCT
Financiamento do desenvolvimento de células a combustível tipo Óxido Sólido	M	X	X	X	CNPq, FAPs, MCT
ROTEIRO POLÍTICO-INSTITUCIONAL					
Abertura de linhas de financiamento para empresas de pequeno e médio porte para aquisição de equipamentos e infraestrutura	MA	X	X		FAPs, FINEP, BNDES

RECOMENDAÇÕES DE INCENTIVO AOS SISTEMAS DE UTILIZAÇÃO DO HIDROGÊNIO

RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	CURTO PRAZO (0 A 5 ANOS)	MÉDIO PRAZO (5 A 10 ANOS)	LONGO PRAZO (10 A 15 ANOS)	INSTITUIÇÕES
Realização de projetos pilotos para demonstração	MA	X	X		MCT, MME, FINEP, BNDES

DOCUMENTOS CGEE EM HIDROGÊNIO

CGEE. Relato intermediário: Carro elétrico vs carro a hidrogênio. 10p. Brasília, DF. Jan/2010.

CGEE. Hidrogênio Energético. Pesquisa estruturada. Relatório consolidado. 130p. Brasília, DF. Jul/2009.

CGEE. O Estudo do Hidrogênio. Nota técnica: consolidação de relatórios. 103p. Brasília, DF. Jul/2009.

CGEE. Hidrogênio Energético – Cenário Atual. 224p. Relatório final. Brasília, DF. Jun/2009.

CGEE. Hidrogênio Energético – Cenário Atual. Valores investidos, tipos de investimento e origem, natalidade e mortalidade de empresas (Produto 3). 42p. Brasília, DF. Jun/2009.

CGEE. Hidrogênio Energético – Cenário Atual (Produto 2). 42p. Brasília, DF. Jun/2009.

CGEE. Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. Parcerias Estratégicas. p. 795-820. n. 20, pt. 2, Jun/2005.

CGEE. Programa mobilizador de célula a combustível. Parcerias Estratégicas, p. 1619-1626. n. 20, pt. 5, Jun/2005.

CGEE. Programa brasileiro de células a combustível: proposta para o programa. 31p. Jun/2002.

DEFC	Direct Ethanol Fuel Cell
EUA	Estados Unidos da América
FAPs	Fundações de Amparo à Pesquisa
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GD	Geração Distribuída
GNV	Gás Natural Veicular
ICTs	Instituições de Ciência e Tecnologia
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPHE	International Partnership for the Hydrogen Economy
ISO	International Standards Organization
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
MF	Ministério da Fazenda
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MPOG	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
NCP	Normas, Códigos e Padrões
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PEM	Proton Exchange Membrane
PEMFC	Proton Exchange Fuel Cell

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CaC	Célula a Combustível
CC	Corrente Contínua
CENEH	Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
CRQ	Conselho Regional de Química



Procac	Primeiro programa do MCT para o hidrogênio
ProH ₂	Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RHAE	Programa de Capacitação de Recursos Humanos para Atividades Estratégicas
Sinmetro	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
TIB	Tecnologia Industrial Básica
US-DOE	Department of Energy of United States of America

COLABORADORES ESPECIALISTAS QUE APRESENTARAM SUGESTÕES AO TEXTO DESTE DOCUMENTO

1. **Adonis Marcelo Saliba-Silva, IPEN.** É pesquisador do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (I-PEN-CNEN/SP), pesquisador sênior do Centro de Combustível Nuclear do IPEN, membro do Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias de Reatores Avançados, professor responsável pela disciplina em hidrogênio não-carbogênico (produção e tecnologias) do programa de pós-graduação do CPG-IPEN/USP. Suas linhas de pesquisa se relacionam à caracterização de materiais metálicos e para combustíveis nucleares e, também, em pesquisa de tecnologias em produção de hidrogênio por vias não-carbogênicas.
2. **Agenor Osório de Freitas Mundim, FBDS.** Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais. É coordenador de projetos na área de energia da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Foi chefe do Departamento de Alta Tensão e Potência do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPTEL. Tem experiência na área de equipamentos elétricos, eficiência energética e energias renováveis; desenvolve estudos relacionados com as mudanças climáticas globais.
3. **Ailton de Souza Gomes, IMA/UFRJ.** Possui graduação em engenharia química e química industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e doutorado em química pela University of Pennsylvania. Pós-doutorado na Universidade de Michigan e foi professor visitante na Case Western Reserve em Cleveland. Coordenou a elaboração do programa de pós graduação do mestrado e doutorado em ciências e tecnologia de polímeros e criou o curso de especialização em processamento de plásticos e borracha do IMA/UFRJ. Atualmente é professor titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de química, com ênfase em polímeros e colóides, atuando principalmente nos seguintes temas: polímeros, polimerização, sínteses, nanocompósitos e membranas para uso em célula a combustível. Coordenou o 41st IUPAC World Polymer Congress em 2006. Recebeu o Premio ABPOI-Eloisa Mano 2007.
4. **Ana Maria Rocco, UFRJ.** É professora da Escola de Química (EQ) da Universidade Federal do Rio

de Janeiro (UFRJ). Foi coordenadora da Linha de Nanopartículas e Nanocompósitos do Instituto Virtual de Nanociência e Nanotecnologia (IVNN) da FAPERJ, membro do Conselho Editorial da revista Química Nova e coordena o Grupo de Materiais Condutores e Energia (GMCE) na Escola de Química, UFRJ. Atua na área de Química, com ênfase em Química do Estado Condensado, Nanotecnologia e no setor de Energia. Seus projetos concentram-se no estudo de materiais poliméricos orgânicos, inorgânicos, nanocompósitos e com propriedades de condução iônica, eletrônica e eletrocatalisadores, assim como seus testes em protótipos de células a combustível, capacitores eletroquímicos e baterias.

5. **Antonio Carlos Dias Ângelo, FC/UNESP.** Possui Bacharelado e Licenciatura em Química pela Universidade de São Paulo (1982), mestrado em Físico-Química pela Universidade de São Paulo (1987) e doutorado em Físico-Química pela Universidade de São Paulo (1993). Fez estágio de pós-doutorado na Université de Sherbrooke, Quebec, Canadá e visita científica de um ano na Cornell University, New York, EUA. Tem se dedicado desde o início de sua atuação científica ao desenvolvimento de dispositivos eletroquímicos com ênfase em eletrólise da água para produção de hidrogênio e células a combustível. É Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, onde foi contratado em 1988.
6. **Artur José Santos Mascarenhas, UFBA.** Possui graduação em química pela Universidade Federal da Bahia (1994), mestrado em química pela Universidade Federal da Bahia (1997) e doutorado em química pela Universidade Estadual de Campinas (2004). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal da Bahia, credenciado no programa de pós-graduação em química (PPGQ-UFBA) e professor colaborador do programa de pós-graduação em química aplicada da Universidade do Estado da Bahia (PGQA-UNEB). Tem experiência na área de química, com ênfase em síntese de materiais e catálise heterogênea, atuando principalmente nos seguintes temas: catálise ambiental e peneiras moleculares.
7. **Carla Eponina Hori, FEQ/UFU.** Possui graduação em engenharia química pela Universidade Federal de Uberlândia (1987), mestrado em engenharia química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1990) e doutorado em chemical engineering and material science - Wayne State University (1997), Michigan, Estados Unidos. Atualmente é professora associada da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de cinética química e catálise, atuando principalmente nos seguintes temas: ceria, ceriazirconia, oxidação parcial e reforma do metano, reforma de etanol, geração de gás de síntese e geração de hidrogênio.
8. **Cesar Augusto Moraes de Abreu, UFPE.** Professor titular em engenharia química na Universidade Federal de Pernambuco. Graduação em engenharia química pela Universidade Federal do Ceará (1972); mestrado em físico-química aplicada pela Universidade Federal de Pernambuco (1978); doutorado em Génie de Procédés Industriels na Université de Technologie de Compiègne/UTC, França, (1985); e pós-doutorado em reatores catalíticos multifásicos no LSGC/CNRS-ENSIC, Nancy, França. Tem experiência na área de engenharia da reação química, com ênfase em engenharia de processos e reatores catalíticos, atuando principalmente nos seguintes temas: hidrogenação e oxidação catalíticas de carboidratos e lignina da biomassa vegetal, reformas catalíticas do gás natural, reatores catalíticos trifásicos. Coordena e lidera o Laboratório de processos catalíticos da UFPE, cujos integrantes compõem o grupo de pesquisas (GRQC) em reatores químicos e catálise (CNPq) e o grupo de pesquisas de processos químicos de valorização da biomassa (CNPq).

9. **Cleiton Bittencourt da Porciúncula, UFRGS.** Possui graduação em Engenharia Química pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na área de Simulação Fluidodinâmica Computacional aplicada a processos de separação por membranas. Atualmente é aluno de doutorado do mesmo programa de pós-graduação, cujo tema da tese é “célula de combustível e geração de hidrogênio por meio da corrosão alcalina do alumínio.” Também atua, na mesma Universidade, em projetos de pesquisa na área de gaseificação e combustão de biomassa e filtração a seco de particulados.
10. **Edson Antonio Ticianelli, IQ/USP.** É graduado em Química com doutorado em Físico-Química pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente é professor titular da USP, tendo sido diretor do Instituto de Química de São Carlos. Publicou 2 livros e 135 artigos em periódicos e capítulos de livros. Possui 1 produto tecnológico registrado, 2 processos ou técnicas registrados e 300 itens de produção técnica, incluindo trabalhos em congressos. Orientou 16 dissertações de mestrado e 19 teses de doutorado, além de 08 pós-doutorandos e 22 trabalhos de iniciação científica nas áreas de química e engenharia de materiais e metalúrgica. Atua na área de química, com ênfase em eletroquímica, e áreas: oxidação de hidrogênio, redução de oxigênio, célula a combustível, electrocatálise, eletrocatalisadores dispersos, eletrodo de hidreto metálico, bateria níquelhidreto.
11. **Eduardo T. Serra, CEPEL.** Graduado em engenharia metalúrgica pelo Instituto Militar de Engenharia (1970), com mestrado (1975) e doutorado (1980) em engenharia metalúrgica e de materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ocupa a função de assistente do diretor geral do Centro. Possui 43 artigos publicados em periódicos, 110 trabalhos completos e 11 resumos publicados em anais de congressos. Autor e coautor de 2 livros técnicos publicados: Células a Combustível: Uma Alternativa para a Geração de Energia e Corrosão e Proteção Anticorrosiva dos Metais no Solo. Editor e organizador de 3 livros publicados e de 4 capítulos de livros. Atua na área de engenharia metalúrgica e de materiais, com ênfase em seleção de materiais, corrosão, supercondutividade e na área de energia com ênfase em células a combustível, hidrogênio e geração heliotérmica.
12. **Emília Satoshi Miyamaru Seo, IPEN.** Possui graduação em engenharia química, mestrado em tecnologia nuclear pela Universidade de São Paulo e doutorado em ciências pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professora e pesquisadora da Comissão Nacional de Energia Nuclear e Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Tem experiência nas áreas de engenharia de materiais e metalúrgica e meio ambiente, com ênfase em materiais não-metálicos, metálicos, gestão ambiental, cloração e redução; atuando principalmente nos seguintes temas: células a combustível (síntese, processamento e caracterização de materiais cerâmicos), gestão de resíduos industriais, reciclagem de resíduos industriais, análise do ciclo de vida, gestão integrada em saúde, segurança e meio ambiente, pelletização, obtenção de cloretos metálicos e tecnologia de obtenção de zircônio metálico e de silício metálico.
13. **Ennio Peres da Silva, IFI/Unicamp.** Possui graduação em física pela Universidade de São Paulo, mestrado em física pela Universidade Estadual de Campinas e doutorado em engenharia mecânica pela Faculdade de Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é coordenador do Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP (LH2), secretário executivo do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) e professor da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência nas áreas de física e engenharia mecânica, com ênfase em aproveitamento de fontes renováveis de energia, geração distribuída e em sistemas isolados,

atuando principalmente nos seguintes temas: hidrogênio, células a combustível, energia, energia elétrica e fontes renováveis.

14. **Estevam Vitorio Spinacé, IPEN-CNEN/SP.** É bacharel em química com atribuições tecnológicas pelo Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, mestre e doutor em ciências pelo Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. É pesquisador titular do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP), atualmente no Centro de Células a Combustível e Hidrogênio onde desenvolve pesquisas na área de catalisadores para células a combustível tipo PEMFC.
15. **Fabio Coral Fonseca, IPEN.** Possui graduação em Física, mestrado e doutorado pela Universidade de São Paulo. Desde 2003 é pesquisador do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), envolvido com a pesquisa e desenvolvimento de materiais para energia, com ênfase em materiais cerâmicos para células a combustível. É bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
16. **Fátima Maria Sequeira de Carvalho, IPEN-CNEN/SP.** Possui graduação em Química, mestrado e doutorado em química analítica pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Atualmente é professora da Universidade de São Paulo e pesquisadora titular do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Tem experiência na área de química e tecnologia química, atuando principalmente nos seguintes temas: separação e purificação de elementos, ciclo do combustível nuclear e reforma de combustíveis renováveis para obtenção de hidrogênio.
17. **Gilmar Clemente Silva, UFF.** Possui doutorado e mestrado em físico-química pela Universidade Estadual Paulista - UNESP, bacharelado em química também pela UNESP. Foi pesquisador na COPPE - UFRJ (2002-2005) no âmbito do Programa Proset/CNPq. Foi vice-coordenador da Rede PaCOS - Rede Cooperativa Pilha a Combustível de Óxido Sólido, criada no âmbito do Programa Nacional de Células a Combustível PROCAC do Ministério da Ciência e Tecnologia. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal Fluminense (UFF), campus de Volta Redonda, onde chefiou o Departamento de Ciências Exatas (2008-2009). Temas de interesse: novos sistemas de energia, especialmente relacionado às células a combustíveis microbiana, conversão bioeletroquímica de biomassa, produção bioeletroquímica de hidrogênio; eletroquímica ambiental, com ênfase para remediação eletrocinética de solos contaminados com metais pesados.
18. **Heloyza Martins Carvalho Andrade, UFBA.** Possui graduação em química pelo Instituto de Química da UFBA; mestrado e doutorado em química pelo Instituto de Química da USP e pós-doutorado na Universidade Católica de Louvain, Bélgica, com extensões na Alemanha. Na UFBA, é docente no Instituto de Química e participa do CIENAM (Centro In-terdisciplinar de Energia e Ambiente) e do INCT-E&A do CNPq, do qual é bolsista de produtividade. Tem experiência na área de química, atuando principalmente nos seguintes temas: catálise (catalisadores e processos catalíticos) e materiais, com foco em energia e no meio ambiente.
19. **João Guilherme Rocha Poço, IPT.** Possui graduação em Ciências pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras Oswaldo Cruz, graduação em Química pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras Oswaldo Cruz, graduação em Química Industrial pela Escola Superior de Química Oswaldo Cruz, mestrado e doutorado em Engenharia Química pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É pesquisador no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/SP) desde 1981, atualmente no Laboratório de Tecnologia de Partículas e Processos Químicos. Tem experiência na área de Química,

atuando principalmente nos seguintes temas: catálise, processos catalíticos, catalisadores, síntese de zeólitas e outros materiais inorgânicos, polimerização e reações do silício grau químico.

20. **Joelma Perez, USP.** Possui graduação em química pela Universidade de São Paulo, mestrado e doutorado em físico-química pela Universidade de São Paulo. Docente da USP, Instituto de Química de São Carlos, membro do grupo de eletroquímica. Tem experiência na área de química, com ênfase em eletroquímica, atuando principalmente nos seguintes temas: eletrocatalise, desenvolvimento de materiais eletródicos e células a combustível.
21. **José Antenor Pomilio, FEEC/UNICAMP.** É engenheiro eletricista, mestre e doutor em engenharia elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Foi chefe do grupo de eletrônica de potência do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. Realizou estágios de pós-doutoramento junto à Universidade de Pádua e à Terceira Universidade de Roma, ambas na Itália. Foi presidente da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP) e membro de diversas diretorias desta entidade. Foi coordenador do comitê de eletrônica de potência e máquinas elétricas da Sociedade Brasileira de Automática (SBA) (duas gestões) e atualmente é membro eleito do Conselho Superior desta Sociedade. Foi membro do comitê administrativo da IEEE Power Electronics Society. É editor associado da Transactions on Power Electronics (IEEE) e de Controle e Automação (SBA). É professor da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp desde 1984.
22. **José Geraldo de Melo Furtado, Cepel.** É pesquisador do centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Eletrobras - Cepel), sócio-membro da ABM (Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais), da SBPMat (Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais), da ACERS (American Ceramic Society) e da SBMM (Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise). Suas linhas de pesquisa se relacionam à caracterização e processamento de electrocerâmicas, semicondutores, materiais para células a combustível, eletroquímica, tecnologias do hidrogênio, biogás, análise energética e avaliação econômica de projetos e processos.
23. **José Octavio Armani Paschoal, IPEN/CNEN.** É formado em Engenharia de Materiais (1975), pela UFSCar, com Mestrado pela Escola Politécnica/USP (1978) – Departamento de Engenharia Metalúrgica, Doutorado pela Universidade de Karlsruhe (1983), Alemanha Departamento de Engenharia de Materiais e Pós-Doutorado pela UFSCar (1995). Desde de 1975 trabalhando no IPEN/CNEN, onde exerceu várias atividades e desenvolvimento de projetos de pesquisa em materiais e energia, tendo assumido várias funções administrativas, como Chefe de Divisão, de Departamento e Diretoria do IPEN. Atualmente, é o Coordenador da Rede Sistema e Integração do Programa Brasileiro de Hidrogênio do MCT. É também o Presidente do Centro Cerâmico do Brasil e do Instituto Inova de São Carlos, responsável pela implantação e gestão do Parque Eco-Tecnológico Damha de São Carlos.
24. **Luciana Almeida da Silva, IQ/UFBA.** Possui graduação em química pela Universidade Federal da Bahia, mestrado e doutorado em química também pelo Instituto de Química da UFBA e pós-doutorado no CALTECH (California Institute of Technology), Estados Unidos. É professora associada do IQ-UFBA, pesquisadora do CNPq, nível 2, e membro afiliado da Academia Brasileira de Ciências. Tem experiência no desenvolvimento de sistemas fotoquímicos híbridos para produção fotocatalítica de hidrogênio e na síntese de semicondutores nanoestruturados aplicados a reações fotocatalíticas.

25. **Luiz Antônio Magalhães Pontes, UNIFACS.** É Engenheiro Químico pela UFRJ, com mestrado na COPPE/UFRJ em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, em Eletrocatalisadores de Níquel Raney para Pilhas a combustível e o doutorado em Engenharia Química pela UNICAMP em Otimização do Processo de Reforma de Nafta. Trabalhou na COPENE (atual BRASKEM) por 13 anos onde foi gerente da área de P&D durante 3 anos. Foi professor adjunto na UFBA e atualmente é professor da UNIFACS no curso de Engenharia Química e no Mestrado em Energia. Coordena a Rede de Catálise do Norte Nordeste – RECAT e foi representante do Brasil na Rede CYTED de Produção e Uso de Hidrogênio 2007-2009. Atualmente orienta teses e dissertações envolvendo produção e uso de hidrogênio.
26. **Marcelo Linardi, IPEN/CNEN-SP.** É graduado em engenharia química pela Universidade Estadual de Campinas (Uni-camp), com mestrado em ciências nucleares pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), doutorado em engenharia química pela Universidade de Karlsruhe, Alemanha (1992) e pós-doutorado pela Universidade de Darmstadt, Alemanha. Atua como pesquisador titular no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN-SP. Tem experiência na área de química e engenharia química, com ênfase em energias alternativas, atuando principalmente nos temas: célula a combustível, eletroquímica, eletrocatalise, hidrogênio e etanol. Atualmente, responde pelo cargo de gerente do Centro de Células a Combustível e Hidrogênio (CCCH) do IPEN.
27. **Maria do Carmo Rangel, UFBA.** Possui graduação em engenharia química e mestrado em química (UFBA) e doutorado em química (UNICAMP); pós-doutorado pela Universidad Autonoma de Madrid e pelo Centre National de la Recherche Scientifique. Atualmente, é professora titular da UFBA e atua nos programas de pós-graduação em química da UFBA e da UNEB, bem como no programa de mestrado em engenharia química da UFBA. Atua no desenvolvimento de catalisadores para aplicações industriais e ambientais, com ênfase em petróleo e petroquímica, principalmente nos seguintes temas: catalisadores para a geração de hidrogênio e de gás de síntese (reforma de gás natural, reação de WGS, reação de PROX), reação de Fischer-Tropsch, reações de transalquilação, síntese de estireno, reforma de nafta, da glicerina e da biomassa, abatimento de fenóis em efluentes industriais e catalisadores para células a combustível, além do desenvolvimento de nanocatalisadores para diferentes aplicações e de carvões para uso em catálise e em adsorção.
28. **Mariana de Mattos Vieira Mello Souza, UFRJ.** Professora da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui graduação em engenharia química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e doutorado em Engenharia Química pela COPPE-UFRJ. É docente do corpo permanente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da UFRJ e coordenadora do laboratório de tecnologias do hidrogênio. Tem experiência na área de catálise e tecnologia química, atuando principalmente nos seguintes temas: produção e purificação de hidrogênio, gás de síntese, células a combustível, catalisadores metálicos, hidrotalcitas e materiais nanoestruturados. Recebeu o prêmio Pesquisador em Catálise em 2009 e Jovem Cientista do Nosso Estado (FAPERJ) em 2008.
29. **Martin Schmal, Coppe/UFRJ.** Possui graduação em engenharia química pelo Centro Universitário da FEI, mestrado em engenharia química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e doutorado em engenharia química - Technische Universität Berlin. Atualmente é professor emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de química, com ênfase em cinética química e catálise, atuando principalmente nos seguintes temas: catálise heterogênea, reatores, energia, catálise ambiental catalisadores (metais, óxidos). Professor emérito (2008), membro titular da Academia Brasileira de Ciências (ABC) desde 1998. Prêmios: Humbolt Award, 2003; Prêmio Ciência e Tecnologia

do México, 2003; Prêmio Scopus/Elsevier/Capes, 2009. Corpo editorial: Applied Catalysis, Catalysis Today, Anais da Academia Brasileira de Ciências. Presidente da Sociedade Brasileira de Catálise (1998-2008). Membro efetivo do International Catalysis Society (2000-2009).

30. **Maurício Pereira Cantão, LACTEC.** Doutor em Ciências pelo Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas. Pesquisador sênior do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) desde 1994, tendo exercido os cargos de Gerente de Departamento e Superintendente de Tecnologia. Tem experiência em síntese e caracterização de materiais e atua na área de energias alternativas, com ênfase em células a combustível e biomassa. Atualmente coordena projetos voltados à produção de hidrogênio a partir do etanol e do metanol, integração de reformadores e células a combustível, e uso energético da biomassa. Coordenador do curso de mestrado profissional, PRODETEC, desde 2007.
31. **Nadia Regina Camargo Fernandes Machado, UEM.** Possui graduação em Engenharia Química pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (1978), mestrado em Engenharia Química (Catálise, Cinética e Reatores Químicos) pela COPPE/UFRJ (1983) e Doutorado em Eng. Química (CCRQ – Reforma de Metanol) pela COPPE/UFRJ (1995). Exerce a função de professora no Departamento de Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá. Principais temas de pesquisa: produção de Hidrogênio pela reforma do etanol com vapor d'água; Catálise Ambiental (fotocatálise) e Síntese de Zeólitas com aplicações em catálise e purificação de efluentes por adsorção e troca iônica. Já orientou 63 trabalhos de Iniciação Científica, 19 dissertações de Mestrado e 9 teses de Doutorado. Publicou 45 artigos em revistas especializadas e 186 comunicações em eventos científicos.
32. **Newton Pimenta Neves Jr., UNICAMP/CENEH.** É Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo, Mestre em Física e Doutor em Ciências na área de Química Analítica pela Universidade Estadual de Campinas. Atua como pesquisador do Laboratório de Hidrogênio da Unicamp desde 1979, como Secretário-Executivo do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio e chairman do Workshop Internacional sobre Hidrogênio e Células a Combustível desde sua primeira edição em 2002. Tem experiência na área de tecnologias do hidrogênio e atualmente é coordenador ou colabora em vários projetos para produção de hidrogênio a partir da reforma do etanol e da eletrólise da água, no planejamento energético envolvendo fontes renováveis de energia e aplicações de células de combustível. É coordenador do Curso de Segurança do Hidrogênio desenvolvido para orientar pequenos usuários que trabalham com hidrogênio em laboratórios e indústrias.
33. **Nilson Romeu Marcilio, UFRGS.** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1973), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ (1979) e doutorado em Cinética Química e Catálise pela Université Claude Bernard Lyon I - França (1989). Atualmente é professor titular do Departamento de Engenharia Química e professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFRGS, com credenciamento para orientação de alunos de mestrado e de doutorado. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Energia, Gaseificação/Combustão de Carvão Mineral, Cinética Química e Catálise Heterogênea, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento térmico de resíduos sólidos industriais, recuperação de cromo proveniente das cinzas de incineração de resíduos do setor coureiro-calçadista, desidrogenação catalítica de olefinas, síntese de Fischer-Tropsch, entre outros.

34. **Rafael Amaral Shayani, UnB.** É professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília. Graduiu-se em engenharia elétrica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1998 e obteve o grau de Mestre em 2006, pela Universidade de Brasília. Atualmente cursa o doutorado na mesma Instituição, onde pesquisa sobre Energia Solar Fotovoltaica. Participou de projeto de geração de energia através de painéis fotovoltaicos com armazenamento em hidrogênio através de eletrolisador no Centro de Pesquisas Canguçu, no Tocantins. Shayani foi premiado no VIII Congresso Brasileiro de Energia, em 1999, onde apresentou uma comparação de custos completos sobre produção de energia com hidrelétricas e termelétricas a gás natural.
35. **Renan Tavares Figueiredo, ITP-UNIT.** Possui graduação em engenharia química pela Universidade Federal de Sergipe e Licenciatura Plena em Química pelo CEFET-MG, mestrado em química pelo Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia – UFBA, doutorado em físico-química pela Universidade Autônoma de Madrid – UAM e o Instituto de Catalis y Petroleoquímica – ICP e pós-doutorado na Universidade Metropolitana de México - UAM. É pesquisador no Instituto de Tecnologia e Pesquisas – ITP da Universidade Tiradentes – UNIT, Aracaju – Sergipe desde 1997, onde coordena o Laboratório de Catálise Energia e Materiais - LCEM. Tem experiência na área de Química, atuando principalmente nos seguintes temas: catálise, processos catalíticos, síntese de catalisadores para produção de hidrogênio e sua purificação. Atua na área ambiental na degradação fotocatalítica de poluentes orgânicos líquidos, energia solar e no tratamento de resíduos sólidos.
36. **Roberto Cordaro, Nuvera Fuel Cells.** É presidente e CEO da Nuvera Fuel Cells, empresa líder mundial em concepção, desenvolvimento e fabricação de pilhas de célula a combustível tipo PEM, processadores multicombustível e sistemas de alimentação de células a combustível integrado. Ele também atua como membro do quadro de diretores da empresa. Atualmente conduz a visão estratégica global da Nuvera para comercialização no curto prazo de aplicações inovadoras do hidrogênio em células a combustível, na geração distribuída e no mercado automotivo. Roberto é formado em Engenharia Mecânica e Industrial pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo e é graduado pela Stanford Executive Program da Stanford Graduate School of Business.
37. **Sérgio Pinheiro de Oliveira, Inmetro.** Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Úrsula, com mestrado pelo Instituto Militar de Engenharia em Ciência dos Materiais, e doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais no Laboratório de Hidrogênio da Coppe/UFRJ. É Chefe Substituto do Laboratório de Força do Inmetro, Pesquisador-tecnologista em Metrologia e Qualidade, e é responsável pelo projeto institucional de hidrogênio energético. Pesquisa confiabilidade metrológica e modelos matemáticos para neutralizar fontes de erros em medições em CaCs. Experiência em metrologia, metalurgia, ensaios mecânicos, fragilização pelo hidrogênio e auditoria de laboratórios de calibração e ensaios. Atua nos comitês técnicos da ABNT de hidrogênio, gestão de energia, ferramentas e ensaios mecânicos, sendo o Secretário do último. É o representante brasileiro no Grupo de Trabalho de Regulamentos, Códigos, Padrões e Normas da IPHE e no Comitê Técnico de Rastreabilidade Metrológica da IMEKO (Confederação Mundial de Metrologia).
38. **Silvio Carlos Aníbal de Almeida, UFRJ.** É graduado em engenharia pela Universidade de São Paulo (EPUSP, 1982), mestre em engenharia mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1987) e doutor em engenharia mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1992). Atualmente é professor adjunto IV da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de engenharia mecânica, com ênfase em termodinâmica, atuando principalmente nos seguintes temas: células a combustível, hidrogênio, simulação de veículos,

combustíveis alternativos, sistemas híbridos, biodiesel, motores de combustão interna, cogeração, eficiência energética, geração descentralizada de energia e biogás.

39. **Soraia Teixeira Brandão, UFBA.** Possui graduação em Engenharia Química, UFBA (1988), Especialização em Petroquímica, ENI / Università degli Studi di Bologna, Itália (1989) e Doutorado em Engenharia Química - Università degli Studi di Milano / Politecnico di Milano, Itália (1993). Faz parte do corpo docente permanente do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia (IQ-UFBA) desde 1995, sendo credenciada no Programa de Pós-graduação em Química da UFBA e no Doutorado em Engenharia Química da UFBA. Realizou pós-doutorado em Instituições de excelência como o Instituto de Catálise e Petroquímica, (ICP/CSIC), Madri (2002), Politecnico di Milano, Milão (2003) e Universidade Paris VII, Paris (2004). Atualmente é Professor Associado do IQ - UFBA, onde coordena o Grupo de Pesquisa em Catálise e Polímeros (GCP) e o Laboratório de Raios X e Microscopia Eletrônica. Faz parte do Conselho de Pesquisa da UFBA, da Diretoria da Sociedade Brasileira de Catálise (SBCat), do Comitê Científico da Rede Nacional de Combustão (RNC), além de ser membro da Rede Nacional de Hidrogênio e Red Iberoamericana de Hidrógeno. Sua área de atuação é Cinética Química e Catálise, atuando principalmente nos seguintes temas de pesquisa: Conversão catalítica do gás natural a hidrogênio, Combustão catalítica e Conversão catalítica da biomassa a bioóleo e hidrogênio.

40. **Suleiman José Hassuani, CTC.** Possui graduação em engenharia mecânica pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA. É coordenador do Programa de Pesquisa de Produção de Energia e Engenharia Industrial do CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, para o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como sua disseminação na indústria sucroenergética. Atua desde 1989 na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para a indústria canavieira, incluindo diversos projetos relacionados à recuperação de biomassa, processamento de bagaço e palha, geração de energia, aumento da eficiência energética e tecnologias avançadas de geração.

41. **Tulio Matencio, UFMG.** É professor do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais e pesquisador do CNPq (nível 2). Concluiu o doutorado em Química (especialidade Eletroquímica) na Universidade de Grenoble I (Joseph Fourier) em 1991. Fez Pós-Doutorado no Instituto de Química da UNICAMP (1992-1994) atuando na área de caracterização eletroquímica de Polímeros Condutores Eletrônicos. Atualmente suas principais pesquisas são realizadas no Laboratório de Materiais e Pilhas a Combustível. Tem experiência na área de Química dos Materiais, com ênfase em caracterização elétrica e eletroquímica de materiais poliméricos e cerâmicos. Desenvolve projetos na área de pilha a combustível de oxido sólido em parceria com empresas como a CEMIG e possui colaborações internacionais com pesquisadores Alemães, Francês e Português.

42. **Vanessa de Freitas Cunha Lins, UFMG.** É engenheira química, doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, com pós-doutorado na área de corrosão de armaduras em concreto. É professora associada da UFMG e pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Engenharia de Superfície da Universidade Federal de Minas Gerais, sócio-membro da ABM (Associação Brasileira de Materiais, Metalurgia e Mineração), e da SBPMat (Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais). Suas linhas de pesquisa se relacionam à corrosão atmosférica, processos corrosivos da indústria metalúrgica e química, materiais para células a combustível, eletroquímica, recobrimentos poliméricos (PET) e compósitos a base de PET para materiais da indústria petroquímica e de energia.

43. **Walter Issamu Suemitsu, UFRJ.** Possui graduação em engenharia elétrica pela Universidade de São Paulo (1975), mestrado em engenharia elétrica pela COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro (1979) e doutorado em engenharia elétrica pela École National Supérieur D'ingénieurs Électriciens de Grenoble (1986). Atualmente é professor associado da Escola Politécnica e da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro e exerce o cargo de decano do Centro de Tecnologia. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em eletrônica de potência e acionamentos, atuando principalmente nos seguintes temas: conversores eletrônicos, acionamento eletrônico de máquinas elétricas, aplicações de controle fuzzy e redes neurais no controle de máquinas elétricas. Atualmente tem atuado também com a aplicação de conversores eletrônicos em sistemas de geração utilizando fontes renováveis.

COLABORADORES DE AGÊNCIAS PÚBLICAS E PRIVADAS QUE PARTICIPARAM NOS DEBATES DESTES DOCUMENTOS

1. **Adriano Duarte Filho, MCT.** Coordenador-Geral de Tecnologias Setoriais da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ministério da Ciência e Tecnologia, com foco de atuação nas áreas de energia e recursos minerais. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia Mauá, Bacharel em Física pela USP e Mestre em Administração pela UFRGS. Na área industrial atuou por 23 anos na Petrobras nas áreas de engenharia de equipamentos de petróleo, automação industrial e gestão de projetos de engenharia.
2. **Antonio Carlos Marques de Araujo, SPE/ANEEL.** Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1997), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (2001) e doutorado em Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2007). Com atuação no setor elétrico desde 1997, atualmente é especialista em regulação dos serviços públicos de eletricidade, lotado na Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética.
3. **Aurélio Calheiros de Melo Junior, ANEEL.** Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB (1996), especialização em Mudanças Globais e Desenvolvimento Sustentável pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (1999) e mestrado em Planejamento Energético pela UFPB (1999). Atualmente é assessor da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE) da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, área responsável pela regulação dos programas de P&D e EE do setor de energia elétrica do país.
4. **Cássio Marx Rabello da Costa, ABDI.** É Especialista em política industrial da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e integrante dos comitês executivos dos programas de Siderurgia, Mineração e Produção Sustentável da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP). É graduado em engenharia mecânica pela UFMG, mestre em engenharia de produção pela UFSC. Na área financeira, atuou por 25 anos no Banco do Brasil e atualmente lidera o Projeto de Desenvolvimento do Setor de Capital Empreendedor – Private Equity e Venture Capital, pela ABDI.

5. **Elyas Ferreira de Medeiros, CGEE.** Tem doutorado em engenharia aeroespacial pela Universidade do Texas em Austin. Mestrado e graduação em engenharia aeronáutica pelo ITA. É oficial superior da Força Aérea Brasileira, tendo cumprido o tempo regulamentar do serviço ativo até o posto de tenente coronel. Desde 2006, é integrante das equipes de líderes de estudos prospectivos em ciência, tecnologia e inovação do CGEE. Em sua carteira de estudos no CGEE para o MCT e agências de governo, tem coordenado a elaboração de documentos para subsidiar políticas públicas em CT&I nas áreas de Sistemas Inerciais, Materiais Avançados e nos setores da Indústria Aeronáutica Brasileira, Siderurgia, Materiais Avançados, Hidrogênio Energético, Eletricidade Solar (energia fotovoltaica).
6. **Fernando Cosme Rizzo Assunção, CGEE.** É doutor em ciência dos materiais pela Universidade da Flórida, com pós-doutorado na Universidade da Califórnia. Foi professor no Institute of Materials Research, na University of Leeds na Inglaterra. É professor titular da PUC-Rio e pesquisador 1A do CNPq. Foi diretor do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio e Decano do Centro Técnico e Científico da Instituição. Desenvolveu projetos de colaboração com pesquisadores de diversos países, entre os quais: Alemanha, Itália, China, EUA, Inglaterra e Sérvia. Foi Diretor Científico Adjunto da FAPERJ. Foi diretor e presidente da Associação Brasileira de Materiais, Metalurgia e Mineração (ABM). É membro titular da Academia Brasileira de Ciências e membro titular da Academia Pan americana de Engenharia. Atualmente é Diretor do CGEE.
7. **Gerhard Ett, ELECTROCELL.** Doutorado em Materiais pela Universidade de São Paulo - USP/IPEN (1998) com parceria da Technische Universität Darmstadt/Alemanha (Dr.Harmut Wendt) e da Ecole Nationale Supérieure d'Electrochimie et d'Electrometallurgie de Grenoble/França (Dr.Jacques Bouteillon). Graduado em Engenharia Química (1991), Bacharelado em Química (1992) e Técnico em Mecânica de Aeronaves (1989). Vice-presidente na Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha – VDI 2010/2012 (eleito 3o Mandato - 140 mil associados); Diretor (eleito 3o Mandato) da Associação Brasileira de Tratamento de Superfície - ABTS(2010-2013); Professor de eletroquímica, materiais e tratamento de superfície pela pós-graduação da Faculdade Oswaldo Cruz e ABTS. Coordenador na ABNT da Comissão em Tecnologia do Hidrogênio e células a combustível, membro da comissão de Granalhas de aço e representante da ISO. Publicou 3 capítulos de livro, 1 livro, 5 pedidos de patente no Brasil, 1 PCT e 6 no exterior. Prêmios: SAE (2000), CNI (2004), FIESP (2004), WWR/FGV(2006), ANPEI (2007) e FINEP(2009). Diretor e fundador da Electrocell. Atua na área de Célula a combustível; tratamento de superfícies, materiais e baterias.
8. **José Gustavo Sampaio Gontijo, SETEC/MCT.** Engenheiro Elétrico (UnB, 2002), Pós-Graduado em Gestão Pública (2010), Mestrado em Ciências Mecânicas (em andamento). Trabalhou na Agência Nacional de Telecomunicações, na Gerência de Engenharia do Espectro, sendo responsável pela análise e elaboração de propostas de regulamentação relacionada ao uso do espectro de radiofrequência. Foi responsável pela análise de propostas normativas e legislativas relacionadas às radiações não ionizantes. Trabalhou na Secretaria de Política de Informática do Ministério da Ciência e Tecnologia, sendo responsável pela elaboração de políticas relacionadas à geração de recursos humanos em TI, ao Processo Produtivo Básico de Microeletrônica, à Política de Desenvolvimento Produtivo, à implantação da TV Digital no Brasil, bem como a análise e a inspeção de P&D realizado pelas empresas do setor no âmbito dos incentivos concedidos pela Lei de Informática. Atualmente é Analista em Ciência e Tecnologia na Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, onde atua âmbito da Coordenação de Energia (Energia Solar térmica e fotovoltaica, PCH, Energia Eólica, Biodigestão, Maremotriz, Biocombustíveis e Hidrogênio, entre outros).

9. **Laercio de Sequeira, FINEP.** É engenheiro mecânico (UFF, 1966), e trabalha na FINEP de 1982. Ocupou as seguintes funções: chefe do Departamento de Energia (1983-1985); chefe do Departamento de Transporte e Energia (1986-1988); chefe do Departamento de Indústria (1999-2001); coordenador de Energia Elétrica e de Fontes Alternativas (2001-2003); chefe do Departamento de Planejamento da Área de Instituto de Pesquisas e Difusão da Tecnologia (2003-2006); atualmente é o secretário técnico de Energia e Biocombustíveis e membro suplente do Comitê Gestor do Fundo Setorial de Energia Elétrica desde 2001. Cursos MBA em análise de projetos na COPPEAD/UFRJ.
10. **Lucia Carvalho Pinto de Melo, CGEE.** Presidenta do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), desde 2005. Exerceu a Secretaria Executiva adjunta do MCT, foi Secretária de Estado de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco e presidente da FACEPE. É pesquisadora titular da Fundação Joaquim Nabuco (FUNDAJ). Engenheira Química pela UFPE (1973), Mestre em Física pela UFPE (1976), Mestre em Energia e Meio Ambiente pela Universidade da Califórnia (1980), cursos de pós-graduação do Massachusetts Institute of Technology (MIT).
11. **Luciano Cunha de Sousa, MDIC.** Possui graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, especialização em mecatrônica pela Universidade de Brasília e mestrado em desenvolvimento industrial e comércio exterior pela Universidade de Brasília. É coordenador do tema Energias Renováveis no âmbito da Secretaria de Inovação do MDIC. Foi gerente de tecnologia da informação no Ministério e de áreas operacionais em empresas de telecomunicações como a Vivo e a GVT.
12. **Maurício Moszkowicz, MPX Energia S.A.** Mestre em Ciência pela COPPE-UFRJ. Exerceu diversas atividades profissionais no CEPEL de 1974 a 1998, no CPqD de 1998 a 1999 e no ONS de 1999 a 2008. Atualmente atua como gerente de pesquisa e desenvolvimento da MPX.
13. **Paulo Fabrício Palhavam Ferreira, HYTRON.** Possui graduação em Física pela Universidade Estadual de Campinas (2001), mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos pela Universidade Estadual de Campinas (2003) e doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos pela Universidade Estadual de Campinas (2007). Atualmente é pesquisador colaborador da empresa e atua em pesquisas na área de eletrólise da água e reforma de etanol em parceria com a Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Geração de Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: eletrólise da água, hidrogênio, energia secundária. É consultor do CGEE.
14. **Shigeo Shiki, MMA.** Possui doutorado em Economia pela University of London (1991) e pós-doutorado pela University of California (1999). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia, Gerente de Estudos de Economia e Meio Ambiente do Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Membro de corpo editorial da Revista de Economia e Sociologia Rural e Membro de corpo editorial da Revista de Economia. Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economias Agrária e dos Recursos Naturais. Atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura familiar, Agricultura Paranaense, Brasil, Capitalismo, Economia Familiar e Política Agrícola.
15. **Symone Christine de Santana Araújo, MME.** Diretora do Departamento de Gás Natural da Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia. Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental, graduada em Engenharia Química,

Mestre e Doutora pela Universidade de Brasília. Atualmente, além das atividades inerentes ao Departamento, coordena as ações necessárias à Regulamentação da Lei do Gás, bem como a Elaboração do Plano de Expansão da Malha de Transporte de Gás Natural. Atua também no Acompanhamento e monitoramento dos Projetos de Petróleo e Gás Natural no âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC.

16. **Waldir Ferreira Quirino, SFB/MMA.** Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade de Brasília (1980), mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras [Esalq] pela Universidade de São Paulo (1990) e doutorado em Ciências da Madeira pela Universidade de Nancy (2000). Atualmente é analista ambiental-pesquisador do Serviço Florestal Brasileiro do Ministério do Meio Ambiente, é responsável pela Área de Energia de Biomassa, é pesquisador associado e professor-colaborador na Universidade de Brasília. Atua nos temas: valorização energética de biomassa, através de processos de densificação como briquetes e peletes, gaseificação, combustão, pirólise e tratamentos térmicos de madeira.
17. **William Becker, Linde Gases.** Possui graduação em engenharia mecânica (1976), pela Escola de Engenharia de Taubaté, com experiência em projetos aerotérmicos, em projeto de caldeiraria, na indústria de gases industriais com conhecimentos de produção, logística e aplicações de gases do ar (oxigênio, nitrogênio e argônio), gases químicos (CO₂, CO, hidrogênio, acetileno, eteno, propeno, gás natural), gases especiais e raros (gases puros, misturas gasosas, hélio, radônio, xenônio e criptônio) e atualmente trabalhando com desenvolvimento de negócios com plantas de grande porte para produção de gases do ar, hidrogênio e CO (HyCO) bem como recuperação de CO₂. Foi premiado com o Executive Circle da Fundação Dom Cabral.



cgEE

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Ministério da
Ciência e Tecnologia