



Programa de Pesquisa e
Desenvolvimento - P&D



Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro

Volume 1-8

Documento executivo

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) edita publicações sobre diversas temáticas que impactam a agenda do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI).

As edições são alinhadas à missão institucional do Centro de subsidiar os processos de tomada de decisão em temas relacionados à ciência, tecnologia e inovação, por meio de estudos em prospecção e avaliação estratégica baseados em ampla articulação com especialistas e instituições do SNCTI.

As publicações trazem resultados de alguns dos principais trabalhos desenvolvidos pelo Centro, dentro de abordagens como produção de alimentos, formação de recursos humanos, sustentabilidade e energia. Todas estão disponíveis gratuitamente para *download*.

A instituição também produz, semestralmente, a revista Parcerias Estratégicas, que apresenta contribuições de atores do SNCTI para o fortalecimento da área no País.

Você está recebendo uma dessas publicações, mas pode ter acesso a todo o acervo do Centro pelo nosso site: <http://www.cgge.org.br>.

Boa leitura!

Empresas:



Comitê estratégico:





Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro

Volume 1-8

Documento executivo



Brasília – DF
2017

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

Presidente em exercício

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Gerson Gomes

Edição / *Danuzia Gama e Wagner Santos*

Diagramação e infográficos / *Contexto Gráfico*

Capa / *Eduardo Oliveira*

Projeto Gráfico / *Núcleo de Design Gráfico do CGEE*

Apoio técnico ao projeto / *Márcia Tupinambá*

Catálogo na fonte

C389p

Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica: Documento executivo. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. v.1.

328 p.; il, 24 cm

ISBN: 978-85-5569-132-4 (eletrônico)

1. Cenário Setorial. 2. Metodologia. 3. Projeto de P&D. 4. Planejamento. I. CGEE. II. ANEEL. III. Título.

CDU 621.611:001.89

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), SCS Qd. 9, Torre C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, CEP: 70308-200 - Brasília, DF, Telefone: (61) 3424 9600, <http://www.cgee.org.br>

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 seja citada a fonte.

Referência bibliográfica:

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS- CGEE. Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica: Documento executivo. Brasília, DF: 2017. 328 p.

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato Administrativo. Ação Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica. 7.32.51/Aneel/2015.

Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico Brasileiro - Volume 1-8 - Documento Executivo

Supervisão

Gerson Gomes

Coordenação

Ceres Zenaide Barbosa Cavalcanti

Equipe técnica

Alanna Alencar Coelho da Silva

Alexandre Braz Azevedo

Allan Parente Vasconcelos

Claudio Henrique Roth

Daniel Haubert de Freitas

Henrique Silveira Rabelo

Júlia Beatriz Ramos

Leonardo Ivo de Carvalho Silva

Márcia Tupinambá

Nayara Neiva Moura

Paula Santos Coifman Goldenberg

Ricardo Gonçalves Araújo Lima

Os textos apresentados nesta publicação são de responsabilidade dos autores.

Gerente do Projeto

Anderson da Silva Jucá (CESP)

Coordenadora do Projeto

Ceres Zenaide Barbosa Cavalcanti (CGEE)

Equipe da Apine

Celso Maurício Correa

Daniel Costa Braga

Luis Fernando Souza Dias

Luiz Roberto Morgenstern Ferreira

Mauro Antônio Pereira

Régis Augusto Vieira Martins

Membros do Comitê Técnico Gestor

Anderson da Silva Jucá (CESP)

André Pedretti (COPEL DIS)

Antonio Roberto Donadon (CPFL Sul Paulista e CPFL Piratininga)

Carlos Fernando Bley Carneiro (COPEL GeT)

Claudio Homero Ferreira da Silva (CEMIG GT)

Eduardo Heraldo dos Santos Silva (AES Tietê)

Frederico Bruno Ribas Soares (CEMIG GT)

Humberto Fernandes dos Santos (LIGHT)

João Adalberto Pereira (COPEL GeT)

José Tenorio Barreto Junior (LIGHT)

Marcus Vinícius Ferreira de Santana (BAESA e ENERCAN)

Rafael Gomes Bento (CPFL Sul Paulista e CPFL Piratininga)

Sérgio Ishida (CESP)

Vanessa Aparecida Coelho Andrade (CEMIG GT)

Membros do Comitê Consultivo

José Sidnei Colombo Martini (USP)

Sergio de Oliveira Frontin (UnB)

Marciano Morozowski Filho (UFSC)

Membros do Comitê Estratégico

Ailson de Souza Barbosa (Aneel)

Alexandre Viana (CCEE)

André Melo Bacellar (Aneel)
Ary Pinto (CCEE)
Fernando Campagnoli (Aneel)
Gilberto Hollauer (MME)
Jairo José Coura (MCTIC)
José Ricardo Ramos Sales (MDIC)
Luiz Alberto Machado Fortunato (ONS)
Marcos Vinícius Gonçalves da Silva Farinha (EPE)
Renata Nogueira Francisco de Carvalho (EPE)
Roberto Nogueira Fontoura Filho (ONS)
Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo (MCTIC)
Ubiratan Francisco Castellano (MME)

Assistente administrativa

Simone Rodrigues Neto Andrade

Colaboradores na assistência administrativa

Silvana Rolon
Iris Cardoso
Alexandra Kruger
Solange Figueredo
Elaine Michon
Maria Helenice Silva
Carlos Antônio S. Da Cruz

Colaboradores na Comunicação, Edição, Editoração e Design

Bianca dos Anjos Torreão
Cesar Daher
Eduardo de Oliveira
Maisa Cardoso

Sumário

Resumo Executivo	15
------------------	----

Capítulo 1

Introdução

1.1. Contexto	27
1.2. O Projeto	28
1.2.1. Objetivo do projeto	29
1.3. Governança do projeto	29
1.4. Metodologia do projeto	30
1.4.1. Diagnóstico	31
1.4.2. Construção do futuro	35
1.4.3. Posicionamento	38
1.4.4. Consolidação final	40
1.5. Objetivo do Livro	40
1.6. Abordagem dos capítulos	41

Capítulo 2

Visão Geral do Setor

2.1. Produção Técnico-Científica no Setor de Energia Elétrica	45
2.1.1. Patentes Brasileiras	45
2.1.2. Projetos de P&D	47
2.1.3. Artigos Científicos	50
2.2. Cenário Setorial Geral	50
2.2.1. Metodologia	51
2.2.2. Cenário Geral	51

2.2.3. Premissas Básicas (Macroeconômicas)	52
2.2.4. Crescimento da Demanda de Energia Elétrica	53
2.2.5. Geração	53
2.2.6. Transmissão	57
2.2.7. Distribuição	57
2.2.8. Condicionantes e Tendências Gerais de Implicação no Sistema como um Todo	58
2.2.9. Questões de Riscos e Incertezas	61
2.3. Visões das Instituições	62
2.3.1. Procedimentos Metodológicos	62
2.3.2. Visão das Associações	63
2.4. Priorização	66

Capítulo 3

Grupo Temático: Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

3.1. Introdução	75
3.1.1. Conceitos das Macrotemáticas	75
3.2. Diagnóstico	78
3.2.1. Socioambiental	78
3.2.2. Indústria e Mercado (Cadeia Percepção e Cadeia)	82
3.2.3. Cadeia Produtiva	83
3.2.4. Produção de CT&I	86
3.2.5. Estrutura de CT&I	96
3.3. Construção de Futuro	113
3.3.1. Visão de Futuro	113
3.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas	115
3.3.3. Priorização das Rotas	118
3.4. Considerações Finais	119

Capítulo 4

Grupo Temático: Transmissão de Energia Elétrica

4.1. Introdução	123
4.1.1. Conceitos das Macrotemáticas	123
4.2. Diagnóstico	126
4.2.1. Socioambiental	126
4.2.2. Dimensão Mercado e Cadeia Produtiva	128
4.2.3. Produção de CT&I	131
4.2.4. Estrutura de CT&I	141
4.2.5. Planejamento Estratégico	156
4.3. Construção de Futuro	157
4.3.1. Visão de Futuro	157
4.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas	165
4.3.3. Priorização das Rotas	166
4.4. Considerações Finais	168

Capítulo 5

Grupo Temático: Distribuição de Energia Elétrica

5.1. Introdução	171
5.1.1. Conceitos das Macrotemáticas	172
5.2. Diagnóstico	175
5.2.1. Socioambiental	175
5.2.2. Dimensão de Mercado e Cadeia Produtiva	177
5.2.3. Produção de CT&I	180
5.2.4. Estrutura de CT&I	190
5.2.5. Planejamento Estratégico	207
5.3. Construção de Futuro	208
5.3.1. Visão de Futuro	208
5.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas	211
5.3.3. Priorização das rotas	213
5.4. Considerações Finais	214

Capítulo 6

Grupo Temático: Eficiência Energética

6.1. Conceito do Grupo	219
6.1.1. Conceitos das macrotemáticas	219
6.2. Diagnóstico	221
6.2.1. Socioambiental	221
6.2.2. Dimensão Mercado e Cadeia Produtiva	222
6.2.3. Produção de CT&I	225
6.2.4. Estrutura de CT&I	233
6.2.5. Planejamento Estratégico	247
6.3. Construção de Futuro	248
6.3.1. Visão de Futuro	248
6.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas	249
6.3.3. Priorização	250
6.4. Considerações Finais	251

Capítulo 7

Grupo Temático: Assuntos Sistêmicos

7.1. Introdução	255
7.1.1. Conceitos das Macrotemáticas	255
7.2. Diagnóstico	259
7.2.1. Socioambiental	259
7.2.2. Produção de CT&I	261
7.2.3. Estrutura de CT&I	268
7.2.4. Planejamento Estratégico	285
7.3. Construção de Futuro	286
7.3.1. Visão de Futuro	286
7.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas	289
7.3.3. Priorização das Rotas	292
7.4. Considerações Finais	293

Capítulo 8

Posicionamento

8.1. Posicionamento Estratégico: Agendas de CT&I para o SEB	299
8.2. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	304
8.3. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Transmissão de Energia Elétrica	306
8.4. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Distribuição de Energia Elétrica	308
8.5. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Eficiência Energética	310
8.6. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Assuntos Sistêmicos	311
Lista de Figuras	317
Lista de Gráficos	318
Lista de Tabelas	322
Lista de siglas e abreviaturas	326



Resumo Executivo

O Projeto de *Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico*, demandado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), tem o objetivo de identificar o estado atual da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), mapear tecnologias estratégicas para o SEB e propor ações de apoio à CT&I que possam contribuir com as orientações do Programa de P&D regulado pela Aneel, assegurando o direcionamento eficaz dos recursos garantidos pela Lei nº 9.991/2000. O projeto baseia-se numa metodologia híbrida que utiliza como principal base o mecanismo *foresight*. Nesse sentido, segue um processo básico de quatro etapas: Diagnóstico (caracterização do hoje); Construção de Futuro (definição do futuro desejável); Posicionamento (plano estratégico de ações); e Consolidação Final.

Essa publicação tem por objetivo apresentar a consolidação final dos resultados de todo o projeto. Inicialmente, apresenta-se uma visão geral do setor elétrico brasileiro, seguida da apresentação dos resultados do Diagnóstico e da Construção de Futuro em cada grupo temático – GT (Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia, Transmissão de Energia Elétrica, Distribuição de Energia Elétrica, Eficiência Energética e Assuntos Sistêmicos). As análises foram realizadas no âmbito das 48 macrotemáticas que subdividem e estruturam esses grupos temáticos. Na sequência, apresentam-se as diretrizes centrais para a CT&I no SEB.

Os procedimentos metodológicos adotados para consecução do projeto foram diversificados. De forma geral, partiu-se de revisão bibliográfica, seguida de um detalhamento da metodologia a ser empregada. Na sequência, realizou-se um levantamento de informações, por meio de consulta e sistematização de bases de dados e de contribuições em painéis de especialistas. Por fim, esses dados e informações foram estruturadas e consolidadas nos relatórios do projeto.

Todas as etapas do projeto estão fortemente encadeadas. A etapa de Diagnóstico gerou indicadores de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) no SEB e mapas do conhecimento, que identificam linhas de PD&I para o setor elétrico brasileiro. A partir dessas informações, a etapa de Construção de Futuro definiu os objetivos de curto, médio e longo prazo da PD&I no SEB, prospectou a evolução da maturidade de tecnologias associadas às linhas de PD&I e priorizou aquelas tecnologias no contexto das macrotemáticas. Na etapa de Posicionamento, os objetivos e as tecnologias consideradas prioritárias na definição do futuro desejado foram os grandes norteadores na elaboração das agendas estratégicas. O resumo executivo dessas etapas, considerando-se os grupos temáticos analisados, é apresentado a seguir.

No contexto do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia, verificou-se que a estrutura tecnológica da futura matriz elétrica brasileira conduzirá ao aumento da eficiência de conversão energética, maior participação de fontes renováveis¹ e à redução da emissão de carbono e de espécies químicas poluentes. O setor, portanto, demandará RH qualificado², melhor estrutura de CT&I, políticas de fomento e uma cadeia produtiva especializada para atender às novas exigências do sistema elétrico.

Como reflexo da entrada de fontes, como biomassa, solar fotovoltaica e eólica, observa-se um salto na produção científica nacional e no setor elétrico. A Lei nº 9.991/2000 tem contribuído com o desenvolvimento científico do setor por meio do Programa de P&D regulado pela Aneel, cuja maior parte dos projetos possui foco nas macrotemáticas Geração Hidroelétrica, Termoeletricidade Renovável e não Renovável, Energia Solar Fotovoltaica e Energia Eólica.

O corpo de especialistas com maior presença nos estados brasileiros realiza trabalhos, principalmente, sobre as macrotemáticas Energia Solar Fotovoltaica, Termoeletricidade, Energia Eólica e Geração Hidroelétrica. As regiões Sul e Sudeste do país concentram a maior parte dos Recursos Humanos (RHs) dedicado ao grupo temático. A região Nordeste, principalmente os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, destaca-se pela presença de especialistas na macrotemática Geração Eólica. O grau de instrução do RH nacional caracteriza-se, na média, por 60% de doutores, 25% de mestres e 15% de graduados, especialistas e técnicos. Um importante aspecto observado nesse indicador diz respeito ao baixo nível de colaboração entre especialistas, na CT&I e no setor elétrico³.

Em termos gerais, os laboratórios que desenvolvem trabalhos no âmbito das macrotemáticas desse grupo realizam pesquisas nas fases de pesquisa básica dirigida, pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental, da cadeia de inovação. Aproximadamente 70% dos laboratórios brasileiros dedicam pesquisas às áreas de geração hidroelétrica, termoeletricidade, solar fotovoltaica e eólica.

-
- 1 A entrada maciça das renováveis eólica, solar fotovoltaica, biomassa e hidroeletricidade (geração de baixa queda e grande volume e Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs) demandará o aprimoramento da operação e de soluções que mitiguem os efeitos das intermitências na geração, além de tecnologias de armazenamento de energia.
 - 2 Sob esse aspecto, na média, haverá maior demanda por profissionais mais qualificados e, por consequência, haverá melhoria da remuneração.
 - 3 Esse indicador é caracterizado pelo grau médio de colaboração e de similaridade semântica. O primeiro diz respeito à quantidade de especialistas que trabalham de forma colaborativa, no universo analisado. E o segundo diz respeito à quantidade de especialistas que publicam nos mesmos temas, mas obrigatoriamente não possuem trabalhos realizados de forma colaborada.



O investimento financeiro para o desenvolvimento tecnológico das macrotemáticas do Grupo Geração e Armazenamento foi de R\$ 5.221.896.082,55⁴, nos últimos 10 anos, sendo 89,47% desse montante oriundo da Lei nº 9.991/2000 (Programa de P&D regulado pela Aneel), e o restante do investimento, promovido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) Funtec. A maior parte desse investimento foi destinado ao desenvolvimento de projetos nos contextos da Termoeletricidade, Geração Hidroelétrica e Energia Solar Fotovoltaica (pouco mais de 71%). Nas demais macrotemáticas, os investimentos expressivos ocorreram por meio das chamadas estratégicas promovidas pela Aneel. Apesar desse cenário, uma parcela significativa dos projetos, não só do setor, mas também da CT&I nacional, não alcançou o mercado. Além disso, a maioria dos projetos é caracterizada como pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental. Como provável consequência, o número de patentes depositadas no Brasil por depositantes brasileiros é considerado ínfimo, diante do número de patentes depositadas por estrangeiros, no país.

Em síntese, a CT&I, a cadeia produtiva, as linhas de fomento e o RH focam, em maior parte, no desenvolvimento das fontes-consideradas prioritárias a médio prazo para a matriz elétrica (hidro, termoeletricidade, eólica, fotovoltaica e armazenamento de energia). As demais fontes como soluções apropriadas, solar heliotérmica, hidrogênio e célula a combustível, energia nuclear e energia dos oceanos devem ser priorizadas a longo prazo, de acordo com o planejamento do setor.

Com base no diagnóstico do setor elétrico brasileiro, foi possível construir uma Visão de Futuro⁵ das tecnologias que serão utilizadas no âmbito das macrotemáticas do grupo geração e armazenamento. De forma geral, são contemplados nessa visão novos componentes e equipamentos nacionais, sistemas⁶ eficientes e de elevada confiabilidade, novos insumos energéticos (no caso da biomassa), novas tecnologias de produção, logística e implantação de sistemas e usinas e operação e manutenção de ativos.

As respectivas tecnologias alcançarão, na média, alta maturidade nas décadas de 2030 e 2040, desde que superados os fatores portadores de futuro⁷ que compreendem, dentre outros, o desenvolvimento da Geração Distribuída (GD), sistemas de integração entre fontes, rede e armazenamento de energia,

4 Valor atualizado pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), de 31 de dezembro de 2016.

5 A Visão de Futuro apresenta onde se quer chegar com a macrotemática, do ponto de vista tecnológico, a partir do investimento em PD&I. Ou seja, qual é o objetivo maior para aquela macrotemática que o aporte à pesquisa pode proporcionar (âmbito tecnológico).

6 Nesse âmbito, são considerados o aumento da eficiência energética e confiabilidade dos conversores de energia, dos sistemas das usinas e dos processos de implantação, descomissionamento e Operação & Manutenção (O&M) dos ativos.

7 São questões que precisam ser resolvidas para que as linhas de PD&I possam alcançar a maturidade máxima, no período estimado.

formação de RH, reestruturação da CT&I e cadeia produtiva, mapeamento dos recursos energéticos, além de políticas de fomento à introdução de novas fontes na matriz elétrica brasileira.

Em aspectos gerais, para o GT Transmissão de Energia elétrica, foi considerada a situação da infraestrutura de CT&I do SEB, apresentada por meio dos indicadores levantados na etapa de Diagnóstico, identificando, assim, as competências nacionais e dando subsídio para definir as oportunidades e diretrizes de desenvolvimento tecnológico, que apontarão à formação do sistema de transmissão do futuro. No que tange ao Diagnóstico, é dado destaque às macrotemáticas que abordam os equipamentos utilizados na transmissão, as subestações, as estruturas, bem como a verificação de dados que aprimorem o processo de medição, operação, manutenção e controle do sistema de potência, essa afirmação tem como base o destaque dado a esses temas em indicadores como: produção de artigos, quantidade de recursos humanos, quantidade de laboratórios, Programas de Pós-Graduação (PPGs), produção científica em eventos, inclusive nos projetos de P&D Aneel.

No atual modelo do setor de energia elétrica, a expansão da rede básica de transmissão deve ser projetada de forma a permitir que os agentes de mercado tenham livre acesso, permitindo a competição na geração e na comercialização de energia. O sistema de transmissão deve, ainda, considerar a interligação dos submercados, objetivando a modicidade tarifária, a melhoria contínua do desempenho e a segurança elétrica energética do sistema interligado, nesse contexto, devendo sempre buscar a redução do impacto ambiental na implantação e na operação das linhas de transmissão, subestações e equipamentos.

Ao considerar esse cenário e o aporte do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) via programas, como o P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D Aneel), o futuro das tecnologias de transmissão é detalhado para cada macrotemática, desenhando assim o cenário, a evolução da maturidade e as rotas com maior prioridade.

Como destaque na Visão de Futuro tem-se a transmissão de grandes blocos de energia a longas distâncias, devendo-se observar as tecnologias que irão possibilitar tal feito, ressaltando a possibilidade de utilização tanto para o sistema de corrente alternada, como para o sistema de corrente contínua. Vale ressaltar que o sistema de corrente contínua apareceu com maior prioridade no planejamento estratégico do governo, bem como nos indicadores de produção científica e patentes.

Por outro lado, não se deve esquecer de que a malha elétrica evoluiu constantemente para o atendimento da evolução do mercado e, nesse sentido, novas tecnologias entram na malha, e estas devem conviver com diversas outras tecnologias que vem entrando ao longo do tempo, gerando sempre a necessidade de um ambiente que coexistem tecnologias de diferentes épocas. É de primordial



importância que os processos de operação e manutenção sejam capazes de operar este sistema de maneira segura e confiável e que estes processos possam contar com tecnologias de monitoramento, objetivando principalmente a detecção precoce de possíveis problemas de forma que permita que a manutenção preventiva.

De forma geral, considerando todos os indicadores da etapa Diagnóstico, destacam-se as macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica, que tratam de temas mais tradicionais e técnicos (infraestrutura da distribuição de energia elétrica do SEB), e as mudanças que estão por vir em relação às fontes intermitentes, aos veículos elétricos, à GD e às Redes Elétricas Inteligentes (REIs), que revolucionarão os sistemas de distribuição de energia elétrica e que já estão sendo consideradas no aporte da PD&I dessas macrotemáticas e as ações de fomento de CT&I devem continuar, já que esses temas sofrerão impactos em termos de mudanças de marcos regulatórios, gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica, crescimento e ganho de robustez quanto à cadeia produtiva nacional, modelos de negócios, tarifações, de impactos das tecnologias, de capacitação dos recursos humanos, de normalização e regulamentação e em termos de expansão e operação dos sistemas elétricos de potência.

É importante frisar que macrotemáticas que foram diagnosticadas com indicadores com resultados menos expressivos, também, sofrerão impactos relativos às mudanças que estão por vir nos sistemas de distribuição de energia elétrica, no que tange às necessidades relativas à automação da rede, à tecnologia da informação e comunicação, à qualidade da energia elétrica, à medição avançada, ao compartilhamento de serviços, segurança cibernética e mobilidade elétrica. É necessário priorizar essas áreas, com aporte de PD&I, planejamentos estratégicos e políticas públicas, pois são áreas que no arcabouço geral do grupo temático e serão essenciais à implementação do conceito das cidades inteligentes e contribuirão, de forma considerável, no desenvolvimento dos sistemas de distribuição de energia elétrica a médio e longo prazo.

Considerando a situação da infraestrutura de CT&I do SEB, a etapa Construção de Futuro definiu objetivos de curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo prazo (2030-2050), para as 12 macrotemáticas do grupo temático, em relação à evolução tecnológica.

É destacado o papel do advento das REIs e de tendências disruptivas associadas, como GD, medição avançada, crescentes níveis de monitoramento, sensoriamento e automação da rede, maior fluxo de dados e grande volume de informações no sistema, que corroboram para uma mudança significativa de paradigma tecnológico no setor de Distribuição.

Dessa forma, o Grupo de Distribuição, por meio do aporte à PD&I, visa a desenvolver as tecnologias, as ferramentas, as metodologias, os algoritmos e os processos necessários à formação de redes e

idades inteligentes e consequente criação de um novo modelo de prestação dos serviços de energia elétrica. Objetivam-se redes resilientes, compactas e eficientes, dotadas de uma robusta infraestrutura de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) e equipamentos de alto nível, com segurança cibernética e elevado grau de sensoriamento, monitoramento e automação para gerenciamento e operação inteligentes de um sistema com múltiplas fontes e transferência instantânea e bidirecional de dados e informações.

O GT Eficiência Energética contempla questões relacionadas à ecoeficientização de equipamentos e de sistemas, por meio do uso de equipamentos e concepções de projetos que envolvam menores impactos ambientais, ao longo do ciclo de vida de materiais e componentes, e menor consumo de eletricidade.

O levantamento da situação da CT&I brasileira para este grupo temático foi realizado por meio de indicadores que versam sobre a disponibilidade de profissionais da área, diretórios de pesquisa, produção científica e complementar, participação em projetos do Programa de P&D Aneel, entre outros. Esses indicadores apontam pontos fortes, pontos fracos, desafios e oportunidades para a CT&I brasileira em cada macrotemática. As macrotemáticas que apresentaram muitos pontos fortes nesse âmbito, denotando uma estrutura e uma produção de CT&I mais vigorosa no contexto do grupo temático, foram Edificações Eficientes e Indústria.

Nessas macrotemáticas, destaca-se a quantidade e qualidade do RH nacional dedicado às macrotemáticas, o bom desempenho na produção de artigos científicos e na produção complementar em eventos do setor elétrico, com tendência de elevação da produção intelectual na macrotemática, além da participação expressiva de projetos de edificações eficientes e de eficiência energética na indústria no Programa de P&D Aneel. Destaca-se, também, o percentual expressivo de patentes das macrotemáticas em famílias fortes, a disponibilidade relativamente elevada de laboratórios e o volume de investimentos em laboratórios relativamente elevado, em comparação às demais macrotemáticas. Como ponto fraco a ser desenvolvido, destaca-se a importância de se avançar nas atividades de P&D, visando a etapas mais maduras da cadeia de inovação, como a inserção de mercado e o uso efetivo das inovações, principalmente no caso da macrotemática Edificações Eficientes.

Com base no diagnóstico do SEB, foi possível construir uma Visão de Futuro⁸ das tecnologias que serão utilizadas no âmbito das macrotemáticas do grupo Eficiência Energética. De forma geral, os investimentos em PD&I do setor elétrico deverão focar no desenvolvimento ou aprimoramento de

8 A Visão de Futuro apresenta onde se quer chegar com a macrotemática, do ponto de vista tecnológico, a partir do investimento em PD&I. Ou seja, qual é o objetivo maior para aquela macrotemática que o aporte à pesquisa pode proporcionar (âmbito tecnológico).



tecnologias para aproveitamento de resíduos energéticos, novas técnicas de redimensionamento da operação, manutenção e monitoramento de processos fabris e de tecnologias de saneamento, sistemas inteligentes de iluminação, novos materiais de construção civil⁹, arquitetura predial com foco na eficiência energética e conforto, gestão de energia na indústria, sistemas mais eficientes de refrigeração, sistemas térmicos, uso de resíduos industriais, entre outros.

O levantamento da situação da CT&I brasileira para o GT Assuntos Sistêmicos, por meio de indicadores analisados na etapa Diagnóstico, em relação à disponibilidade de profissionais da área, aos diretórios de pesquisa, à produção científica e complementar, à participação em projetos do Programa de P&D Aneel, entre outros, aponta pontos fortes e fracos para a CT&I brasileira em cada macrotemática. As macrotemáticas que apresentaram muitos pontos fortes nesse âmbito, denotando uma estrutura e uma produção de CT&I mais vigorosa no contexto do grupo temático, foram aquelas relativas a temas de Modelos Institucionais, Modelos de Planejamento da Operação do Sistema Elétrico e Sistemas de Informação e Estatística.

De forma geral, todas as macrotemáticas apresentaram redes de pesquisadores com importante potencial de sinergia, diante da complementaridade dos temas trabalhados. Ressalta-se que esse potencial deve ser traduzido em termos de relações de coautorias e trabalho cooperado, para que as atividades de P&D na área de Assuntos Sistêmicos possam dispor dos ganhos da interação e da troca de conhecimentos, gerando melhores resultados.

Ao considerar a situação da infraestrutura de CT&I do SEB, a etapa Construção de Futuro definiu objetivos de curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo prazo (2030-2050), para as 12 macrotemáticas do grupo temático, em relação à evolução tecnológica.

As macrotemáticas relativas à Governança e Modelos Econômicos e de Mercado são primordiais para assegurar uma expansão sustentável do SEB, por meio da identificação de novos paradigmas regulatórios que amparem inovações tecnológicas e socioambientais, ainda, não contempladas na regulação vigente e que viabilizem tanto a gestão compartilhada quanto a operação descentralizada do SEB, sem comprometer a confiabilidade do suprimento de energia.

Concomitantemente à PD&I que envolve Governança e Economia, é necessário que a pesquisa envolva o planejamento do SEB. O planejamento de CT&I é transversal ao SEB e deve abarcar todos os grupos temáticos. Os modelos de planejamento da expansão e operação do sistema elétrico, em conjunto com a análise de demanda de energia elétrica, oferece oportunidades de PD&I, dado o aumento

9 Materiais que permitem mitigar os custos e gastos energéticos na implantação das edificações

da demanda de energia elétrica e a necessidade de representação adequada de novas tecnologias e para representar, de forma correta, a evolução da matriz energética, considerando a evolução do mercado de energia, os cenários macroeconômicos, as tarifas de energia, o crescimento da micro e minigeração distribuída, as REIs, as medidas de eficiência energética, a gestão dinâmica da demanda e a estabilidade da demanda em longo prazo (2030-2050).

Há oportunidades de desenvolver PD&I em macrotemáticas que abordam assuntos sistêmicos transversais ao SEB, no que tange à necessidade de desenvolvimento de um banco de informações unificado do SEB, à sua manutenção e análise estatística e à necessidade de caracterizar o estado atual e as perspectivas de desenvolvimento das diversas fontes e tecnologias em relação aos seus diversos impactos. Por fim, o aporte de PD&I deve contemplar contribuições da normalização, da regulamentação técnica e da avaliação de conformidade para garantir a confiança do SEB, em linha com as práticas internacionais e em ambiente regulatório que incentive a efetiva vigilância de mercado para coibir irregularidades e em termos de capacitação de recursos humanos, de forma a prover RH, em nível técnico e superior, aptos a contribuir para a evolução do SEB.

Resultados do projeto apontam que as tecnologias colocadas no horizonte de curto e médio prazo do SEB são mais focadas em conceitos, critérios, modelagens e metodologias, enquanto tecnologias mais pesadas e intensivas em soluções de engenharia aparecem mais no período de longo prazo. Embora os conceitos, os critérios e as metodologias sejam requisitos ao desenvolvimento de tecnologias mais pesadas, naturalmente antecedendo-as, esse resultado denota certo grau de conservadorismo no perfil inovativo do SEB, uma vez que soluções mais pesadas de engenharia poderiam ser trabalhadas dentro de prazos mais ambiciosos.

Essa característica da PD&I no SEB pode ser contornada por meio de políticas públicas e ações de apoio à CT&I no país. Nesse sentido, a agenda estratégica proposta na etapa de Posicionamento tem por objetivo gerar um maior grau de nacionalização de tecnologias no SEB ou, quando cabível, promover a absorção de tecnologias estrangeiras focando em áreas consideradas prioritárias para o setor elétrico brasileiro, promovendo a competitividade das empresas de energia e suas respectivas cadeias produtivas no Brasil.

Para orientar a construção dessas ações, foi elaborado um encadeamento de ações gerais de CT&I, estruturadas em oito eixos: (i) criação de um ambiente regulatório e normativo nacional específico para as várias temáticas selecionadas; (ii) criação ou adensamento de redes de pesquisa e grupos de trabalho; (iii) geração de competências nacionais em recursos humanos e infraestrutura de CT&I; (iv) execução de mapeamentos, estudos, definições metodológicas e/ou base de dados para subsidiar o desenvolvimento de novas tecnologias; (v) desenvolvimento de projetos demonstrativos e/ou pilotos;



(vi) difusão de práticas e compartilhamento do conhecimento gerado; (vii) criação e/ou fortalecimento de atores na cadeia produtiva capazes de difundir novas tecnologias no mercado; e, por fim, (viii) geração de demanda para implantação de novas tecnologias.



Capítulo 1



Capítulo 1

Introdução

1.1. Contexto

Os estudos de futuro são muito utilizados por diferentes países na construção de sua estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), especialmente na seleção de onde e como aportar os recursos de fomento à Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). O Brasil possui tradição nos estudos de planejamento elétrico que projetam demanda e oferta de energia elétrica. Com base neles, analisa-se a necessidade de investimento na infraestrutura do setor. No entanto, o mesmo não é tradicionalmente realizado na construção da estratégia de investimentos de CT&I para o setor elétrico.

Desde meados da década de 1990, o governo federal brasileiro redireciona as políticas de CT&I para o setor produtivo com a intenção de intensificar as atividades de inovação nas empresas. Os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia (Lei nº 11.540/2007), a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004) e a Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005) são exemplos desse esforço. O governo brasileiro algumas vezes utiliza-se de estudos prospectivos como os vários realizados sobre temas específicos encomendados ao CGEE pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI) ao longo dos últimos anos. Todavia não há um processo definido e nem um estudo amplo setorial que identifiquem oportunidades e, desta forma, selecionem em qual área se deve aprofundar.

O planejamento da CT&I vem se tornando uma preocupação cada vez maior entre os agentes. Um levantamento anterior do CGEE (2015) mostra que as empresas do setor também reconhecem a importância dos estudos de prospecção focados na priorização de temáticas voltadas para a melhoria da eficácia do Programa de P&D regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Os exercícios de projeção de consumo realizados pelo governo e de forma independente por outros agentes indicam uma necessidade de crescimento de capacidade instalada acima de 300%¹⁰ para 2050.

10 Ano base: 2015.

Isso impõe o desafio para o PD&I do setor que deverá estimular avanços e inovações, mas também grandes oportunidades de novos negócios para o setor e toda a sua cadeia produtiva. Neste contexto, nasceu a proposta do projeto *Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica*.

1.2. O Projeto

A equipe da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel, responsável por acompanhar o Programa de P&D do setor elétrico (Lei nº 9.991/2000), preocupa-se em definir uma estratégia para o programa, visando gerar resultados mais eficientes. Para auxiliá-los com este objetivo, a própria equipe idealizou o projeto *Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica*.

Neste contexto, a Aneel solicitou uma proposta ao CGEE. A proposta do estudo, aceita pela Aneel, busca identificar e selecionar temáticas de PD&I no setor elétrico que desenvolvam soluções para vencer os futuros desafios do setor. Objetiva ainda identificar quais são as possíveis ações de CT&I necessárias para otimizar os recursos do Programa de P&D regulado pela Aneel no fomento ao desenvolvimento dessas temáticas.

A proposta foi apresentada às empresas do setor elétrico, que possuem recursos para aplicar no programa P&D regulado pela ANEEL, para que fossem identificados os possíveis interessados em financiar o projeto. Iniciou-se, então, um processo de articulação entre a CGEE, a Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica (Apine), que liderou o processo junto às empresas, e as empresas interessadas para desenhar a proposta final e o contrato de serviço. O resultado foi o estabelecimento de um contrato de 11 empresas¹¹ do setor com as executoras, a Apine e o CGEE. A primeira ficou responsável pela interação das partes e a segunda, pela parte técnica do estudo.

A Aneel, por meio da Nota Técnica nº 0095/2014-SPE/ANEEL, retificada pelo ofício 0203/2016 - SPE/ANEEL (19/agosto/2016), autorizou o uso de recursos do Programa de P&D, regulado por essa agência, para o desenvolvimento do projeto. Os resultados não somente subsidiarão a definição de temas estratégicos e projetos prioritários para a Aneel, como também auxiliarão o MCTI e o Ministério de Minas e Energia (MME) no processo de formulação de políticas públicas voltadas ao setor de energia nacional.

11 AES; Baesa; Cemig GT; Cesp; Copel DIS; Copel GeT; CPFL Piratininga; CPFL Sul Paulista; Enercan; e Light.



1.2.1. Objetivo do projeto

O Projeto¹² Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica tem por objetivo construir propostas de ações de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) para o direcionamento dos recursos do Programa de P&D, regulado pela Aneel.

O foco deve ser no desenvolvimento da CT&I no setor de energia elétrica nacional, buscando o crescimento da participação da tecnologia nacional ou, quando couber, a transferência com absorção de tecnologia estrangeira, promovendo a competitividade das empresas de energia e suas respectivas cadeias produtivas no Brasil.

Conforme dispõe o contrato (001/2014) e retificado no Ofício 0203/2016 - SPE/Aneel, o foco do estudo é o setor de energia elétrica¹³. Assim, combustíveis, eficiência energética e demais temáticas gerais serão considerados no contexto de energia elétrica.

Para facilitar a operação do trabalho, o estudo foi dividido em cinco grupos temáticos¹⁴: Grupo 1 - Geração de energia elétrica e Armazenamento de energia; Grupo 2 - Transmissão de energia elétrica; Grupo 3 - Distribuição de energia elétrica; Grupo 4 - Eficiência energética; Grupo 5 - Assuntos Sistêmicos.

1.3. Governança do projeto

O projeto foi dimensionado para apresentar diversos produtos com o objetivo de promover um processo de validação ao longo do estudo por três comitês diferentes de acompanhamento com perfis distintos. São eles:

- a) Comitê técnico gestor das empresas¹⁵: Formado por representantes das empresas parceiras que financiam o projeto, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente e comandar a parte de gestão do projeto;

12 Convênio: CP&D001/2014; identificação no CGEE: 7.32.51.01.01; cadastro na Aneel: PED-0061-0046/2014.

13 Inicialmente excluía a energia nuclear, que passou a ser incluída conforme decisões, constando em ata, das reuniões do comitê Técnico do projeto e retificado pelo Ofício 0203/2016 – SPE/ANEEL.

14 A proposta inicial descrita no contrato 001/2014 foi alterada e retificado nas reuniões do comitê técnico gestor (Conforme descrito na ata da reunião de abertura do projeto, realizada no dia 07/08/2015) e do ofício 0203/2016 – SPE/ANEEL.

15 AES; Baesa, Cemig GT; Cesp; Copel DIS; Copel GeT; CPFL Piratininga; CPFL Sul Paulista; Enercan; e Light.

- b) Comitê estratégico¹⁶: Formado por representantes das instituições que compõem a governança do setor, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente o projeto de forma a alinhar as estratégias setoriais;
- c) Comitê consultivo¹⁷: Formado por especialistas seniores do setor, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente o projeto, representando a Academia.

1.4. Metodologia do projeto

Atualmente, os estudos de futuros são entendidos como um resultado sistêmico de múltiplos fatores e as decisões devem levar em conta elementos de cunho político-sociais e não apenas obedecer a resultados técnicos. Ao enfatizar-se a importância da combinação de resultados de diversos métodos, ganha-se em flexibilidade e reduz-se o caráter determinista tradicionalmente associado ao *forecasting*.

O estudo *Prospecção tecnológica no Setor de Energia Elétrica* faz uso dos diferentes métodos, mas utiliza o *foresight* como base, tendo em vista a dificuldade e o risco de realizar estudos de cunho muito determinísticos para definir uma estratégia de P&D sem um objetivo previamente delineado.

O processo básico de *foresight* encontrado na literatura se divide em 3 etapas: diagnóstico, prognóstico e prescrição. Para facilitar o detalhamento da metodologia proposta, o projeto adaptou e dividiu o processo em quatro etapas:

- Diagnóstico;
- Construção do Futuro;
- Posicionamento;
- Consolidação final.

A etapa do diagnóstico busca identificar opções temáticas, a sua situação, potencialidades e dificuldades associadas. Com base nas análises dessas informações, inicia-se o processo de construção

¹⁶ Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel); Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC); Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC); Ministério de Minas e Energia (MME); Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

¹⁷ Formado por representantes de três instituições de pesquisa de diferentes regiões.



do futuro, o qual descreve a visão de futuro, a evolução da maturidade, as trajetórias tecnológicas e priorização das rotas tecnológicas. O mapa do conhecimento descreve as linhas de PD&I para as diferentes áreas temáticas. Esse mapa, resultante da primeira etapa e revisado na segunda etapa do processo, associado às informações levantadas ao longo do projeto, será o objeto de detalhamento do planejamento estratégico (posicionamento) que finaliza com a construção da agenda. Conclui-se com a consolidação de todo o processo por meio da construção dos documentos finais.

1.4.1. Diagnóstico

Esta etapa tem por objetivos identificar, entender e analisar o contexto e o panorama do objeto de análise. Esta etapa se divide em 3 subetapas, descritas na sequência:

- a) Mapeamento do Objeto;
- b) Panorama;
- c) Análise.

Mapa do conhecimento

O estudo foi dividido em cinco grupos temáticos: Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia, Transmissão de Energia Elétrica, Distribuição de Energia Elétrica, Eficiência Energética e Assuntos Sistêmicos.

Se inicia com um mapeamento dos temas de pesquisa relativos ao objeto do projeto (CT&I no setor de energia elétrica), identificando as macrotemáticas e temáticas de pesquisas associados a cada um dos cinco grupos por meio de uma contextualização e entendimento do setor.

Para cada temática será feita a identificação sobre as possíveis rotas tecnológicas e para cada rota as linhas de PD&I a elas associadas. Essa identificação forma o mapa do conhecimento, conforme Figura 1 e conceitos apresentados anteriormente no mapeamento do objeto.

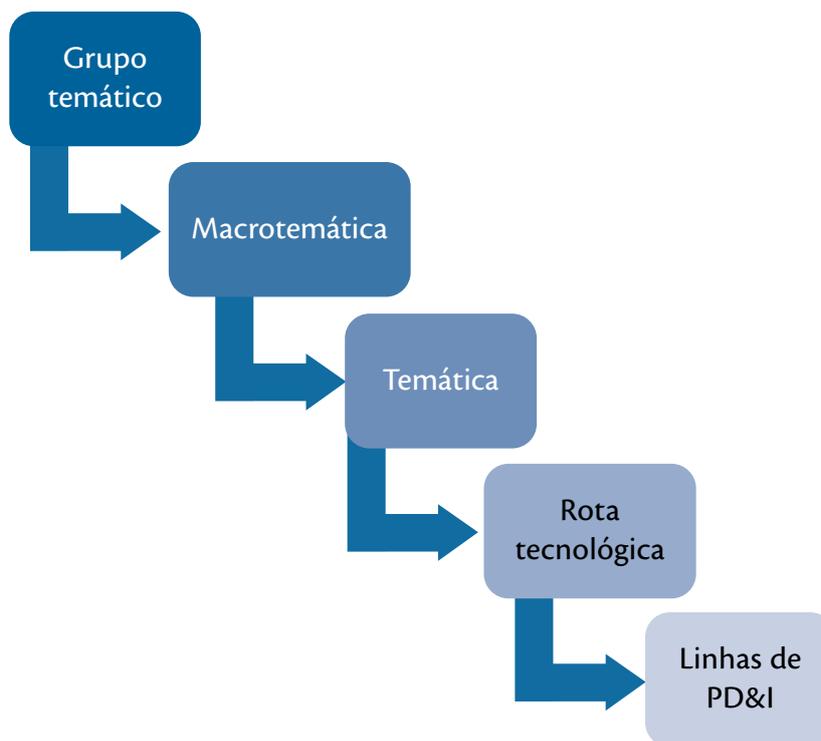


Figura 1 - Estrutura do mapa do conhecimento

Fonte: Elaboração Própria.

Panorama

Na sequência o diagnóstico inicia a construção do panorama, que levantará informações para retratar a situação atual das macrotemáticas por meio da utilização de métodos que tratem de grande quantidade de informações (base de dados) e de outros indicadores por meio de levantamentos específicos e revisões bibliográficas.

Os levantamentos específicos também utilizam as bases de dados e a mineração de dados (*data mining*). Outros métodos também utilizados neste levantamento são a revisão bibliográfica, que inclui a elaboração de notas técnicas específicas, e debates com especialistas. São trabalhadas informações referentes à produção de PD&I (publicações, propriedade intelectual, entre outras), infraestrutura de PD&I, RH, indústria e investimentos em CT&I, entre outros relacionados às



macrotemáticas. Para realizar estes levantamentos específicos são necessárias três atividades listadas abaixo e detalhadas na sequência:

- construção do mapa conceitual: estrutura conceitual do levantamento de informações;
- levantamento das informações;
- identificação de desafios e oportunidades.

Construção do mapa conceitual

O objetivo central deste mapa é construir uma estrutura conceitual do levantamento de informações para identificar os pontos fortes e fracos sobre o estado da CT&I referente a cada macrotemática no setor de energia elétrica no Brasil. Para isso são criadas as dimensões de análises, que têm como base os indicadores que se fundamentam em indicadores. Cada informação que compõe o indicador é gerada a partir de uma fonte de informação que possui a operacionalização (métodos e ferramentas) para seu levantamento (Figura 2).



Figura 2 - Processo de construção do mapa conceitual

Fonte: Elaboração própria.

O mapa conceitual apresenta cada dimensão de análise, indicadores, fonte de informação e a operacionalização, associados de maneira a criar um mapa estratégico de levantamento das informações.

Levantamento das informações

Esta atividade visa levantar as informações necessárias para a análise do diagnóstico obedecendo à estratégia definida na primeira versão do mapa conceitual. As informações levantadas e analisadas irão compor o banco de dados do estudo e serão utilizadas tanto na atividade de análise da etapa

de diagnóstico como nas etapas subsequentes de construção do futuro e o posicionamento com a construção da agenda.

O primeiro passo é uma análise das bases de onde serão baixadas as informações. Na sequência, haverá uma revisão do mapa conceitual com base num estudo das informações disponíveis antes que seja iniciado o levantamento das informações. Para este levantamento são utilizadas diferentes metodologias, dependendo das dimensões e informação associada. São elas:

- pesquisa estruturada;
- entrevista estruturada e não estruturada;
- *data mining*;
- revisão bibliográfica;
- notas técnicas.

Identificação de desafios e oportunidades

A atividade busca identificar desafios, oportunidades e tendências do setor de energia elétrica sob o ponto de vista dos diferentes atores. Considera-se as informações documentais, porém fundamenta-se nas percepções dos atores a serem entrevistados. Os métodos utilizados são os seguintes:

- revisões bibliográficas: levantamento das principais tendências aplicadas ao setor elétrico em âmbito nacional e mundial, por diferentes agentes;
- entrevistas: entrevistas semiestruturadas com as associações, empresas do setor, empresas fornecedoras, governo e centros de pesquisa.

Esta atividade também qualifica algumas possibilidades de tecnologias como disruptivas e suas tendências e desafios.

Análise

Esta sub etapa corresponde à fase de consolidação e análise das informações levantadas na etapa de diagnóstico. São feitas diferentes análises que buscam identificar os pontos fortes e fracos do PD&I no setor no Brasil e a tentativa de correlacioná-las às temáticas.



Com essas informações o objetivo é construir uma tabela comparativa por macro temática. Foi utilizada uma adaptação da análise SWOT (*Strenghts, Weaknesses, Opportunities and Threats*) - forças, fraquezas, oportunidades e ameaças.

1.4.2. Construção do futuro

A etapa anterior gerou informações e análise sobre a situação atual e sobre as tendências relacionadas às macrotemáticas. Em Construção do futuro são analisadas as possibilidades e selecionadas quais seriam as melhores rotas. Ressalte-se que, dependendo do agente (governo, empresa do setor, empresa fornecedora), os pesos relacionados aos objetivos podem mudar. O projeto prevê duas priorizações uma seleção das rotas prioritárias e uma segunda que prioriza no nível de macrotemáticas. A primeira é feita com base principalmente nas informações levantadas na etapa de construção do futuro, são elas a visão de futuro (sub etapa de pré-seleção) e análise das rotas (sub etapa seleção). Esta última gera os caminhos possíveis (revisão do mapa do conhecimento) e a velocidade de solução das rotas (evolução da maturidade de PD&I).

A segunda seleção, priorização das macrotemáticas, será feita na etapa de posicionamento, devido ao fato deste ser parte de uma definição de um plano estratégico.

Esta etapa se divide em três sub etapas: pré-seleção, seleção e trajetória.

Pré-seleção

Esta sub etapa tem o objetivo de fazer uma análise prévia para balizar a sub etapa de seleção. Para tal, inicia-se com a construção da visão do futuro de CT&I desejado para cada macrotemática e, com base nela, finaliza com um detalhamento dos temas.

Construção da visão de futuro

Esta atividade constrói uma visão de futuro para cada macrotemática que se pretende atingir com os investimentos de PD&I. Para isto, o primeiro passo é definir um cenário setorial geral, que baliza toda a etapa. A construção desse cenário é feita pelo comitê estratégico baseado nas informações de suas instituições.

Na sequência, inicia-se o trabalho de construção do futuro de cada macrotemática. A atividade utiliza o método de cenários, basicamente fundamentada nas percepções dos diferentes atores e no cenário setorial geral. Esta visão de futuro a ser construída utilizará as seguintes ferramentas: revisão bibliográfica, notas técnicas de pesquisadores especialistas e painéis de especialistas. A revisão bibliográfica, realizada nas atividades anteriores, servirá de base para a nota técnica a ser desenvolvida pelo pesquisador especialista em cada macrotemática, que deve também realizar uma nova revisão bibliográfica com o foco na percepção do especialista sobre o futuro. Os resultados serão utilizados para construir o roteiro do debate dos painéis de especialistas específicos por macrotemática. Após o debate por meio dos painéis, as informações são consolidadas, apresentadas e validadas com os comitês de acompanhamento do projeto.

Detalhamento dos temas

O detalhamento dos temas visa identificar se as rotas estão consistentes com a visão de futuro. Portanto é feita uma revisão do mapa do conhecimento.

Seleção

Esta sub etapa visa definir as rotas prioritárias para cada macrotemática que subsidiará o Programa de P&D regulado pela Aneel. Para isso verificam-se fatores específicos para cada macrotemática, prossegue-se com o detalhe das rotas selecionadas e finaliza-se com a priorização das rotas.

Definição de fatores específicos (por temática)

Para cada macrotemática são identificados os fatores portadores de futuro em consonância com a visão de futuro descrita anteriormente, tais como a expectativa da evolução do estágio de maturidade no horizonte de tempo estudado.

No caso da maturidade será utilizada uma ferramenta do CGEE, uma calculadora que auxilia na identificação do estágio de maturidade tecnológica em que a temática se encontra com seu cálculo baseado na métrica TRL.



Esta ação tem o objetivo de construir uma matriz com indicadores/critérios relacionadas a cada macrotemática, entendidas como fatores portadores de futuro que facilitariam ou limitariam o desenvolvimento das macrotemáticas, além de investigar quais fatores têm maior ou menor influência no processo de aceleração do desenvolvimento das temáticas.

Análise das rotas

Para cada macrotemática, serão detalhadas suas rotas por meio de fundamentação, detalhamento das etapas de implementação, do estágio de maturidade tecnológica e sua expectativa de evolução no horizonte estudado.

O detalhamento da rota tecnológica demanda extenso levantamento bibliográfico, elaboração de notas técnicas por parte dos especialistas, que serão fomento ao trabalho de construção do mapa tecnológico, preparação de oficinas temáticas e, por fim, consolidação dos dados coletados.

Seleção das prioridades

Esta atividade tem o objetivo de selecionar as rotas prioritárias para cada macrotemática. Para isto se utiliza das informações das atividades anteriores. Assim, com base nos objetivos de CT&I para cada macrotemática traçados na “visão de futuro”, nos caminhos possíveis identificados na atividade “detalhamento dos temas”, e na expectativa de velocidade de desenvolvimento da solução construído nas atividades “definição dos fatores específicos” e “Análise das rotas”, é feita a seleção das rotas prioritárias.

Trajetória

Esta sub etapa tem o objetivo de construir a trajetória futura com base num cenário preestabelecido para as temáticas selecionadas. Inicia-se com a construção do mapa temático e segue com a identificação de fatores facilitadores e limitantes desta trajetória.

Construção dos mapas temáticos (roadmaps)

A construção dos mapas temáticos demanda uma análise minuciosa das dimensões no horizonte atual e futuro. Com base em todas as análises até aqui efetuadas é construída a parte gráfica da trajetória e a tabela dos portadores de futuro esperadas de cada rota em função de sua evolução tecnológica. O objetivo é apresentar como a temática evolui no tempo em função da maturidade da pesquisa em paralelo com a evolução de outros fatores.

O trabalho é fundamentado na revisão bibliográfica, análises anteriores e notas técnicas adicionais. Sua validação é feita em reuniões temáticas.

1.4.3. Posicionamento

Avaliação das dimensões

Esta atividade corresponde a uma análise da dependência das dimensões de CT&I estudadas e sua influência sobre a evolução das rotas descritas na etapa da trajetória. A atividade é basicamente de análise de informações já levantadas e, eventualmente, notas técnicas específicas, se necessário.

Construção do mapa estratégico (*strategic roadmap*)

O mapa estratégico (*strategic roadmap*) é uma forma gráfica ou em tabela de representar as possibilidades de ações e instrumentos disponíveis para viabilizar o mapa temático (*roadmap*). Sua construção se inicia com um debate em painel de especialistas, uma consolidação prévia, finalizando com entrevistas e/ou reuniões com grupos específicos.

Construção da agenda de CT&I: detalhamento do mapa estratégico

A agenda é o detalhamento do mapa estratégico, definindo o que seria cada ação, fornecendo opções sobre como e quem poderia colocar em prática as indicações apontadas no mapa, por exemplo. Visa a validação dos resultados e estruturação de propostas de ações de CT&I para o desenvolvimento do



setor de energia elétrica nacional, buscando o crescimento da participação da tecnologia nacional e promovendo a competitividade das empresas de energia.

Validação

A etapa de validação será feita por meio de uma oficina e análises críticas dos comitês de acompanhamento.

Análise Final

Esta atividade visa realizar uma análise final. Para isto é realizada uma análise de sensibilidade e a segunda priorização. A primeira tem o objetivo de identificar a visão das empresas sobre a proposta de mapa do conhecimento desenhada.

A segunda é feita a definição das apostas com a segunda seleção por meio de uma análise multicritério com o objetivo de priorizar as macrotemáticas.

Definição das apostas: análise multicritério

Esta análise é baseada numa ferramenta de análise multicritério desenvolvida em uma parceria CGEE com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em um estudo anterior. O processo de construção do modelo se inicia na elaboração do Panorama (etapa diagnóstico), com a validação dos objetivos de avaliação para o direcionamento de PD&I. Segue com a definição dos critérios de seleção ao longo da atividade anterior de construção da visão de futuro define-se os critérios e sua ordem de prioridade, pois precisam estar em conformidade com o cenário setorial geral. Na sequência para cada opção de macrotemática, utiliza-se as informações de diagnóstico atualizada sobre os critérios.

Para a definição dessas métricas relacionadas aos critérios, serão utilizadas uma revisão bibliográfica, pesquisa estruturada e as notas técnicas de especialistas. De posse dessas informações, a matriz é consolidada. Finaliza com a consolidação e validação de um comitê de acompanhamento. O processo é ilustrado na Figura 3.

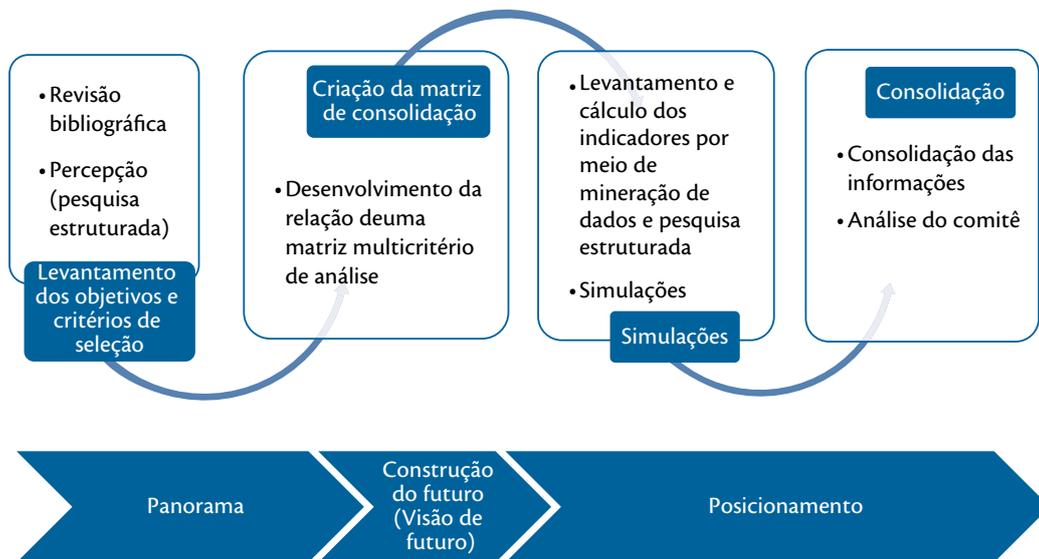


Figura 3 - Processo de construção e análise da matriz multicritério

Fonte: Elaboração própria.

1.4.4. Consolidação final

A consolidação final do projeto fundamenta-se na finalização do projeto e no posicionamento oficial quanto às melhores estratégias envolvendo o processo de formulação de políticas públicas voltadas ao setor de energia.

1.5. Objetivo do Livro

O livro é um resumo do projeto consolidando todas as etapas trabalhadas e descritas na coletânea de oito livros, que compõem os resultados do *Projeto Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica*. Sendo eles:

- Volume 01 - Documento Executivo
- Volume 02 - Diagnóstico da CT&I no setor elétrico brasileiro
- Volume 03 - Evolução tecnológica nacional no segmento de geração de energia elétrica e armazenamento de energia



- Volume 04 - Evolução tecnológica nacional no segmento de transmissão de energia elétrica
- Volume 05 - Evolução tecnológica nacional no segmento de distribuição de energia elétrica
- Volume 06 - Evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética
- Volume 07 - Evolução tecnológica nacional no segmento de assuntos sistêmicos do setor de energia elétrica
- Volume 08 - Agenda estratégica de CT&I no setor elétrico brasileiro

Como resultados da etapa construção de futuro, o livro apresenta a visão de futuro das macrotemáticas, o estudo de prospecção das tecnologias trabalhadas nas rotas tecnológicas (*roadmaps* tecnológicos) e a priorização dessas rotas para os investimentos de P&D no setor elétrico.

Os *roadmaps* tecnológicos mostram a evolução da maturidade dessas tecnologias, bem como as questões condicionantes para a sua evolução.

1.6. Abordagem dos capítulos

O capítulo 2 aborda a visão geral do setor, na primeira seção são apresentados resultados sobre a ciência, tecnologia e inovação (CT&I), como produção de artigos, patentes e análises sobre os projetos do programa de P&D regulado pela Aneel. Na seção seguinte é apresentado o cenário geral setorial que visa identificar algumas condicionantes gerais de futuro para construir os *roadmaps* tecnológicos no horizonte do projeto (2020, 2025, 2030, 2040 e 2050). Vale ressaltar que este texto é de responsabilidade do CGEE e foi concebido com o objetivo de atender à demanda do projeto *Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica*, construído em conjunto com o Comitê Estratégico e Consultivo do citado projeto.

Os capítulos 3 a 7 apresentam o resumo da análise das etapas Diagnóstico e Construção do Futuro, para os cinco grupos temáticos. Em relação à etapa Diagnóstico, são apresentados os principais resultados em relação aos indicadores socioambiental, indústria e mercado, cadeia produtiva, produção científica (artigos, produção complementar, projetos Aneel e patentes) e estrutura de CT&I (recursos humanos, redes colaborativas, infraestrutura de CT&I, programas de pós-graduação *Stricto Sensu* e mecanismos de fomento). Já em relação à etapa Construção do Futuro, inicialmente são apresentados os conceitos dos grupos temáticos e das macrotemáticas, depois os principais resultados em relação à visão de futuro, da evolução da maturidade das rotas tecnológicas e da priorização das rotas.

O capítulo 8 apresenta a agenda estratégica que foi construída para cada macrotemática no contexto da etapa de posicionamento. Foram elaboradas estratégias de CT&I para superar os desafios e cumprir os objetivos identificados nos diversos grupos temáticos. Ações de curto, médio e longo prazo são apresentadas para todo o contexto do projeto.



Capítulo 2



Capítulo 2

Visão Geral do Setor

2.1. Produção Técnico-Científica no Setor de Energia Elétrica

Para caracterização do setor de energia elétrica no contexto da produção técnico-científica, foram utilizados os seguintes indicadores:

- Patentes brasileiras depositadas no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) no período de 2007-2016.
- Projetos submetidos ao Programa de P&D regulamentado pela Aneel no período de 2008-2016.
- Artigos científicos publicados em revistas da base *Web of Science* e *Scopus*, que tenham classificação *qualis* no mínimo de B2, no período de 2007-2016.

Estes indicadores foram registrados para cada um dos grupos temáticos: Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia; Transmissão de Energia Elétrica; Distribuição de Energia Elétrica; Eficiência Energética e Assuntos Sistêmicos.

Os aspectos relevantes desta pesquisa foram os seguintes:

2.1.1. Patentes Brasileiras

Ao analisar os Gráficos 1 e 2, pode-se concluir que:

- As patentes depositadas relacionadas aos grupos Transmissão e Distribuição apresentam o mesmo padrão de evolução no período observado e termos de composição do total das patentes, estes grupos participam respectivamente com 8,02% e 9,71%.

- O grupo Eficiência com 26,78% do total de patentes depositadas no período alcançou, no ano de 2011, o seu máximo, decaindo de forma substancial até 2013, e, a partir deste ano, continua a cair, mas de forma mais suave.
- O grupo Geração mostrou-se mais promissor em termos de patentes com 55,49% do total depositado para todos os grupos no período em estudo. Deve-se, entretanto, ressaltar que o grupo alcançou o máximo no ano de 2011 e vem caindo de maneira bastante acentuada até o ano de 2016.

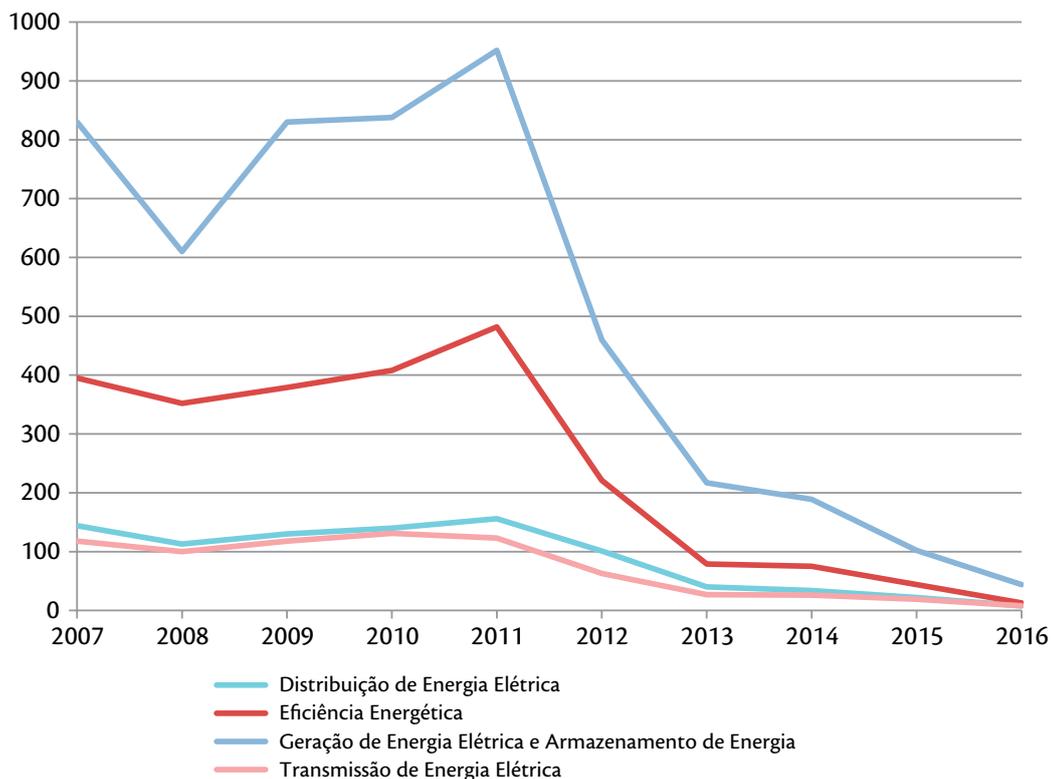


Gráfico 1 - Evolução das patentes depositadas no Brasil referente aos grupos temáticos

Fonte: Elaboração própria.

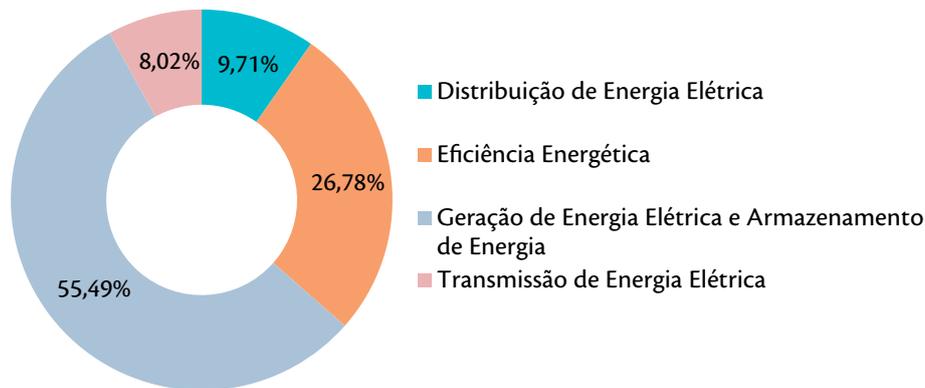


Gráfico 2 - Percentual das patentes depositadas no Brasil referente aos grupos temáticos

Fonte: Elaboração própria.

2.1.2. Projetos de P&D

O Gráfico 3, Gráfico 4 e o Gráfico 5 apresentam a evolução anual dos projetos de P&D no período de 2008-2016, a composição porcentual e a composição porcentual dos investimentos realizados por grupo temático, em que se pode observar que o GT Eficiência Energética apresentou número reduzido de projetos ao longo do período de análise. A sua composição porcentual, em termos de quantidade de projetos, foi de 3,81% e igualmente reduzida em termos de investimento. Deve-se ressaltar que estes são projetos de P&D voltados ao tema Eficiência Energética que não consideram os projetos registrados na Aneel especificamente para os projetos de Eficiência Energética das distribuidoras de energia elétrica.

É interessante notar que, em termos de evolução do número de projetos registrados na Aneel, os grupos Assuntos Sistêmicos e Transmissão apresentam o mesmo formato da curva de evolução com pouca variação, ressaltando-se o pico de registro em 2010-2012 chegando em torno de 30 projetos em 2016. Esta semelhança confirma-se em termos da composição porcentual do número de projetos (16,19% para Assuntos Sistêmicos e 13,63% para Transmissão) e em termos de investimento o grupo de Transmissão apresentou dois picos de crescimento em 2012 e 2014, com investimento da ordem de R\$100 milhões para os dois grupos em 2016.

Mesmo comportamento foi igualmente observado nos grupos Geração e Distribuição, com diferenças mais marcantes principalmente no ano de 2012 quando alcançaram o número máximo de registros e a queda abrupta no ano de 2013, principalmente para o grupo de Distribuição que, em 2013, volta ao

patamar do nível do ano de 2008. Esta semelhança confirma-se em termos da composição percentual do número de projetos (36,82% para Distribuição e 29,54% para Geração). Embora em menor número de projetos, o grupo de Geração apresenta maior grau de investimento, sendo interessante notar que este grupo apresentou investimento da ordem de 2012 de R\$700 milhões, caindo em 2014 para R\$200 milhões e crescendo para cerca de R\$1.100 milhão em 2016. O grupo de Distribuição em menor grau de investimento apresenta para estes mesmos anos os valores de R\$400,00, R\$200,00 e R\$700,00 milhões.

O crescimento acentuado em termos de investimentos do grupo de Geração, saindo do patamar de R\$200 milhões em 2014 e alcançando o valor de R\$1.100,00 milhão em 2016, pode ser explicado pelas chamadas de projetos estratégicos que a Aneel lançou neste período relacionadas aos temas: Geração Heliotérmica e Armazenamento de Energia, que resultou em muitas propostas de altos valores de investimento. Por outro lado, o pico de 2012 foi devido igualmente ao lançamento dos projetos estratégicos voltados à geração eólica e solar fotovoltaica.

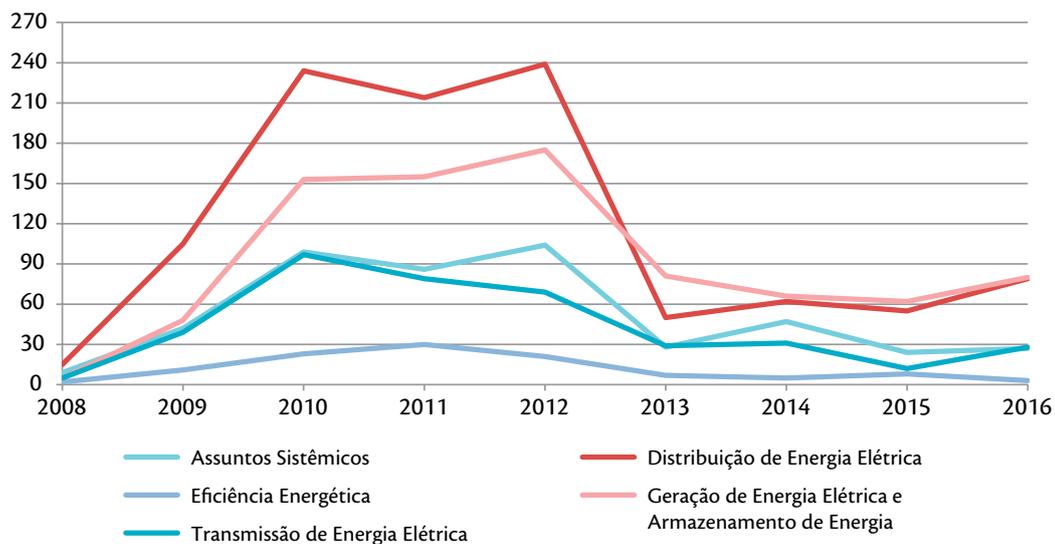


Gráfico 3 - Evolução das quantidades de projetos P&D Aneel em cada grupo temático

Fonte: Elaboração própria.

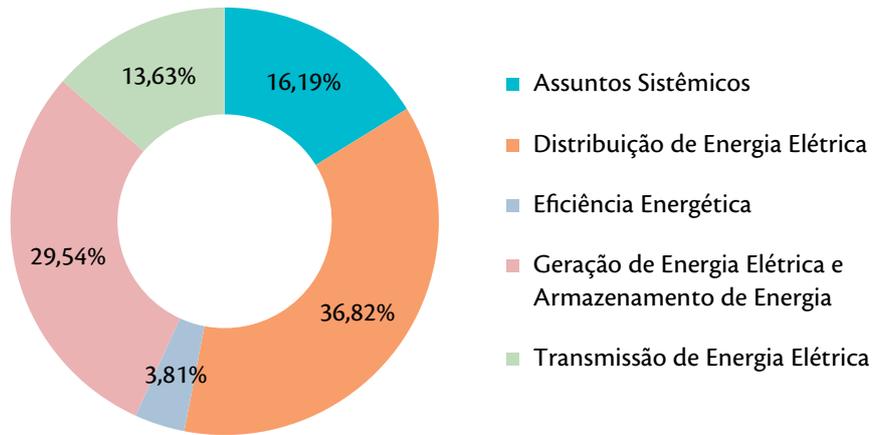


Gráfico 4 - Percentual dos projetos P&D Aneel classificados nos grupos temáticos

Fonte: Elaboração própria.

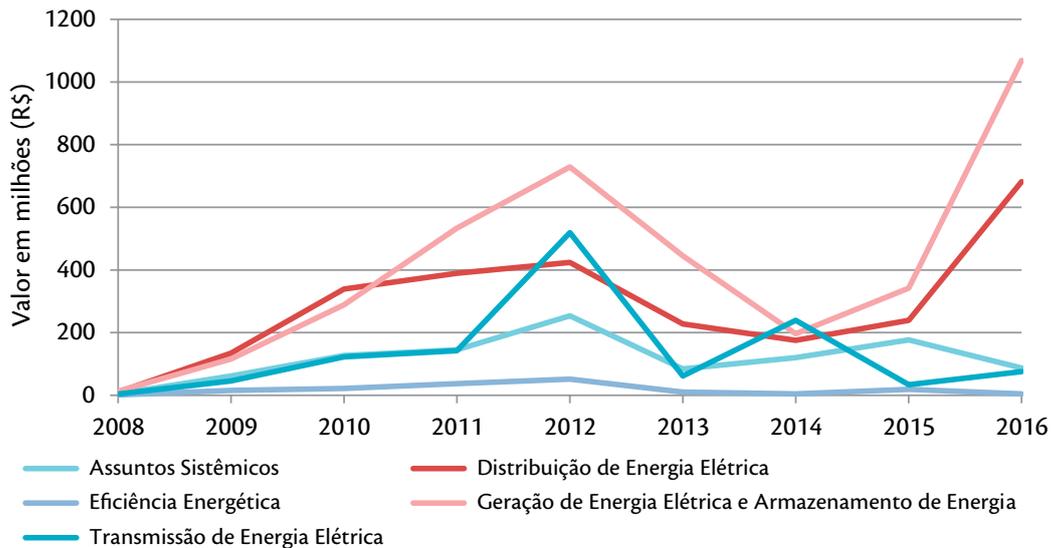


Gráfico 5 - Evolução dos valores investidos nos projetos P&D Aneel em cada grupo temático

Fonte: Elaboração própria.

2.1.3. Artigos Científicos

Com relação à evolução dos artigos científicos produzidos no Brasil, o Gráfico 6 mostra uma primazia do grupo Geração e Armazenamento de Energia, em constante evolução alcançada a marca de 600 artigos em 2016. Segue-se em ordem de crescimento o grupo Distribuição, que apresentou um pequeno decaimento a partir de 2011, se recuperando em 2013-2014 quando apresentou um crescimento acentuado alcançando cerca de 400 artigos em 2016. Os demais grupos de comportam de maneira semelhante apresentando artigos na faixa de 150-200 artigos no ano de 2016.

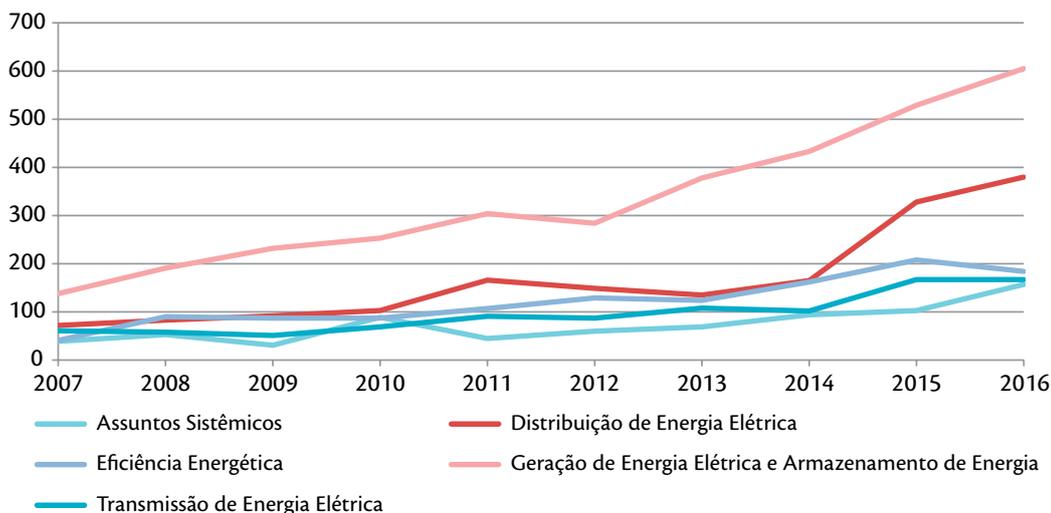


Gráfico 6 - Evolução dos artigos científicos produzidos no Brasil

Fonte: Elaboração própria.

2.2. Cenário Setorial Geral

Este capítulo tem por objetivo descrever as condicionantes gerais que formam o Cenário Geral do setor elétrico para orientar a construção das rotas tecnológicas e estratégicas que serão construídas na etapa de “Construção de futuro” do projeto *Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica*.



2.2.1. Metodologia

Na metodologia inicial do projeto, foi definido que seria utilizado o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), elaborado pela EPE e pelo MME. Todavia, apesar de publicado parcialmente pela EPE, foi informado pelo MME e pela EPE que o PNE sofreria ajustes e, portanto, não deveria ser tomado como base. Por outro lado, o projeto não dimensionou uma etapa de construção desse cenário geral.

É importante notar que o nível de desagregação deste trabalho é menor que o utilizado nos cenários do planejamento do setor elétrico, tendo em vista que o objetivo é orientar um trabalho de *foresight* tecnológico e não de planejamento setorial, que tem objetivos de prever demandas e como atendê-las.

Assim, como solução foi definido que seria construído um cenário alternativo, com base inicial nas informações do PNE 2050 publicado parcialmente, e este seria submetido ao comitê estratégico e consultivo do projeto, tendo em vista que os participantes do comitê são representantes das instituições que compõem a governança do setor.

Para isto, foi feita uma entrevista inicial com o MME e a EPE. Com base nas informações levantadas, foi gerado um texto inicial que foi enviado para todos os participantes. Na oficina para construção do cenário, estavam presentes os representantes de todas as instituições que compõem o comitê. Cada um teve a oportunidade de colocar as suas sugestões. Após um longo debate, foi fechada uma versão validada por todos. Esta versão foi novamente enviada para todos os participantes e a equipe do CGEE recebeu novas solicitações de pequenos ajustes. Aqueles ajustes que não comprometiam o conteúdo validado foram incorporados ao texto, ressaltando-se o informante. A seguir, é apresentado o texto consolidado e enviado para todas as equipes da etapa construção de futuro com o objetivo de orientar os trabalhos.

Vale ressaltar que este texto é de responsabilidade do CGEE e foi concebido com o objetivo de atender à demanda do projeto *Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica*, construído em conjunto com o Comitê Estratégico e Consultivo do citado projeto.

2.2.2. Cenário Geral

A cenarização para uma prospecção tecnológica visa a identificar algumas condicionantes gerais de futuro para construir os *roadmaps* tecnológicos no horizonte do projeto (2020, 2025, 2030, 2040 e 2050).

2.2.3. Premissas Básicas (Macroeconômicas)

Evolução do PIB (faixa):

- A taxa de crescimento do produto interno bruto (PIB) será crescente até meados de 2030, quando se estabilizará e iniciará um pequeno declínio. A projeção é de um crescimento médio em torno de 2,5% ao ano (a.a.) no período de 2017 e 2026 (EPE e MME).
- O PIB será crescente e modulado, significando, então, que crescerá menos no final do período.
- Os diferentes setores crescem a taxas distintas, havendo uma correspondência entre o grau de desenvolvimento da economia e a distribuição setorial (MME).
- Até 2050, o setor de serviço ganhará participação, mantendo a sua posição de destaque frente aos demais macrossetores. No entanto, nos anos iniciais, a indústria crescerá mais, em função da recuperação da utilização da capacidade ociosa e do desempenho do setor extrativista.

População cresce em ritmo menor que o histórico:

- De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população brasileira, no horizonte até 2050, crescerá a um ritmo cada vez menor e começará a declinar a partir da década de 2040 (IBGE apud EPE).
- O grande crescimento demográfico da população economicamente ativa (PEA) ocorrerá entre 2025 e 2035, ou seja, haverá um excedente de pessoas economicamente ativas. Trata-se de um evento típico de países jovens. No Brasil, as previsões apontam 2030 como a década em que os efeitos do bônus começariam a se dissipar (IBGE apud MME).

Industrialização:

- Haverá maior crescimento de serviços; portanto, uma redução gradativa da participação da indústria no PIB. Na última década, considera-se que haverá uma aceleração da penetração de segmentos que geram maior valor agregado e menos intensivo em energia (EPE).
- Desenvolvimento tecnológico deverá ser motivado pela demanda interna (desafios tecnológicos internos). Todavia buscaremos ser competitivos internacionalmente.



2.2.4. Crescimento da Demanda de Energia Elétrica

- Evolução da demanda de energia elétrica em 2050 deve significar algo em torno de 400 GW e 480 GW em capacidade instalada – dependendo principalmente de como será a matriz para atender ao problema de ponta (sobre capacidade).
- Petróleo: consideramos o pré-sal mantendo o patamar atual de cerca de 2,5 milhões de barris/dia, o que significa algo em torno de 40 bilhões de barris, com significativo esgotamento no final do período.

2.2.5. Geração

Hidro

- Respeitando a legislação socioambiental, a fonte hidroelétrica (UHE) continuará sendo a fonte principal de expansão de geração elétrica ou pelo menos continuará sendo relevante nas próximas duas décadas. Segundo a EPE, esta expansão ocorrerá até o limite inventariado hoje de 172 GW, o que deve ocorrer entre 2030 e 2040, a depender do ritmo de sua expansão.
- Usinas com reservatórios terão a sua importância aumentada, tanto para a maximização da produção hidroelétrica, quanto para a produção eólica e solar. Poderão tornar outras regiões importantes para o processo de regularização do sistema.
- Usina reversível está tratada no item “Armazenamento” e repotenciação, no item “Modernização”.
- Pequena Central Hidrelétrica (PCH): haverá exploração do potencial, ainda, disponível em PCH, com entrada de maior número de empreendimentos. Todavia, segundo a EPE, esta velocidade de crescimento estará sujeita à capacidade de os órgãos ambientais processarem os pedidos de licença ambiental. Sua participação no parque gerador nacional deve continuar pouco expressiva em função do seu modesto potencial inventariado ainda a ser explorado (cerca 10 GW).

Eólica

- A fonte eólica continuará se desenvolvendo *onshore* (o potencial estimado atualmente é de 340 GW *onshore*, podendo ser aproveitado um percentual deste potencial, mas, ainda assim, o montante deste potencial seria suficiente, o que não demandaria o potencial *offshore*).

- Algum aproveitamento eólico *offshore* poderá ocorrer ocasionalmente, tanto no mar quanto nos reservatórios de hidroelétricas, mas terá caráter marginal. Segundo a EPE, a *offshore* ocorrerá em um cenário de restrições ambientais mais severas e custos mais altos da terra, que se mostram significativos, tornando a onshore menos atrativa.

Solar

- Considerando-se o período atual até 2025 ou 2030, haverá um crescimento de grandes centrais fotovoltaicas. Segundo a EPE, este crescimento será impulsionado pelas metas da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira ao Acordo de Paris, por maior participação de fontes renováveis não convencionais, e, ao final desse período, apresentará uma redução de custos, tornando-a mais competitiva. Nesse período, a geração distribuída (GD) cresce fortemente, porém não atinge número significantes na matriz energética. Após 2030, o crescimento desta fonte, também em GD, possui crescimento com significativo impacto na matriz energética.
- A exploração do potencial solar na rota heliotérmica será marginal, provavelmente por meio de sistemas híbridos (complementando as usinas termoelétricas à biomassa, por exemplo) ou em sistemas isolados. Espera-se algum crescimento em aplicações não elétricas (calor de processo), mas não expressivo. O planejamento setorial não prevê o desenvolvimento de grandes centrais heliotérmicas, em função da ainda baixa competitividade da fonte.

Térmica

- A fonte térmica representará um percentual importante e estratégico na matriz de geração.
- **Gás Natural (GN):** assumindo-se o preço de GN inferior a US\$ 8/Mtu, este entrará com força, tornando-se a principal fonte térmica na expansão que alcança algo entre 30% a 60% das usinas termoelétricas, em 2050. Este cenário considera uma dependência externa de combustível similar à atual. Segundo a EPE, a termoelétrica a GN a ciclo simples, apesar de menos eficiente que a do ciclo combinado, poderá ter uma expansão importante pela sua flexibilidade operativa, capaz de mitigar a variabilidade das fontes renováveis não convencionais.
- **Biomassa:** haverá uma expansão da cogeração a bagaço de cana e palha associada à produção sucroalcooleira e à geração termoelétrica a partir de floresta energética. No caso de biocombustível, o planejamento considera um cenário com o etanol de primeira geração até o final do período de médio prazo (entre 2030 a 2035), quando se viabiliza o



etanol de segunda geração. Entretanto não se considerou um cenário com o uso de etanol para gerar energia elétrica.

- **Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs):** espera-se um crescimento da participação desta fonte, tanto por meio da utilização do biogás, quanto por meio da queima do lixo. No que se refere à queima do lixo, apesar de alguns estudos do planejamento setorial não considerarem esta fonte como competitiva, há perspectivas do uso da tecnologia de plasma. Dados baseados na fonte de uma empresa mostram um custo de cerca de R\$ 400/MW, o que poderia tornar essa fonte competitiva, principalmente quando associada aos benefícios gerados por externalidades, tais como saneamento, questão social, ambiental etc. Segundo a EPE, o uso do biogás de aterros de estações de tratamento de efluentes e os biodigestores têm maior atratividade econômica.
- **Carvão:** seu uso crescerá, mas em menor escala, se comparado ao das demais fontes. Deverão ser exploradas as reservas nacionais (quando forem viabilizadas no Brasil as tecnologias *High Efficient Low Emissions* – Hele) e as rotas tecnológicas mais adequadas ao perfil do carvão nacional, além daquelas menos intensivas em emissões. Segundo a EPE, assume-se que haverá restrições à expansão de termoelétricas a carvão por conta das emissões, e que tecnologias mais eficientes, e/ou com menor nível de emissões, e tecnologias *Carbon Capture and Storage* (CCS) continuarão com custos elevados.
- **Fissão nuclear:** entra em um conjunto de alternativas para a geração termoelétrica, juntamente com o carvão, a biomassa etc. Segundo a EPE, trata-se de uma tecnologia de geração elétrica madura, limpa do ponto de vista de emissões, mas pouco competitiva economicamente em relação às outras fontes de geração. Deverá haver uma expansão definida por questões de segurança energética, metas de redução de emissões, manutenção de mão de obra especializada, parque termonuclear mínimo para tornar atrativo economicamente o procedimento do urânio no Brasil etc.
- **Fusão nuclear:** os estudos de planejamento de expansão não considera a fusão nuclear como opção de tecnologia disponível para uso comercial no horizonte até 2050, portanto não foi considerada como uma opção de fonte para o planejamento nesse horizonte.
- **Geração distribuída (GD):**
 - os aproveitamentos de GD entrarão principalmente na zona urbana;
 - a entrada de GD será crescente até 2030, podendo chegar, de acordo com avaliações de mercado, a algo em torno de 10% do mercado de energia em 2030. A partir daí, terá taxas menores de crescimento;
 - o desenvolvimento da GD irá se fortalecer em todos os segmentos de consumo (industrial, comercial e residencial), com predominância da fonte solar fotovoltaica;
 - considera-se, também, forte entrada de PCH neste universo da GD;

- GD rural: considera-se que haverá aproveitamento de GD em CGH, biomassa e biogás na zona rural, sem subsídios, especialmente para a autoprodução; e
 - segundo a EPE, os atuais estudos para o planejamento consideram que a GD a partir de resíduos deverá ocorrer na zona urbana a partir do aproveitamento dos resíduos sólidos e efluentes, e na área rural, a partir de resíduos agropecuários.
- **Outras fontes (oceanos, geotérmica etc.):**
 - não há expectativa de penetração significativa da energia dos oceanos na expansão, em função de sua competitividade;
 - caso a energia dos oceanos se torne algo próximo da competitividade, poder-se-á observar algum desenvolvimento localizado dessa fonte. O Brasil dispõe de muita variedade de energia renovável e, portanto, a competição segue sendo uma barreira; e
 - a energia geotérmica é considerada menos relevante no contexto do planejamento setorial do Brasil.
- **Armazenamento:**
 - o armazenamento de energia em grande escala (Sistema Interligado Nacional – SIN) terá importância crescente no horizonte até 2050;
 - será motivado e em compasso com a penetração crescente no SIN das fontes intermitentes e sazonais;
 - segundo a EPE, a expansão do armazenamento ocorrerá a taxas mais significativas na medida em que se esgotar a capacidade do parque gerador de mitigar a variabilidade das fontes solar fotovoltaicas e eólicas e de otimizar a operação termoelétrica;
 - o armazenamento em pequena escala deverá ocorrer em nível de distribuição, motivado e em compasso com a penetração de fontes intermitentes e de carros elétricos, dentre outros, tanto em GD quanto no suprimento de pequenas unidades consumidoras; e
 - com os atuais estudos de planejamento setorial, não é possível precisar a tecnologia vinculada, por exemplo: baterias; reservatórios de acumulação; usinas reversíveis; células a combustível.
- **Sistemas Híbridos:** ainda não foram contemplados nos estudos de planejamento de médio e longo prazos, mas têm atraído o interesse do mercado e a visão do governo é que se tratam de opções importantes, as quais deverão ser contempladas nos futuros estudos do planejamento.



2.2.6. Transmissão

- A corrente contínua (CC) permanece como uma tendência forte durante todo o horizonte.
- Existem perspectivas de utilização de transmissão de longas distâncias, no horizonte de entrada dos grandes blocos de energia, com potencial uso da tecnologia de transmissão em ultra-alta tensão em CC e em corrente alternada (CA).
- Não existe restrição para alternativas tecnológicas a serem analisadas para a ampliação e a modernização e/ou repotenciação da malha de transmissão existente envelhecida.
- Há tendências de ampliação de uso de equipamentos, como os *Phasor Measurement Unit* (PMUs) e os sensores para o monitoramento de equipamentos, que facilitarão o diagnóstico e a manutenção.
- O custo da transmissão é cada vez mais elevado, em função das questões fundiárias e socioambientais. Em decorrência disto, existe uma tendência de otimização do uso da infraestrutura existente, antes de sua ampliação.
- No caso de subestações e linhas de transmissão em regiões com alta densidade de carga, é crescente o uso de tecnologias cada vez mais compactas e otimizadas (SF6, entre outros).
- Existem perspectivas de utilização de transmissão subterrânea com uso localizado.
- Permanece a forte tendência da utilização de Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS) no sistema.
- Há perspectivas de utilização de materiais supercondutores, principalmente os limitadores de corrente de curto-circuito e os cabos supercondutores.

2.2.7. Distribuição

- **GD e armazenamento** foram tratados no grupo de geração.
- **Carros elétricos**, perspectivas da utilização:
 - crescente importância no segundo ciclo (2030 em diante), com a concomitante implantação de uma nova cadeia produtiva (projetistas, fornecedores, pontos de carregamento, mecânicos etc.);
 - na indústria automotiva, o cenário considerado no exercício do planejamento setorial de longo prazo (2050) prevê o crescimento não somente da frota e do uso do carro elétrico e seu impacto na demanda de energia (como carga), mas também como possível fonte de armazenamento de energia (sem detalhamento de tecnologia);

- até 2035, cerca de 5% da frota poderá ser elétrica pura¹⁸;
 - embora a Visão de Futuro setorial na Europa é que em 2050 o veículo elétrico será o responsável por 50% das vendas, a perspectiva no Brasil é que a demanda por este carro se inicie em 2025, segundo a EPE, com uma mudança de frota mais lenta que nos outros países, tendo em vista o contexto cultural e econômico, dentre outros fatores (regulação, por exemplo) que influenciam o comportamento do consumidor e, portanto, a composição da frota; e
 - o cenário do planejamento energético não considera grandes mudanças de modal. Para isto, seria necessário um estudo de planejamento mais amplo que envolva educação, transportes, cidades etc., não realizado até o momento.
- **Células combustíveis:** baixas perspectivas de utilização da tecnologia na GD.
 - Esta tecnologia tem perdido seu espaço com relação, por exemplo, às baterias, mas continua sendo uma opção tecnológica a ser pesquisada para o armazenamento.

2.2.8. Condicionantes e Tendências Gerais de Implicação no Sistema como um Todo

- Redes Elétricas Inteligentes (REIs):
 - apesar de os estudos de planejamento não detalharem esta área, entende-se que será muito importante para o sistema elétrico nacional;
 - as motivações principais serão a GD e a eficiência energética;
 - os FACTS foram tratados no item de transmissão;
 - embora os benefícios sociais e para o sistema elétrico sejam reconhecidos, a questão regulatória (especialmente o reconhecimento tarifário) e os novos modelos de negócio serão fundamentais para viabilizar financeiramente os investimentos esperados em REIs; e
 - facilita o desenvolvimento do mercado e da comercialização varejista, com abertura para os consumidores de menor porte (*prosumer*), a exemplo de micro e minigeração.
- Uso racional de energia (envolve eficiência energética, pelo lado do consumo, e gerenciamento, pelo lado da demanda – DSM):
 - horizonte 2050: a competitividade das ações de eficiência vai crescer ao longo das próximas décadas, até 2050, tornando-as tema de interesse perene, tal como ocorre hoje na Europa; e

¹⁸ Estudo da EPE mostram que, em 2030, este percentual já seria possível. Estudos internacionais recentes sobre a evolução nas tecnologias de baterias de lítio relatam uma redução de custos mais acelerada do que a previamente estimada pelo Departamento de Energia Norte-Americano. Fonte: disponível em: <<https://electrek.co/2017/01/30/electric-vehicle-battery-cost-dropped-80-6-years-227kwh-tesla-190kwh/amp/>>. Acesso em: jan. 2017.



- horizonte 2030: o Brasil assumiu o compromisso de reduzir a demanda do país por energia elétrica em 10%, com base no consumo de 2015, até 2030, como resultado de ações de uso racional da energia. Após esse horizonte, haverá um crescimento perene dessas ações.
- Meio ambiente
 - Ações propostas para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEEs):
 - ✓ no curto prazo não há um conjunto significativo; e
 - ✓ no médio prazo, especialmente no longo prazo, existe a perspectiva de que possam crescer as medidas de redução e as emissões. No longo prazo, poderia ocorrer a inserção da precificação de carbono nos leilões.
 - Existe forte necessidade de estudos sobre o planejamento relativo ao impacto das mudanças climáticas e às adaptações do sistema elétrico a essas novas condições:
 - ✓ hidrologia, ventos etc.
 - Há a necessidade de serem realizados estudos sobre os efeitos do uso múltiplo da água nos recursos hídricos para geração de energia elétrica:
 - ✓ uso autorizado (permitido) para a agricultura, o abastecimento etc.; e
 - ✓ na avaliação do potencial hidroelétrico, atualmente, há um significativo percentual da redução da capacidade de geração hídrica causada pelo uso indevido da água (não autorizado, tais como o desvio não autorizado da água; existem casos de desvios de até 50% da vazão disponível para a geração de energia elétrica).
 - Efeitos dos impactos socioambientais na oferta de geração e na transmissão de energia elétrica:
 - ✓ a necessidade de melhor entendimento ou de melhores critérios sobre o licenciamento. A transmissão e a geração têm problemas mal resolvidos com a questão das terras indígenas, por exemplo, o que tem levado aos pedidos de permissão pré-leilão;
 - ✓ a necessidade de melhoria dos estudos socioambientais associados aos estudos de planejamento de médio e longo prazos. Atualmente, o Plano Decenal de Energia (PDE) apresenta a matriz socioambiental atrelada a cada empreendimento e os estudos de longo prazo não trabalham esta informação; e
 - ✓ a regulação do uso da terra e as restrições ambientais continuarão sendo os principais fatores limitantes para expansão da fonte hídrica e da transmissão.
- Modernização
 - A modernização e/ou recapitação do sistema, em face de seu envelhecimento, ocorrerá inicialmente de forma marginal, mas deverá crescer em importância ao longo de todo o horizonte, porém sem impactar significativamente nos grandes números do planejamento.

- Políticas energéticas
 - Os objetivos gerais da política energética continuarão sendo:
 - ✓ segurança energética;
 - ✓ sustentabilidade; e
 - ✓ modicidade tarifária.
 - Alguns direcionamentos políticos:
 - ✓ COP 21: os compromissos ambientais devem se tornar mais restritivos nas próximas reuniões. Isto poderá resultar na aceleração do surgimento de precificação de emissões GEEs, mas não no curto prazo (conforme já comentado);
 - ✓ ressalte-se que a matriz elétrica limpa nacional fará com que no Brasil não se tenha o mesmo nível de exigências de outros países com alto percentual de carbono na sua matriz;
 - ✓ a tendência será a minimização de subsídios e/ou de incentivos a qualquer fonte. Prevalecerá a racionalidade econômica; e
 - ✓ haverá direcionamento da matriz com o objetivo de garantir a segurança de ponta e de energia:
 - continuarão ocorrendo os leilões por fonte;
 - poderão ser criados os leilões regionais e/ou sinais econômicos eficientes que os direcionem;
 - ✓ leilões de fontes que utilizem resíduos sólidos urbanos poderão ocorrer, motivados pela solução conjunta de energia e saneamento, desde que o custo dessas fontes seja compatível com o das demais fontes resultantes dos outros leilões (valores que se praticam hoje, segundo fonte de uma empresa, indicam que já estamos próximos deste patamar);
 - ✓ a sustentabilidade da cadeia industrial deverá ser considerada na formulação da política energética; e
 - ✓ haverá a valorização da potência elétrica.
 - Política industrial e/ou ambiental e sua influência no futuro do setor
 - ✓ Existe uma grande incerteza no aproveitamento do potencial remanescente hidroelétrico e de Itaipu (importação), o que poderá alterar a matriz futura significativamente.
 - O mercado livre crescerá e ganhará importância, de maneira sustentável, com impacto no planejamento de médio e longo prazos.



2.2.9. Questões de Riscos e Incertezas

O cenário apresentado busca idealizar um futuro de referência consistente com os estudos de planejamento setorial e com outros estudos do governo. Por isto, fizeram parte de sua construção representantes dos principais *players* do setor. Todavia, como não foi uma atividade prevista no projeto e requer tempo de debate, a sua construção remete-se a um ciclo pequeno de debate e de análises. O setor está passando por um momento de mudanças que podem alterar significativamente este caminho traçado. A seguir, são ressaltadas algumas questões de riscos e incertezas que formam uma visão mais conservadora, pois dificultam e influenciam negativamente a construção e a velocidade de desenvolvimento das rotas tecnológicas:

- O setor elétrico é um setor conservador, tendo em vista seu forte impacto em toda a economia, isto é, as mudanças ou as quebras de paradigmas demoram a acontecer, especialmente no segmento da distribuição.
- As constantes alterações que ocorrem na legislação que regem o setor elétrico geram riscos e incertezas no mercado e atrasam os avanços tecnológicos.
- O risco de investir em P&D e ser glosado faz com que as empresas também sejam conservadoras com o uso do recurso no âmbito do Programa de P&D regulado pela Aneel.
- Embora o Brasil tenha feito alterações substanciais no seu modelo de regulamentação do setor elétrico a partir de 1996, a iminência de várias inovações de ruptura no setor (tais como a entrada contínua e maciça de fontes intermitentes, GD, REIs, demanda móvel, gerenciamento pelo lado da demanda – GLD, entre outros) indica que é o momento de rever esse modelo, a fim de torná-lo mais competitivo e equilibrado para todos os agentes envolvidos.
- Os aspectos culturais e comportamentais presentes em várias regiões do Brasil, principalmente nas práticas de furtos e de fraudes de energia.
- O atual cenário de instabilidade política gera muitas dúvidas sobre algumas questões-chave:
 - uso compartilhado de recursos: água e terra;
 - desenvolvimento do uso potencial hidrorremanescente;
 - bloco térmico: uso da fonte nuclear; disponibilidade de gás (importação, pré-sal, malha de gasoduto);
 - novos modelos de mercado para as inovações que estão entrando; e
 - distanciamento da esfera federal em relação a outras esferas (uso do lixo, uso da terra etc.).

2.3. Visões das Instituições

A visão da cadeia produtiva é apresentada com base nos resultados de levantamento feito com as associações de classe brasileiras da área de energia. Essas instituições foram consultadas sobre a sua visão com relação à:

- **cadeia produtiva** – existência ou viabilidade; e
- **visão de futuro** – impactos em PD&I.

O conhecimento sobre a existência de cadeias produtivas nacionais – ou pelo menos sobre o interesse de empresas fabricarem e desenvolverem no Brasil bens e serviços para o atendimento aos segmentos de geração, transmissão e distribuição e eficiência energética – é interessante para o projeto na medida em que traz subsídios para a definição de linhas de pesquisa relevantes. O levantamento de informações a partir das associações de energia contribui nesse processo, pois agrega a visão das empresas usuárias, clientes da cadeia produtiva, que se constituem na maior parte dos associados dessas instituições.

A maioria dessas empresas participa dos Programas de P&D da Aneel, portanto a sua Visão de Futuro sobre a P&D é fundamental e deve ser considerada. Porém, como o universo de empresas clientes ou desenvolvedoras é expressivo, a alternativa viável foi capturar esta visão por meio da coleta de informações com os presidentes (ou com seus representantes) das associações de energia.

2.3.1. Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos empregados se resumiram a: a) planejamento da coleta de dados por meio de entrevistas; b) realização das entrevistas e sua transcrição; e c) organização e análise das informações coletadas.

A primeira etapa do levantamento foi o planejamento, que consistiu na identificação das associações de energia atuantes no país e na organização de um roteiro-base para a realização das entrevistas. Para a identificação das associações, foi consultado o site do Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico (Enase: <www.enase.com.br/associacoes>), que agrega os principais agentes do setor elétrico brasileiro. A seguir, foram realizados contatos por telefone com as associações e o envio de informações gerais sobre o projeto, a fim de identificar as pessoas-chave para o encaminhamento das demandas de informações. Foram solicitadas às associações: o compartilhamento de eventuais estudos de mapeamento da cadeia produtiva que, por ventura, já tivessem sido realizados pela



associação, ou que fossem do conhecimento desta; um *conference call* com um representante da associação para discussão de questões estratégicas ao setor, a partir de roteiro previamente enviado (sobre a cadeia produtiva e a Visão de Futuro).

Um roteiro semiestruturado para envio às associações foi elaborado para permitir uma discussão ampla dos temas de interesse desse levantamento. Para facilitar a discussão, foram compartilhadas com as associações as informações de etapas anteriores do projeto, por exemplo, o desenho da cadeia produtiva do segmento de energia específico relacionado a cada associação, assim como as principais linhas temáticas de PD&I, também específicas a cada associação. Foram entrevistadas 10 associações no período de julho a setembro de 2016, com duração média de 1,5 hora por entrevista. A seguir, são apresentadas as informações consolidadas deste processo.

2.3.2. Visão das Associações

A visão das associações está resumida na Tabela 1 e, de modo geral, ressalta bem as questões já abordadas no estudo como: armazenamento; GD; REIs; sistema de transmissão e de operação mais adequado a uma nova configuração do setor que se apresenta com essas inovações; dentre outros. Todavia foi quase unânime o comentário, de formas e intensidades diferentes, sobre a importância de rever o modelo atual e realizar um planejamento que viabilize e traga mais eficiência e eficácia ao setor e benefícios mútuos ao investidor, ao consumidor, à empresa e à sociedade. Nesse sentido, o projeto parece abordar todas estas questões, tanto em suas visões de futuro, quanto no mapa do conhecimento traçado.

A visão das associações é uma forma de buscar a visão das empresas do setor, tendo em vista o propósito de representá-las. Apesar de boa parte das citações terem abordado questões mais imediatistas e estratégicas e menos tecnológicas, o que pode ser um viés da associação, dada a sua função, também houve certa coerência com as informações do projeto e com o que diferentes estudos vêm indicando. Isto mostra que estamos próximos de um ponto de inflexão no setor e que, provavelmente, deve ocorrer, nos próximos 10 anos, uma grande revolução no setor com a entrada de inovações e, com isto, de um novo modelo de mercado e de setor.

A Tabela 1 apresenta uma síntese das percepções das diferentes associações sobre a Visão de Futuro no que se refere às principais deficiências da cadeia produtiva nacional, aos desafios a serem enfrentados e às necessidades para atendimento das demandas futuras e em termos de inovações.

Tabela 1 - Síntese das percepções das associações

Associação	Cadeia produtiva – deficiências	Desafios tecnológicos, regulatórios e financeiros	Necessidades para atendimento a demandas futuras	Inovações necessárias
Apine	Geração solar.	Transferência de tecnologia para a cadeia de solar; transporte do gás do pré-sal; questões ambientais e tributárias para PCHs. Consideração dos custos de geração à luz dos custos de transmissão; controle da distribuição espacial das usinas e do tipo de fonte.	Desenvolvimento de tecnologias de geração solar térmica e nuclear, de armazenamento de energia e para a inserção de fontes intermitentes.	Geração distribuída; <i>smart grids</i> ; baterias para armazenamento de energia; sistemas híbridos, mudanças climáticas.
Abrajet	Oferta de gás; logística; previsibilidade de demanda.	Aumento do rendimento das usinas; redução de emissões; adaptações para uso de maior proporção de biodiesel; leilões específicos; precificação, considerando compras esporádicas de gás.	Melhorias no modelo de despacho para incluir intermitência.	Tecnologias para a queima do biometano, óleo de pirólise, oleaginosas e metano proveniente do lixo; tecnologias para uso do gás natural; ciclos combinados flexíveis etc.
Abeólica	Grandes usinados e forjados; insumos químicos; logística.	Adaptação dos aerogeradores ao clima brasileiro; melhor previsibilidade dos ventos; integração dos aerogeradores na rede; estudos de ventos no SE; novo modelo de contratação para linhas de transmissão; melhores condições para o mercado livre; manutenção das políticas de incentivos vigentes; regulação para parques híbridos.	Parque fabril atual em condições de atender e ultrapassar projeções.	Armazenamento de energia; melhoramento da malha de transmissão; clima e medição de ventos. <i>Smartgrid</i> para alavancagem da micro e minigeração. Parques híbridos.
Abdan	Grandes forjados; necessidade de reativação da cadeia.	Fazer ressurgir a capacitação técnica nacional em todos os segmentos envolvidos, de maneira a novamente estar apto a construir uma central nuclear. Viabilização de novos modelos de negócio.	Condições para a implementação de usinas atendendo prazos e custos; novo modelo de negócio com participação estrangeira; planejamento de longo prazo.	Foco em melhoria do sistema de geração, resolução de problemas operacionais e na tecnologia atual (fissão).
ABCE	Poucos fabricantes na cadeia da geração eólica e solar; logística; previsibilidade de demanda	Atualização regulatória frente à revolução tecnológica da geração distribuída; gargalos na transmissão; imprevisibilidade ambiental; estruturação de uma cadeia de CT&I para o setor elétrico e de outra produtiva; equacionamento do processo de P&D a partir do investimento das empresas.	Segurança e estabilidade regulatória e um planejamento crível; disponibilidade de linhas de financiamento e condições econômicas; gestão eficiente.	Armazenamento de energia e geração distribuída.



Associação	Cadeia produtiva – deficiências	Desafios tecnológicos, regulatórios e financeiros	Necessidades para atendimento a demandas futuras	Inovações necessárias
Abesco	Oportunidades para acessórios para a instalação de placas fotovoltaicas	Tropicalizações de itens que já existem para a eficiência energética; desenvolvimento de <i>softwares</i> e serviços, à jusante da cadeia do <i>chip</i> . Mecanismo de regulação para a eficiência energética de caráter voluntário.	Contribuição para o atendimento das demandas futuras através de melhor gerenciamento pelo lado da demanda de potência.	Metodologia e <i>softwares</i> .
Abraço	Evolução na parte de automação	Novas tecnologias de inteligência de comando da usina. Regras mais estáveis e previsibilidade para dar maior segurança aos investidores.	Déficit em geração e transmissão, mas capaz de atender, porém a um custo maior.	Automação; usinas a fio d'água; usinas plataformas; teleoperação de usinas. Previsões meteorológicas.
Abraçee	Fabricantes locais de equipamentos para redes inteligentes dependem de demanda no país	Integração da geração distribuída e seus impactos na qualidade da energia e na confiabilidade; sistemas de segurança cibernética. Aperfeiçoamento regulatório para tratar a geração distribuída; novas fontes de receitas para as distribuidoras a partir da introdução da geração distribuída.	Necessidade de altos investimentos para a transformação das redes atuais em redes inteligentes.	Incorporação da tecnologia da informação e telecomunicações para redes inteligentes.
Abrape	Licenciamento ambiental; contratação de gás natural	Desenvolvimento de fontes de geração que possibilitem maior competitividade e menores preços. Redução de encargos setoriais e da carga tributária; modelo de negócios que fomente a eficiência; sistemas informatizados; aperfeiçoamento do desenho de mercado; previsibilidade, estabilidade e segurança regulatória.	Desde que haja demanda, a indústria teria condições de atender. Atenção com equipamentos obsoletos e redes de distribuição não informatizadas e antigas.	
Abraze	Engenharia consultiva; poucos fornecedores e empreiteiras; falta de articulação entre planejamento energético e cadeia produtiva	Utilização de grandes aproveitamentos de energia hidroelétrica e promoção da transmissão a grandes distâncias. Modelo “mais aplainado” de inteligência de leilão; leilões regionais; planejamento setorial central; “destravamento” da transmissão; modicidade tarifária x sustentabilidade da concessão.	Necessidade de uma política específica de reconhecimento da validade dos equipamentos e de incentivos para a sua substituição.	Supercondutores; monitoramento do clima; sazonalidade; sistemas de proteção para controle superviso.

Fonte: Elaboração própria.

2.4. Priorização

Conforme descrito no volume 8, agenda estratégica de CT&I no setor elétrico, este projeto utiliza um modelo de decisão multicritério para apoiar os agentes decisórios no processo de seleção das rotas relacionadas ao setor, de forma a garantir maior eficiência nas determinações em relação a qual tecnologia deve ser fomentada. O uso de um modelo de decisão multicritério é recomendado quando há a necessidade de se determinar uma ordem de preferência entre alternativas quando estas são avaliadas por meio de diversos critérios conflitantes ou compensatórios. No caso do projeto, analisar as tecnologias através dos indicadores construídos dentro de cada objetivo de análise¹⁹: Socioambiental, Produção de CT&I, Estrutura de CT&I, Mercado e Estratégico.

Definiu-se por utilizar o modelo *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* (Promethee) II para a comparação das alternativas e o modelo ROC para determinação dos pesos de cada critério em análise. Os modelos da metodologia Promethee consistem em construir uma relação de sobreclassificação de valores por meio de funções que estipulam a magnitude em que uma alternativa domina as outras (fluxo positivo) e o quanto ela é dominada pelo restante das alternativas (fluxo negativo). No modelo Promethee II especificamente, determina-se uma preordem completa das alternativas por meio da comparação do fluxo líquido das alternativas, que consiste na diferença entre o fluxo positivo e o negativo de cada alternativa. Uma preordem completa estabelece uma relação binária na qual toda alternativa é comparável entre si (axioma de completeza) e que preserva o ordenamento entre diferentes pares de alternativas (axioma de transitividade). Portanto, ao final do processo, tem-se uma preferência bem definida entre as alternativas. Por sua vez, o modelo Rank Order Centroid (ROC) consiste na construção de pesos para os critérios com base apenas no ordenamento da preferência entre os critérios. Seu uso é recomendado em situações nas quais não há clara noção de cardinalidade da preferência dos critérios.

Para o cálculo da priorização, foram criados indicadores com base nas análises das tecnologias das macrotemáticas dentro de cada dimensão proposta. Com isso, têm-se os seguintes critérios utilizados, apresentados na Tabela 2.

¹⁹ Os mesmos descritos e apresentados no Vol 2, Diagnóstico da CT&I no setor elétrico brasileiro.



Tabela 2 - Critérios considerados na análise das macrotemáticas

Dimensão	Critério	Valores
Socioambiental	Impacto Ambiental	(1) Alto impacto; (2) Impacto moderado; (3) Baixo impacto; (4) Sem impacto; (5) Impacto positivo.
	Impactos da Tecnologia sobre Geração de Empregos	(1) Expectativa de baixa geração de empregos diretos e indiretos; (2) Expectativa de média geração de empregos diretos e indiretos; (3) Expectativa de alta geração de empregos diretos e indiretos.
	Impactos da Tecnologia sobre Remuneração	(1) Expectativa de geração de empregos de baixa remuneração; (2) Expectativa de geração de empregos de média remuneração; (3) Expectativa de geração de empregos de alta remuneração.
	Impactos da Tecnologia sobre Qualificação de Empregos	(1) Expectativa de geração de empregos que demandem ensino médio e/ou curso técnico; (2) Expectativa de geração de empregos que demandem graduação e/ou especialização; (3) Expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado.
	Distribuição Geográfica de Recursos Humanos	(1) Concentrado em uma UF; (2) Concentrado em duas UFs; (3) Concentrado em três UFs; (4) Concentrado em três UFs; (5) Concentrado em três UFs.
Produção de CT&I	Projetos Programa P&D Aneel	(1) Quantidade baixa de projetos; (2) Quantidade mediana de projetos; (3) Quantidade alta de projetos.
	Produção Científica Formal	(1) Quantidade baixa de artigos produzidos no país; (2) Quantidade mediana de artigos produzidos no país; (3) Quantidade alta de artigos produzidos no país.
	Produção Tecnológica	(1) Não foram identificadas patentes depositadas no país; (2) Quantidade baixa de patentes depositadas no país; (3) Quantidade mediana-baixa de patentes depositadas no país; (4) Quantidade mediana-alta de patentes depositadas no país; (5) Quantidade alta de patentes depositadas no país.
	Produção Complementar	(1) Quantidade baixa de trabalhos publicados em eventos; (2) Quantidade mediana de trabalhos publicados em eventos; (3) Quantidade alta de trabalhos publicados em eventos.
Estrutura de CT&I	Competência de Recursos Humanos	(1) Não temos competência; (2) Temos competência mediana; (3) Temos competência alta.
	Disponibilidade de Infraestrutura de CT&I	(1) Quantidade baixa de laboratórios disponíveis; (2) Quantidade mediana de laboratórios disponíveis; (3) Quantidade alta de laboratórios disponíveis.
	Mecanismos de Fomento	(1) Montante baixo de investimento; (2) Montante mediano de investimento; (3) Montante alto de investimento.
	Redes Colaborativas de Recursos Humanos	(1) Grau médio de coautoria baixo; (2) Grau médio de coautoria mediano; (3) Grau médio de coautoria alto.

Dimensão	Critério	Valores
Mercado	Percepção sobre a Demanda Atual no Mercado Nacional	(1) Inexistente; (2) Baixa demanda; (3) Alta demanda.
	Percepção sobre a Demanda Atual no Mercado Global	(1) Inexistente; (2) Baixa demanda; (3) Alta demanda.
	Expectativa de Demanda Futura no Mercado Nacional	(1) Inexistente; (2) Baixa demanda; (3) Alta demanda.
	Expectativa de Demanda Futura no Mercado Global	(1) Inexistente; (2) Baixa demanda; (3) Alta demanda.
Estratégico	Política de Médio Prazo (2026)	(1) Baixa prioridade; (2) Média prioridade; (3) Alta prioridade.
	Política de Longo Prazo (2050)	(1) Baixa prioridade; (2) Média prioridade; (3) Alta prioridade.

Fonte: Elaboração própria.

Conforme descrito acima, há a necessidade de se estabelecer uma ordem de preferência entre os critérios de avaliação de modo a determinar os pesos que cada critério terá na avaliação dos fluxos positivo e negativo de cada alternativa. Como apresentado no vol 8, Agenda estratégica de CT&I no setor elétrico brasileiro, estabeleceu-se o seguinte ordenamento de preferência dos critérios utilizados para a priorização das macrotemáticas, descrito na Tabela 3.



Tabela 3 - Ordem de preferência para cálculo da priorização das macrotemáticas

Ordem	Critério
1º	Política de Médio Prazo (2026)
2º	Política de Longo Prazo (2050)
3º	Percepção sobre a Demanda Atual no Mercado Nacional
4º	Expectativa de Demanda Futura no Mercado Nacional
5º	Expectativa de Demanda Futura no Mercado Global
6º	Percepção sobre a Demanda Atual no Mercado Global
7º	Competência de Recursos Humanos
8º	Disponibilidade de Infraestrutura de CT&I
9º	Projetos Programa P&D Aneel
10º	Impactos da Tecnologia sobre Geração de Empregos
11º	Impactos da Tecnologia sobre Remuneração
12º	Impacto Ambiental
13º	Produção Científica Formal
14º	Mecanismos de Fomento
15º	Produção Tecnológica
16º	Produção Complementar
17º	Redes Colaborativas de Recursos Humanos
18º	Impactos da Tecnologia sobre Qualificação de Empregos
19º	Distribuição Geográfica de Recursos Humanos

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que o ordenamento resulta em um modelo que privilegia os critérios das dimensões Estratégico e Mercado e que, portanto, terão pesos maiores que o restante dos critérios.

Para o cálculo da priorização das macrotemáticas dentro de cada grupo temático, foram calculados os indicadores descritos na Tabela 2.

O resultado da aplicação do modelo multicritério é a priorização das macrotemáticas que será apresentada de forma agrupada em três níveis:

- Nível 1 de prioridade: representa proximadamente 37% das macrotemáticas do projeto. Reúne as primeiras macrotemáticas listadas na ordem de priorização resultante do modelo multicritério apresentado.
- Nível 2 de prioridade: desrespeito a outros aproximadamente 37% das macrotemáticas do projeto. Estão reunidas neste nível as macrotemáticas listadas na sequência do nível 1 da ordem de prioridade resultante da aplicação do modelo multicritério apresentado.
- Nível 3 de prioridade: contempla as demais macrotemáticas do projeto. Neste grupo estão as macrotemáticas listadas na sequência do nível 2 da ordem de prioridade resultante da aplicação do modelo multicritério apresentado.

No caso específico do GT Eficiência Energética que possui apenas quatro macrotemáticas foi utilizado apenas dois níveis de priorização, no qual cada nível contempla 50% das macrotemáticas.

As tabelas 5 à 8 apresentam, respectivamente, o resultado da priorização dos grupos temáticos: Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia; Transmissão de Energia Elétrica; Distribuição de Energia Elétrica; Eficiência Energética; e Assuntos Sistêmicos.

Tabela 4 - Priorização das macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

Nível de Prioridade	Macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia
1º Nível	Termoeletricidade Renovável e Não Renovável
	Energia Eólica
	Armazenamento de Energia
	Energia Solar Fotovoltaica
2º Nível	Geração Hidroelétrica
	Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas
	Hidrogénio e Célula a Combustível
	Energia Nuclear
3º Nível	Energia Solar Heliotérmica
	Energia dos Oceanos

Fonte: Elaboração Própria



Tabela 5 - Priorização das macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica

Nível de Prioridade	Macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica
1º Nível	Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão
	Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão
	Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)
	Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional
2º Nível	Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC)
	Equipamentos de Alta Tensão e Subestações
	Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA)
	Estruturas, Condutores e Isoladores
3º Nível	Supercondutores
	Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6 - Priorização das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica

Nível de Prioridade	Macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica
1º Nível	Automação da Rede
	Qualidade da Energia Elétrica
	Geração Distribuída e Microrredes
	Operação e Manutenção
2º Nível	Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)
	Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes
	Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas
	Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição
3º Nível	Subestações e Equipamentos
	Medição Avançada
	Mobilidade Elétrica
	Segurança Cibernética

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7 - Priorização das macrotemáticas do GT Eficiência Energética

Nível de Prioridade	Macrotemática do GT Eficiência Energética
1º Nível	Indústria
	Edificações Eficientes
2º Nível	Sistemas de Iluminação Eficientes
	Saneamento

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 - Priorização das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos

Nível de Prioridade	Macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos
1º Nível	Sistemas de Informação e Estatística
	Modelos de Planejamento da Operação
	Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos
	Modelos de Planejamento da Expansão
2º Nível	Regulação
	Demanda por Energia Elétrica
	Planejamento de CT&I
3º Nível	Análise dos Impactos das Tecnologias
	Modelos Econômicos e de Mercado
	Modelos Institucionais
	Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade
	Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Fonte: Elaboração própria.



Capítulo 3



Capítulo 3

Grupo Temático: Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

3.1. Introdução

O grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia contempla as fontes energéticas e formas de geração de energia elétrica, além dos meios de armazenamento de energia no contexto da PD&I. Inclui sistemas de geração e armazenamento dedicados à geração em região remotas, além das tecnologias de planejamento, implantação, operação e manutenção de usinas.

3.1.1. Conceitos das Macrotemáticas

Energia Eólica

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre o processo de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica. Contempla as tecnologias de previsão e planejamento da operação, implantação, manutenção e descomissionamento de parques eólicos, monitoramento e operação, além das tecnologias de equipamentos e sistemas do parque gerador. As respectivas temáticas são caracterizadas de acordo com o porte (grande ou pequeno), eixo e localização (*onshore e offshore*) dos aerogeradores.

Energia Nuclear

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre o processo de conversão da energia térmica, gerada a partir da fissão do urânio, em energia elétrica. Contempla os diferentes tipos tecnológicos dos reatores nucleares, combustíveis, materiais avançados e de alta pureza, segurança, operação, manutenção e descomissionamento de usinas nucleares. A geração de energia elétrica via fusão nuclear é mencionada como uma linha de desenvolvimento, apesar de toda sua complexidade.

Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre tecnologias utilizadas na geração de energia elétrica em regiões remotas. As tecnologias consideradas neste estudo são soluções para geração em sistemas isolados (tecnologias para geração concentrada e geração descentralizada) e em sistemas conectados ao SIN (tecnologias para geração de ponta de rede e GD rural). A PD&I é abordada em cada um dos sistemas, considerando as potencialidades energéticas das regiões remotas, as tecnologias de que compõem os sistemas de geração, bem como as tecnologias de gestão de ativos.

Armazenamento de Energia

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre tecnologias de armazenamento de energia, com destaque aos tipos eletroquímicos (baterias), mecânicos, elétricos, químicos e térmicos. Também são consideradas na macrotemática as possibilidades de PD&I sobre as tecnologias de O&M dos sistemas de armazenamento, mais especificamente, sobre os sistemas de gerenciamento de armazenamento de energia via baterias (BMS).

Geração Hidroelétrica

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre a conversão da energia hidráulica em energia elétrica. Contempla as diferentes modalidades de usinas hidráulicas considerando tipo do reservatório e a capacidade de produção de energia. São igualmente identificados as diferentes tecnologias do



conjunto turbina – gerador, bem como as tecnologias de planejamento, operação e manutenção dos sistemas de conversão de energia.

Geração de Energia Elétrica via Hidrogênio e/ou Célula a Combustível

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre geração de eletricidade a partir do hidrogênio via célula a combustível. O uso da célula a combustível por meio do uso de outros insumos energéticos também foi considerado, porém com menor enfoque. Também, são apresentadas as tecnologias de produção e armazenamento do hidrogênio.

- Obs.: o uso do hidrogênio como insumo para geração térmica não foi considerado em nenhuma macrotemática, por ser uma opção inviável e de difícil possibilidade de aplicação na geração de energia elétrica.

Geração Termoelétrica

A macrotemática aborda as possibilidade de PD&I sobre os sistemas de conversão aplicados na geração termoelétrica (motores alternativos, ciclos a turbinas e sistemas de cogeração), tecnologias de O&M e geração de ativos, bem como as possibilidades de PD&I sobre a produção, melhoramentos e potenciais energéticos de combustíveis (biomassa, resíduos sólidos urbanos e combustíveis fósseis).

- Obs.: ressalta-se que, embora os sistemas de conversão heliotérmico e a geração nuclear utilizem máquinas térmicas em seus processos de produção de energia, essas tecnologias serão abordadas especificamente em outras macrotemáticas.

Energia dos Oceanos

A macrotemática aborda as possibilidade de PD&I sobre o processo de conversão dos diferentes recursos oceânicos em energia elétrica. Considera, portanto, como recursos oceânicos a energia das ondas, amplitude das marés, correntes e marés oceânicas, gradiente de temperatura e gradiente de salinidade.

- Obs.: são enfatizadas os processos de conversão da energia das ondas e marés.

Energia Solar Fotovoltaica

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre o processo de conversão da energia irradiada pelo sol em energia elétrica, por meio do efeito fotoelétrico. Compõem estudos sobre componentes dos sistemas fotovoltaicos (módulo de silício cristalino, módulo de filmes finos, módulo de tecnologias emergentes e BoS – sistema de monitoramento e operação), recurso solar e sobre aplicação dos sistemas fotovoltaicos na GD, central fotovoltaica e em sistemas isolados.

Energia Solar Heliotérmica

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre o processo de conversão da energia irradiada pelo sol em energia elétrica, por meio da concentração solar (CSP) na geração de vapor. Compõem estudos sobre os sistemas CSP (sistema heliotérmico de linha focal, ponto focal e tecnologias auxiliares à geração heliotérmica – armazenamento de energia, GD, química solar e hibridização) e sobre o mapeamento do recurso solar.

3.2. Diagnóstico

Conforme mencionado, o Diagnóstico do setor elétrico traz subsídios à formulação das diretrizes, ou políticas, de desenvolvimento das tecnologias de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia, no Brasil. Nesse contexto, foram consideradas as dimensões Socioambiental, Produção de CT&I, Estrutura de CT&I e Indústria e Mercado do setor elétrico brasileiro.

3.2.1. Socioambiental

A Dimensão Socioambiental caracteriza o impacto que as tecnologias futuras de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia possuirão sobre o meio ambiente e a sociedade. Para tanto, serão considerados a influência da operação dessas tecnologias na qualidade do ar, água, nível de ruído, temperatura local e na fertilidade do solo, bem como o impacto dessas tecnologias no contexto social (produção de empregos e geração de recursos humanos). Nessa caracterização não foi levado em conta o impacto do ciclo de vida dessas tecnologias.



No cenário futuro da matriz elétrica brasileira, o impacto da geração de energia eólica sobre o meio ambiente será baixo. A geração de ruído pelos aerogeradores é uma consequência da dinâmica do escoamento ao redor das pás. Esse efeito deve ser mitigado gradualmente por meio de novas configurações de rotores e pás e por meio do uso de materiais tecnológicos.

O impacto de maior significância na geração nuclear diz respeito ao calor residual dos processos da usina. Nesse sentido, a P&D tem focado em mitigar a geração de calor residual por meio do aumento de eficiência dos ciclos de refrigeração e de potência, melhoria do elemento combustível e por meio do uso da cogeração para atender aos serviços da usina. Além desses pontos, o desenvolvimento de novas tecnologias de segurança, armazenamento e reprocessamento dos resíduos nucleares serão realizados como meio de elevar a proteção contra poluição radiativa. Deve-se considerar, também, que a substituição de fontes energéticas poluentes pela fonte nuclear promoveria uma queda na emissão de carbono o que, junto com as respectivas melhorias das tecnologias, promove a geração nuclear a uma fonte cujo impacto ao meio seja positivo.

A geração hidroelétrica apresentará baixo impacto ao meio ambiente. Os impactos gerados pelos empreendimentos serão mitigados por meio de novos desenhos de usinas e pelo uso de turbinas do tipo *fishfriendly*. Nesse sentido, estudos estão sendo realizados para facilitar o processo migratório de peixes e diminuir a mortalidade de espécies pelas turbomáquinas. Além disso, os reservatórios hídricos serão utilizados para a instalação de centrais fotovoltaicas flutuantes como meio de compensar a área inundada.

Embora a geração de eletricidade via hidrogênio em células a combustível gere como produto H_2O , a produção desse insumo envolve processos que fazem uso de outras fontes energéticas. A produção o insumo energético de correr, em sua maior parte, por meio de tecnologias de cogeração ou por meio do uso de fonte como a eólica ou a solar fotovoltaica e heliotérmica. Nesse sentido, o uso dessa fonte contribui de forma positiva com a conservação do meio.

As tecnologias dedicadas à geração via energia dos oceanos trarão baixo impacto ao meio ambiente, pois não há produção de emissões poluentes e alguns equipamentos poderão ser utilizados para a formação de corais artificiais.

Os sistemas de geração fotovoltaicos e heliotérmicos apresentarão baixo impacto ambiental, se considerada a implantação de usinas solares. O impacto diz respeito ao solo, uma vez que a necessidade de ocupação de grandes áreas para a geração centralizada poderá retirar dessas terras a possibilidade de outros aproveitamentos. Ademais, os poluentes oriundos da geração heliotérmica dar-se-iam

pela presença de aditivos para a lavagem dos espelhos, fato contornável com a substituição ou desenvolvimento de substâncias biodegradáveis.

Os sistemas de armazenamento de energia contribuirão de forma significativa na preservação do meio ambiente. Os impactos gerados pelos sistemas de geração de energia elétrica serão mitigados em parte pelo uso da energia armazenada, principalmente em reservatórios hídricos e, em menor escala, pelo uso de baterias (aplicação na GD).

As diversas soluções para a geração de energia elétrica em regiões remotas contribuirão significativamente para mitigar os impactos ao meio ambiente. Esse ponto de vista é justificado pela possibilidade do uso de diversas tecnologias de geração de energia elétrica, integradas de forma conveniente. Para o processo da produção de eletricidade serão considerados os recursos energéticos locais disponíveis, o melhor arranjo entre conversores de energia, além do uso de sistemas de armazenamento, em configurações do tipo GD. Além da configuração dos sistemas de geração, levar-se-ão em conta as estratégias de operação e monitoramento.

Com o desenvolvimento da P&D, as tecnologias aplicadas a geração termoelétrica tendem a emitir menos particulados poluentes e serem mais eficientes sob o ponto de vista de consumo de combustível. Os assuntos abordados no âmbito da P&D apontam para tecnologias dedicadas ao uso da bioenergia, processamento e produção de insumos energéticos (elevação da capacidade calorífica), tecnologias de combustão, uso de sistemas de cogeração, O&M avançados e ao uso combinado dos sistemas térmicos com outras tecnologias de geração via fontes renováveis.

No que diz respeito às questões sociais, no quesito geração de empregos, o desenvolvimento da P&D no grupo geração e armazenamento de energia proporcionará uma expectativa de média para alta geração de empregos. Fatos atribuídos por:

- Desenvolvimento e crescimento da cadeia produtiva para o atendimento das demandas fabris, tanto das novas tecnologias quanto da ampliação dos parques tecnológicos já existentes.
- Necessidade de mão de obra dedicada aos processos de planejamento, implantação e comissionamento das plantas de geração.
- Aumento da mão de obra para a operação e manutenção das plantas novas e repotenciadas.

Em média, espera-se que a área de geração e armazenamento de energia demande cargos com profissionais graduados e/ou especializados. São esperados profissionais com qualificação para as atividades de desenvolvimento e fabricação de equipamentos, e profissionais qualificados para a gestão da operação e dos ativos dos sistemas de geração e armazenamento de energia. O que inclui interpretar dados, oferecer



soluções com maior assertividade e desenvolver e trabalhar com tecnologias mais complexas que o usual. Conseqüentemente, o nível salarial deve ser elevado, tornando-o compatível com as atividades atribuídas aos novos profissionais. Essas questões não invalidam o trabalho técnico. A operação dos sistemas de geração e armazenamento de energia demandaram desses profissionais maior especialização, pelos mesmos motivos apresentados. Nesse sentido, a Tabela 9 apresenta uma caracterização do impacto social que as futuras tecnologias do grupo geração e armazenamento de energia podem proporcionar.

Tabela 9 - Indicadores de Dimensão Social do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento

	Geração de empregos	Remuneração	Qualificação
Energia Eólica	2	1	3
Energia Solar Fotovoltaica	3	1	3
Energia Solar Heliotérmica	2	3	3
Energia dos Oceanos	1	1	3
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável	3	2	3
Hidrogênio e Célula a Combustível	1	3	3
Geração Hidroelétrica	2	2	3
Energia Nuclear	2	3	3
Armazenamento de Energia	1	3	3
Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas	2	3	3

Legenda: Geração de Empregos: (1) Expectativa de baixa geração de empregos diretos e indiretos; (2) Expectativa de média geração de empregos diretos e indiretos; (3) Expectativa de alta geração de empregos diretos e indiretos. Remuneração: (1) Expectativa de geração de empregos de baixa remuneração; (2) Expectativa de geração de empregos de média remuneração; (3) Expectativa de geração de empregos de alta remuneração. Qualificação: (1) Expectativa de geração de empregos que demandem ensino médio e/ou curso técnico; (2) Expectativa de geração de empregos que demandem graduação e/ou especialização; (3) Expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado.

Fonte: Elaboração própria.

3.2.2. Indústria e Mercado (Cadeia Percepção e Cadeia)

Conforme mencionado na metodologia, o indicador mercado caracteriza a demanda atual e futura das tecnologias desse grupo temático, nos contextos Brasil e mundo.

A demanda por tecnologias na área de geração de energia elétrica depende da forma como o mercado é estruturado ou incentivado, no país. A princípio, todas as tecnologias de geração que contribuam para mitigar as emissões de particulados e o consumo de energéticos são bem-vindas à matriz elétrica nacional. Contudo algumas tecnologias são mais favoráveis à penetração de mercado, graças às políticas do setor, *marketing* e aprovação popular. A energia eólica, por exemplo, possui elevada demanda e projeção em escala regional e mundial. Observa-se que a questão regulatória sobre essa macrotemática favorece a introdução dessas tecnologias no Brasil, principalmente as de grande porte de geração.

As tecnologias voltadas às macrotemáticas Geração Hidroelétrica, Energia Nuclear e Térmica Renovável e Não Renovável estão consolidadas na matriz elétrica nacional. Essa questão reflete na demanda por tecnologias mais eficientes dos pontos de vista de consumo e emissões, o que garantirá a permanência dessas fontes, no contexto do mercado de energia. Dessa forma, o consumo de equipamentos tende a aumentar, mas o mercado de tecnologias a ser favorecido será o externo, caso não haja desenvolvimento de massa crítica e das cadeias produtiva e de CT&I nacionais. O aprimoramento dessas questões elevaria o mercado interno de tecnologias, com conseqüente atendimento às demandas da matriz elétrica nacional, com razoabilidade nos custos.

Embora a geração solar seja favorável ao Brasil e esteja presente no planejamento energético, as tecnologias de geração via sistemas fotovoltaicos, ainda, precisam de incentivos para sua afirmação no mercado nacional, em função do elevado custo da tecnologia e da baixa eficiência de conversão. O uso geração heliotérmica, ainda, é incipiente no Brasil e encontra-se num contexto mais laboratorial. Contudo a demanda por essas tecnologias tende a aumentar a longo prazo, conforme a matriz elétrica nacional precise expandir. Mas, para isso, observa-se a necessidade do aprimoramento das políticas e regulações, votadas a essas tecnologias, com foco no mercado de energia e de equipamentos.

Os sistemas incluídos na macrotemática Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas serão demandadas pelo mercado com a expansão da matriz elétrica nacional e com o desenvolvimento da geração distribuída no Brasil. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias nacionais de sistemas híbridos, o mapeamento de insumos energéticos e de tecnologias de integração à rede e aos sistemas de armazenamento fortaleceria a afirmação dessas tecnologias no mercado.



Outro ponto a ser explorado é a questão regulamentar que precisa ser desenvolvida ou adaptada à natureza dessa macrotemática.

As tecnologias de armazenamento de energia terão forte apelo comercial com a introdução das fontes renováveis, como a solar, a eólica e os híbridos, e com o desenvolvimento da geração distribuída. Nesse contexto, a demanda pelo armazenamento estaria fundamentada na necessidade de apoio aos sistemas de geração intermitente, para garantir o fornecimento seguro de energia elétrica às redes. Embora o uso das tecnologias de armazenamento esteja assegurado no mercado de energia e de componentes, observa-se a necessidade de políticas e regulações que subsidiem o desenvolvimento dessa macrotemática na cadeia de CT&I e industrial.

A demanda pela geração via hidrogênio em células a combustíveis é notoriamente viável a partir do uso de sistemas de cogeração para produção do insumo energético. Para a introdução dessa macrotemática no mercado, é preciso que a cultura da eficiência energética seja consolidada na cadeia produtiva e na matriz elétrica nacional. A criação de políticas para o uso do hidrogênio em sistemas de geração distribuída e em locais de intensa atividade humana traria o benefício da mitigação das emissões de particulados, fato a ser ponderado, embora sejam observados os elevados custos para produção e transporte do hidrogênio a esses lugares. Além disso, há que se considerar o uso de outros insumos energéticos, como o etanol, e o aprimoramento das tecnologias de célula a combustível com foco na eficiência energética, e melhoria dos custos de fabricação, implantação e operação, para facilitar a entrada dessa macrotemática no mercado.

O uso da energia dos oceanos é algo extremamente vantajoso à matriz elétrica nacional, dada a disponibilidade dos recursos energéticos e dada a maturidade de algumas tecnologias, já viáveis do ponto de vista comercial. Contudo, ainda, faltam políticas e uma cadeia produtiva (e de CT&I) consistente para suportarem a introdução dessas tecnologias em território nacional. Questões que justificam a baixa demanda por essa macrotemática, atualmente.

3.2.3. Cadeia Produtiva

A Tabela 10 apresenta uma caracterização da Cadeia Produtiva Nacional que pode desenvolver e manufaturar produtos às macrotemáticas do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia.

A macrotemática que apresentou os melhores resultados considerando os nove indicadores e a comparação entre todas as macrotemáticas do grupo foi Geração Hidroelétrica. Na sequência de

destaque, aparece a macrotemática Termoeletricidade Renovável e Não Renovável. Ao comparar esses resultados com a análise dos projetos no âmbito do Programa de P&D regulado pela Aneel e na quantidade de patentes a nível mundial e nacional, percebe-se que essas duas macrotemáticas também se destacam nesses indicadores. Essa situação demonstra que o desenvolvimento da cadeia produtiva e a sua estruturação são fundamentais para se atingir resultados expressivos em termos de produtos nacionais. Esses temas são mais tradicionais no contexto da geração de energia elétrica e a pesquisa e o desenvolvimento já vêm se consolidando ao longo do tempo, o que pode ter ajudado na apresentação de melhores resultados em termos de cadeia produtiva.

Já as macrotemáticas Energia Solar Heliotérmica e Hidrogênio e Célula a Combustível apresentaram resultados menos expressivos em termos de cadeia produtiva, o que indica que esses temas necessitam, ainda, de aporte da PD&I para que se estruturam melhor no âmbito do SEB, com desenvolvimento de componentes e produtos nacionais. Vale lembrar que esses temas são relativamente novos no contexto da geração de energia elétrica no Brasil e necessitam de definições melhores em termos de marcos regulatórios, planejamento energético e priorização de linhas de PD&I, para que possam atingir um nível mais robusto de cadeia produtiva que irá gerar melhores resultados em termos de produtos nacionais.

Tabela 10 - Indicadores de cadeia produtiva do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento

	Grau de estruturação	Acesso aos insumos	Itens manufaturados	Serviços técnicos	Dificuldade futura	Infraestrutura de logística	Sinergia	Normas	Regulações
Energia Eólica	4	2	3	2	3	2	2	3	3
Energia Solar Fotovoltaica	3	2	2	2	3	2	2	3	3
Energia Solar Heliotérmica	2	2	1	2	3	2	2	2	3
Energia dos Oceanos	2	3	2	1	3	2	3	3	2
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável	3	3	3	2	4	2	3	3	3
Hidrogênio e Célula a Combustível	2	2	2	1	3	1	2	3	3
Geração Hidroelétrica	4	3	4	3	3	3	2	3	3



	Grau de estruturação	Acesso aos insumos	Itens manufaturados	Serviços técnicos	Dificuldade futura	Infraestrutura de logística	Sinergia	Normas	Regulações
Energia Nuclear	3	2	3	3	3	3	2	3	3
Armazenamento de Energia	2	2	2	2	2	2	2	3	3
Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas	3	3	4	2	4	3	2	2	2

Legenda: **Grau de estruturação:** (1) Grau de estruturação inexistente da cadeia produtiva nacional; (2) Grau de estruturação baixo da cadeia produtiva nacional; (3) Grau de estruturação médio da cadeia produtiva nacional; (4) Grau de estruturação alto da cadeia produtiva nacional. **Acesso aos insumos:** (1) Não há disponibilidade de insumos em território nacional para atender às necessidades atuais da cadeia produtiva; (2) Existe disponibilidade de insumos, mas seu acesso/obtenção é difícil; (3) Existe disponibilidade de insumos e seu acesso/obtenção é fácil. **Itens manufaturados:** (1) Baixa capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (2) Média capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (3) Média-alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (4) Alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional. **Serviços técnicos:** (1) Baixo nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (2) Médio nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (3) Alto nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional. **Dificuldade futura:** (1) Alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (2) Média-alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (3) Média-baixa dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (4) Baixa dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro. **Infraestrutura de logística:** (1) Baixo nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; (2) Médio nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; (3) Alto nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva. **Sinergia:** (1) Não existem sinergias com outras cadeias produtivas nacionais, pois os insumos, bens e serviços são muito específicos à cadeia produtiva; (2) Existe sinergia com outras cadeias produtivas nacionais quer seja nos insumos utilizados ou nos bens e serviços ofertados, mas ainda há especificidades da cadeia que são relevantes e dificultam a sua sinergia com outras cadeias produtivas nacionais; (3) Existem sinergias relevantes com outras cadeias produtivas nacionais, pois os materiais, os bens e os serviços utilizados não são específicos à cadeia produtiva. **Normas:** (1) Baixa importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local. **Regulações:** (1) Baixa importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local.

Fonte: Elaboração própria.

3.2.4. Produção de CT&I

Artigos

No contexto Brasil, observa-se que as respectivas publicações estão concentradas nas regiões Sudeste e Sul do país, em função da presença das principais instituições de ensino, institutos de tecnologias e laboratórios e em função da presença maciça da cadeia produtiva nacional. Embora, o país apresente uma diversificação conveniente de fontes energéticas a serem exploradas (pesquisadas), as produções científicas nacionais ainda são pouco representativas, em termos de quantidade, quando equiparadas ao montante de publicações observadas no mundo (ver Gráfico 7 e Tabela 11).

No contexto Brasil, as macrotemáticas Termoelectricidade Renovável e Não Renovável, Armazenamento de Energia, Geração Hidroelétrica e Hidrogênio e Célula a Combustível representam mais de 60% das publicações geradas no Brasil, nos últimos 10 anos (ver Gráfico 7). Praticamente, todas as macrotemáticas apresentaram uma evolução no número de publicações ao longo desse período, mas as publicações com destaque à tendência de desenvolvimento tecnológico dizem respeito às fontes térmica, à geração hidroelétrica, à energia eólica e solar fotovoltaica, além da macrotemática Armazenamento de Energia (ver Gráfico 8).

É plausível que a tendência de publicações nessas macrotemáticas seja maior que nas demais, dada a participação maciça dessas fontes e dos sistemas de armazenamento na constituição futura da matriz elétrica brasileira. Os temas abordados nessas pesquisas, basicamente, dizem respeito ao desenvolvimento de tecnologias²⁰ com elevada confiabilidade e custos de fabricação, implantação, operação e manutenção que as tornem atrativas ao mercado de energia.

A tendência de publicações menos expressivas das demais macrotemáticas ocorre, em sua maioria, pela prioridade a longo prazo dado pelo planejamento e pela maturidade da CT&I sobre a fonte no contexto nacional.

²⁰ Em maior parte, as tecnologias correspondem aos componentes de sistemas de conversão de energia, em sistemas de integração entre fontes e rede e em tecnologias de O&M e monitoramento.

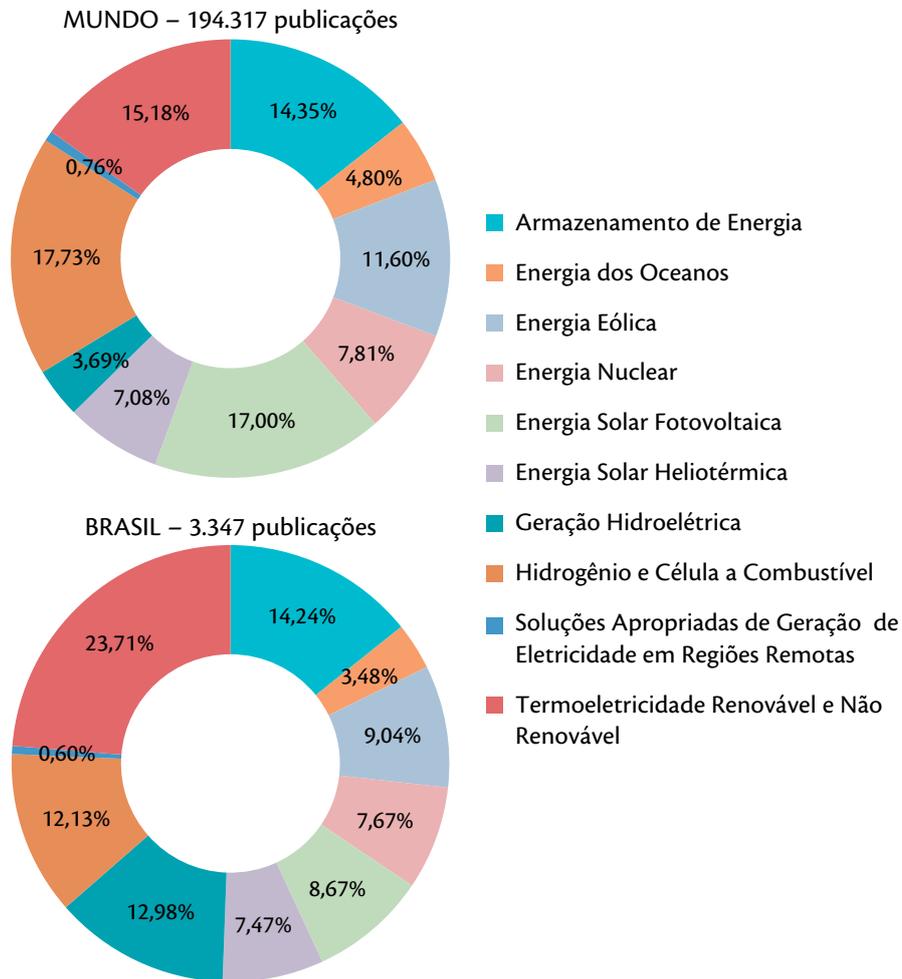


Gráfico 7 - Caracterização da distribuição de assuntos pesquisados no mundo e no Brasil referentes ao grupo geração e armazenamento de energia, consolidado no período de 2007 a 2016

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11 - Ranking dos países que mais publicam no grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia, considerando as macrotemáticas

	1º	2º	3º	4º	5º	Colocação do Brasil
Energia Eólica	Estados Unidos	China	Espanha	Alemanha	Dinamarca	19º
Energia Solar Fotovoltaica	Estados Unidos	China	Coreia do Sul	Taiwan	Alemanha	22º
Energia Solar Heliotérmica	Estados Unidos	China	Espanha	Alemanha	França	14º
Energia dos Oceanos	Estados Unidos	China	Reino Unido	França	Austrália	20º
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável	Estados Unidos	China	Itália	Índia	Espanha	9º
Hidrogênio e Célula a Combustível	China	Estados Unidos	Coreia do Sul	Japão	Canadá	16º
Geração Hidroelétrica	China	Estados Unidos	Brasil	Canadá	Índia	
Energia Nuclear	Estados Unidos	Japão	China	França	Índia	12º
Armazenamento de Energia	Estados Unidos	China	Coreia do Sul	Japão	Espanha	15º
Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas	China	Estados Unidos	Índia	Espanha	Irã	19º

Fonte: Elaboração própria.

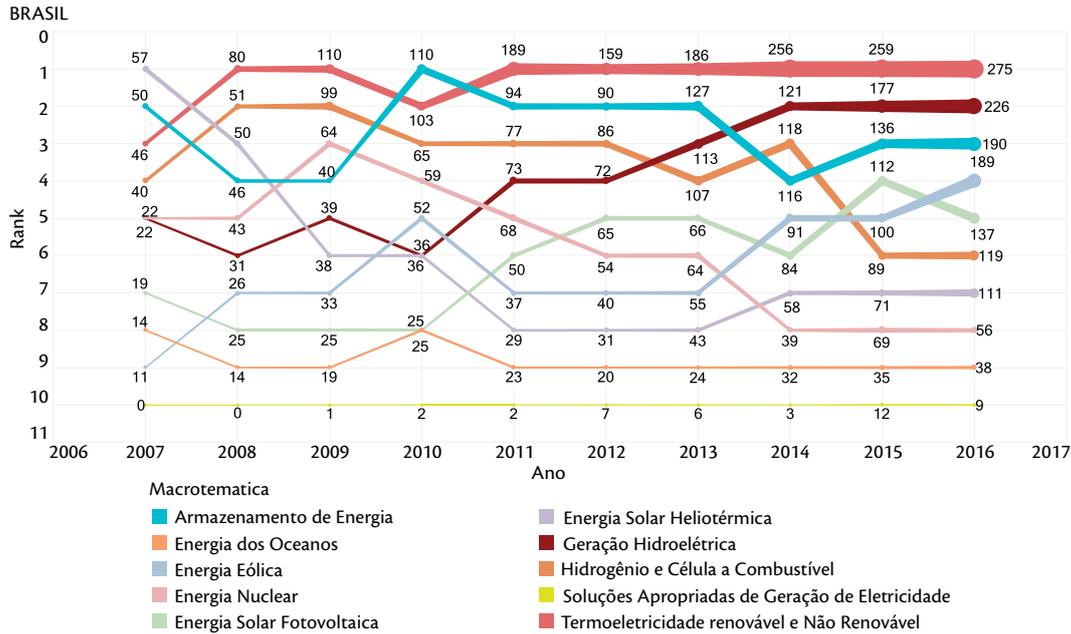


Gráfico 8 - Evolução da produção científica no Brasil, no contexto do grupo Geração e Armazenamento, considerando o período de 2007 a 2016

Fonte: Elaboração própria.

Produção Complementar

Para a caracterização da produção complementar, foram levadas em conta as pesquisas de CT&I realizadas no setor elétrico e apresentadas em eventos promovidos pelo próprio setor. Foram considerados os trabalhos publicados entre 2007 e 2016 no Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citene), Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Sendi), Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE) e no Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica (Sepope). Conforme apresentado Gráfico 9, as publicações sobre a Geração Hidroelétrica, Energia eólica e Termoeletricidade representam mais de 75% dos trabalhos apresentados nesses eventos.

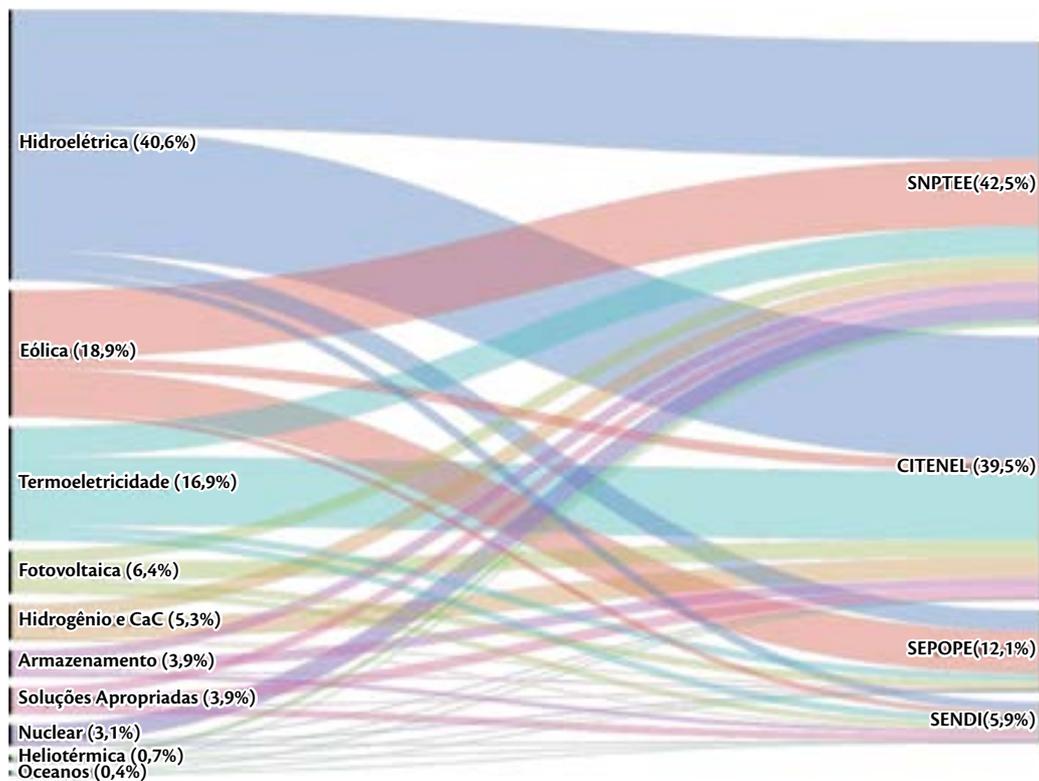


Gráfico 9 - Distribuição das macrotemáticas nos eventos do setor elétrico brasileiro

Fonte: Elaboração própria.

Mais de 80% dos trabalhos de Geração e Armazenamento de Energia são apresentados no SNPTEE e no Citenel. Nos dois eventos, a quantidade de trabalhos sobre hidroeletricidade é um destaque enquanto que os trabalhos de geração termoeétrica parecem ter foco no Citenel e os trabalhos de energia eólica, foco no SNPTEE.

Os trabalhos sobre energia eólica, solar fotovoltaica e geração hidroelétrica também são destaque no Sepope, dada a possibilidade de pesquisas sobre o planejamento do setor com a entrada dos parques eólicos e com a implantação de novas usinas hidroelétricas, principalmente PCHs. Como esperado, menos de 6% das publicações do grupo Geração e Armazenamento são apresentados no Sendi (ver Gráfico 9), cujos estudos possuem maior foco na distribuição de energia elétrica. Nesse caso, os trabalhos relacionados à Geração e Armazenamento de Energia ocorre no contexto da GD.



As publicações complementares permitem inferir sobre as expectativas dos expositores (empresas) com relação ao mercado de energia nacional. Questão, normalmente, não levada em conta no meio acadêmico. Em vista disso, os respectivos trabalhos dizem respeito, em sua maioria, ao desenvolvimento de protocolos de operação e monitoramento de máquinas, à gestão de patrimônio, aos materiais, ao aumento da eficiência de máquinas e processos, às questões ambientais, às tecnologias de implantação, aos modelos numéricos de previsão do recurso, à implantação de sistemas de geração na rede e desenvolvimento de combustíveis.

Projetos Aneel

As empresas têm desenvolvido projetos de P&D, principalmente no contexto da geração termoelétrica e hidroelétrica e, em menor escala, nos segmentos da geração solar e eólica (ver Gráfico 10).

A não inclusão das empresas que geram energia, exclusivamente, a partir de instalações eólica, solar, biomassa, cogeração qualificada e a partir de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) no Programa de P&D coordenado pela Aneel, pode ter impactado nesse cenário, principalmente nos contextos Solar, Eólica e Hidrogênio – Célula a Combustível (nesse caso, as empresas de cogeração ganhariam espaço).

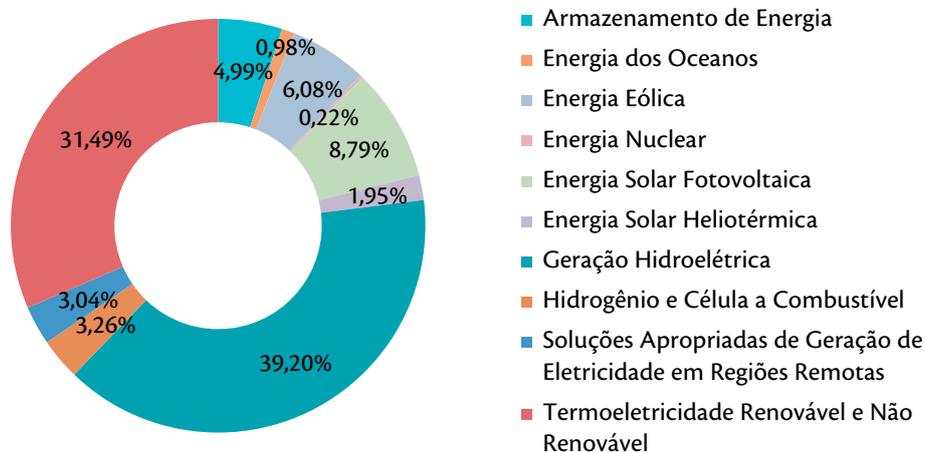


Gráfico 10 - Participação dos projetos Aneel por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Embora a Lei nº 9.991/2000 estabeleça que os projetos devam estar pautados pela busca de inovações para fazer frente aos desafios tecnológicos e de mercado das empresas de energia elétrica, devam ser originais e inovadores, a realidade almejada nesse trecho não se reflete, de fato, nos resultados dos projetos de P&D regulados pela Aneel. O cumprimento da cadeia de inovação e a inserção de um produto original no mercado, ainda, não é uma realidade, conforme apresentado no Gráfico 11.

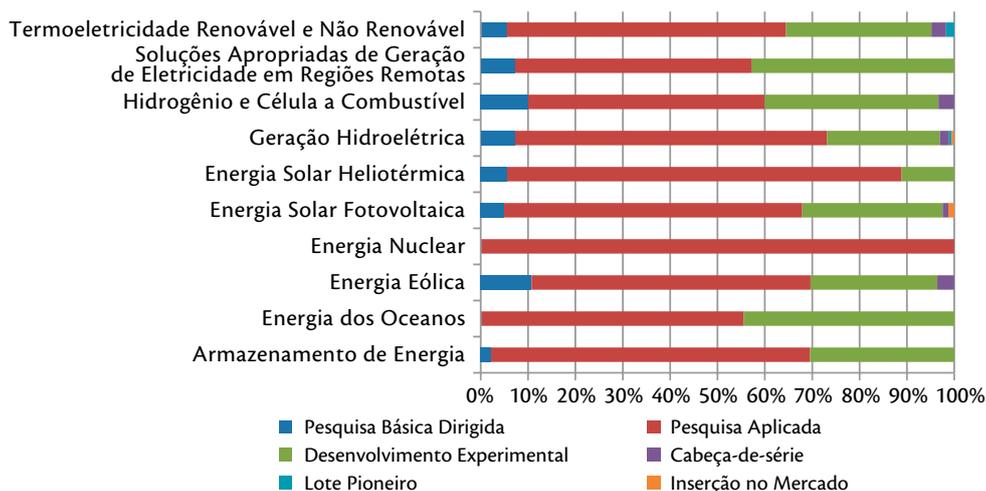


Gráfico 11 - Posicionamento dos projetos de P&D do SEB, do grupo Geração e Armazenamento de Energia, na cadeia de inovação

Fonte: Elaboração própria.

A maioria dos projetos desenvolvidos no Programa de P&D regulado pela Aneel é finalizado enquanto pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental. Os poucos projetos no universo da Geração e Armazenamento que alcançaram a inovação (viraram mercado) dizem respeito às macrotemáticas Energia Solar Fotovoltaica e Geração Hidroelétrica.

O setor elétrico brasileiro, de forma geral, desenvolve trabalhos semelhantes, de pouco risco tecnológico, em áreas voltadas ao universo da eletrônica, controle, Tecnologia da Informação (TI), Operação & Manutenção (O&M) e em obras civis, com baixa inovação e pouca cooperação entre empresas²¹. Constata-se, também, que os investimentos mais expressivos ocorrem quando das chamadas estratégicas pela Aneel, em que há um direcionamento mais claro dos investimentos garantidos em lei, com menor risco de glosa. Na média, os profissionais de P&Ds do setor possuem elevada capacitação.

21 Questão observada na análise de redes de profissionais do Setor Elétrico Brasileiro, no contexto do grupo temático geração de energia elétrica e armazenamento de energia.



Patente

No Gráfico 12, nota-se a predominância de depósitos de patentes na macrotemática Termoeletricidade Renovável e Não Renovável. Este dado encontra correlação direta com o efeito China, que é traduzido no intensivo desenvolvimento desta trajetória tecnológica de geração de energia elétrica e, também, pela estratégia deliberada deste país em alcançar a liderança de propriedade intelectual, traduzida no seu plano *China's National Patent Development Strategy (2011-2020)*.

Com participações menos expressivas, porém importantes no âmbito da Geração, encontram-se patentes depositadas em Energia Eólica, dos Oceanos, Nuclear e Solar Heliotérmica. Deve-se sublinhar o aparecimento de fontes emergentes e na fronteira tecnológica como células a combustível, sendo uma nova entrante nesse contexto de busca por soluções, o que pode demonstrar uma possível reestruturação setorial no que toca à matriz energética mundial.

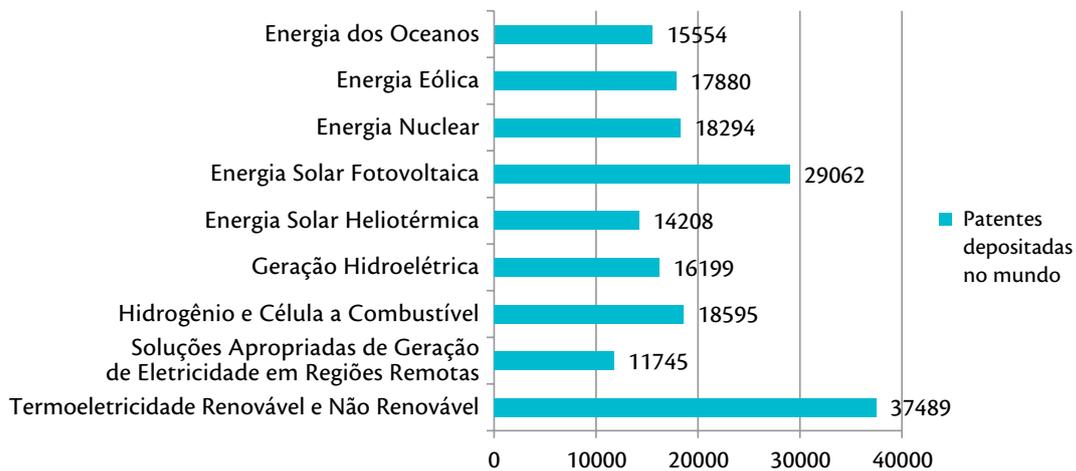


Gráfico 12 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do grupo Geração e Armazenamento de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Ao trazer esta discussão para o caso brasileiro, a dinâmica muda expressivamente, conforme apresentado no Gráfico 13. Não entrando no mérito quantitativo, verifica-se que a ênfase das patentes depositadas no Brasil também é calçada nas fontes termoeletricas. Isto demonstra claro alinhamento do comportamento brasileiro ao internacional, que pode ser entendido de diversas maneiras, como,

por exemplo, os mesmos atores e empresas que depositam suas patentes em seus países de origem, também o fazem em outros, via acordo PCT²².

O Gráfico 13 também faz um contraponto entre as patentes cujo endereço do inventor localiza-se no Brasil com aqueles registrados no exterior. Essa perspectiva de análise que olha o quesito localização pode fornecer pistas da dinâmica tecnológica de determinado país.

A participação de patentes desenvolvidas no país (residentes BR) é substancialmente inferior se comparada às internacionais. Verifica-se, assim, que grande parte da tecnologia que é patenteada no país foi desenvolvida em outras localidades. Este movimento pode ser entendido sob diversos olhares, como a atração do mercado brasileiro para o investimento estrangeiro direto (IED)²³, traduzido pela expressiva demanda interna de energia elétrica e no consumo (das famílias, instituições e empresas) de energia. Há que se ponderar também o papel das empresas internacionais com subsidiárias no Brasil, que, por sua vez, querem proteger suas tecnologias desenvolvidas em outros países, para que possam ser comercializadas aqui no país.

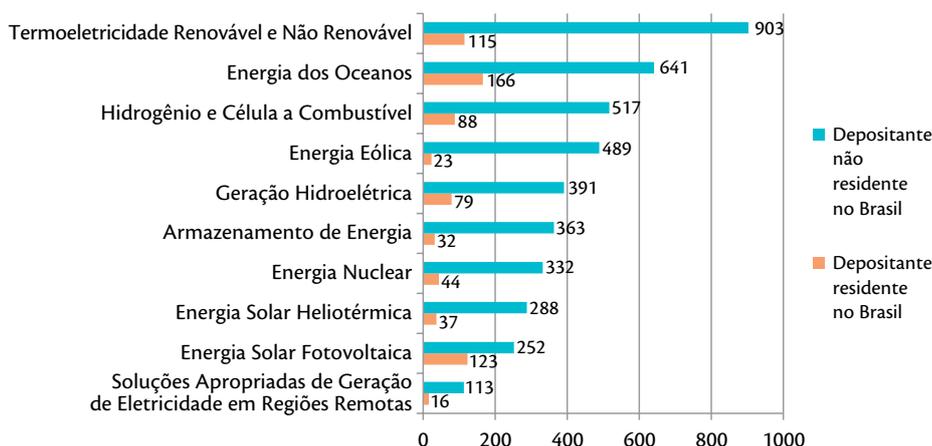


Gráfico 13 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do grupo Geração e Armazenamento de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

22 O Tratado de Cooperação de Patentes (PCT) é um acordo internacional celebrado pelos países que fazem parte da Convenção de Paris e gerido pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Mediante a apresentação de um pedido de "patente internacional" sob o PCT, os candidatos podem procurar, simultaneamente, a proteção de uma invenção em mais de 145 Estados contratantes, ao invés de realizar o pedido depósito ou vários pedidos separados de patentes nacionais ou regionais. A concessão de patentes continua sendo competência dos escritórios nacionais ou regionais de patentes no que se denomina Etapa Nacional. Ver, a esse respeito, o site <<http://www.wipo.int/pct/pt/treaty/about.html>>. Acesso em: fev. 2017.

23 Investimento estrangeiro direto (IED) é todo aporte de dinheiro oriundo do exterior que é aplicado na estrutura produtiva doméstica de um país, isto é, na forma de participação acionária em empresas já existentes ou na criação de novas empresas (WOLFFENBÜTTEL, 2006).



As razões para explicar este comportamento podem ser de ordem diversas. Deve ser refletido, aqui, o fato de que, adotando os indicadores de patentes como uma *proxy* da atividade inventiva, o Brasil carece de esforços e recursos para ampliação de sua capacidade tecnológica. Os caminhos para tal ampliação podem ser de naturezas diferentes, como uma maior instrumentalização de políticas públicas para inovação (ampliação dos instrumentos, para além do P&D Aneel por exemplo) e incentivo a indústria local. Também, outras questões podem emergir lavando a algumas reflexões do tipo se será viável desenvolver localmente, ou importar tecnologias já fechadas e estabelecidas.

As empresas, as instituições e os demais tipos de organizações que patentearam tecnologias nas macrotemáticas observadas estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Empresas e instituições com maior número de patentes depositadas no Brasil por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

	Instituição	Número de patentes
Energia Eólica	Alstom Renewable Energy Sources Spanish	14
	Mitsubishi Heavy Ind CO LTD	13
	Wobben A	12
Energia Solar Fotovoltaica	Dow Global Technologies Inc	8
	Saint-Gobain Glass	8
	Commissariat Energie Atomique	6
Energia Solar Heliotérmica	Wobben	9
	Siemens	7
	Commissariat Energie Atomique	6
Energia dos Oceanos	Schlumberger Canada LTD	23
	PGS Geophysical AS	16
	Whirlpool	9
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável	IFP	23
	CTC Cent Tecnologia Canavieira	9
	DSM Intellectual Property Assets Manage	9
Hidrogênio e Célula a Combustível	Toyota	16
	Commissariat Energie Atomique	8
	General Electric CO	7

	Instituição	Número de patentes
Geração Hidroelétrica	Alstom	33
	Mitsubishi Heavy Ind CO LTD	13
	NTT Docomo	11
Energia Nuclear	IFP	15
	Areva Gmbh	13
	Westinghouse Electric	10
Armazenamento de Energia	Yang	10
	Basf	9
	General Electric CO	9
Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas	Toyota	16
	Honda	8
	General Electric CO	4

Fonte: Elaboração própria.

3.2.5. Estrutura de CT&I

Recursos Humanos

Como esperado, as regiões Sudeste e Sul concentram a maior parte dos profissionais que atuam no contexto das macrotemáticas ligadas ao grupo de Geração e Armazenamento de Energia (ver Figura 4). As macrotemáticas Termoeletricidade Renovável e Não Renovável, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Hidroelétrica e Energia Eólica destacam-se pelo número de colaboradores e pela presença dominante em praticamente todos os estados (ver Gráfico 14 e Gráfico 15).

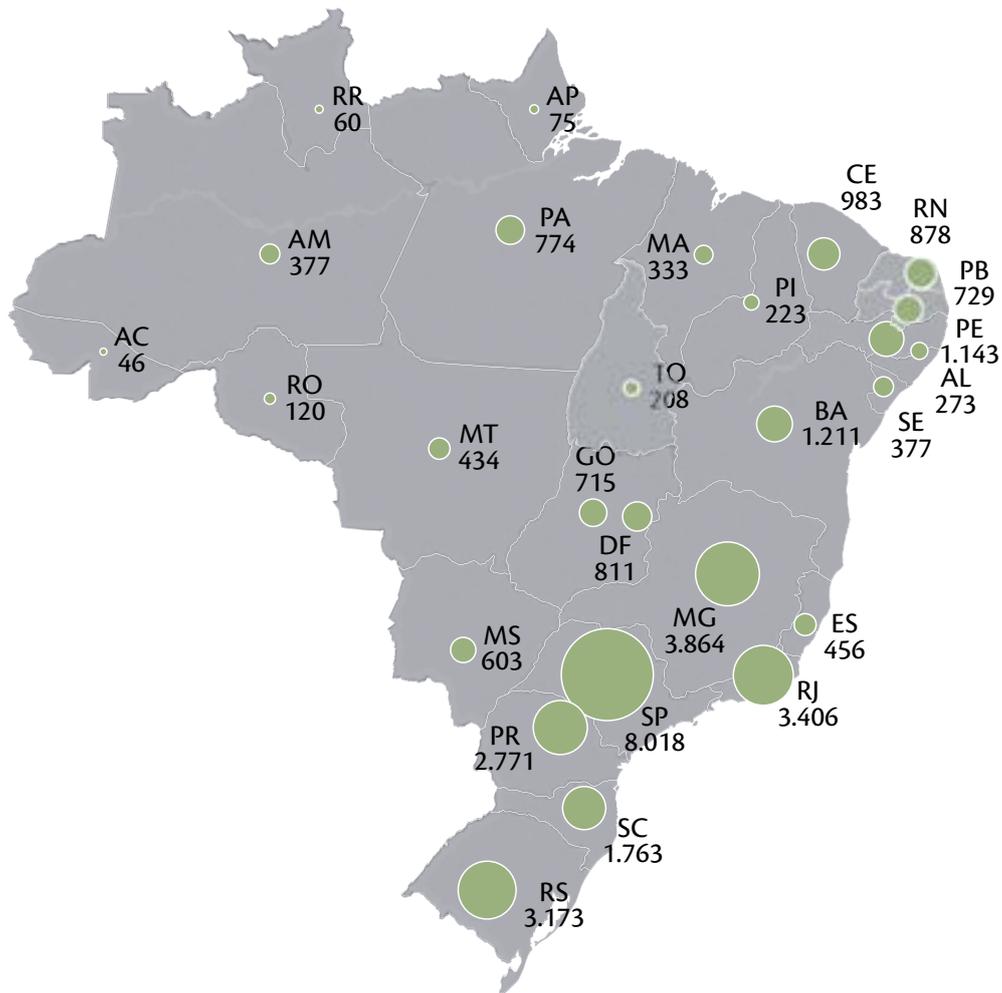


Figura 4 - Distribuição de RH por UF para o GT Geração

Fonte: Elaboração própria.

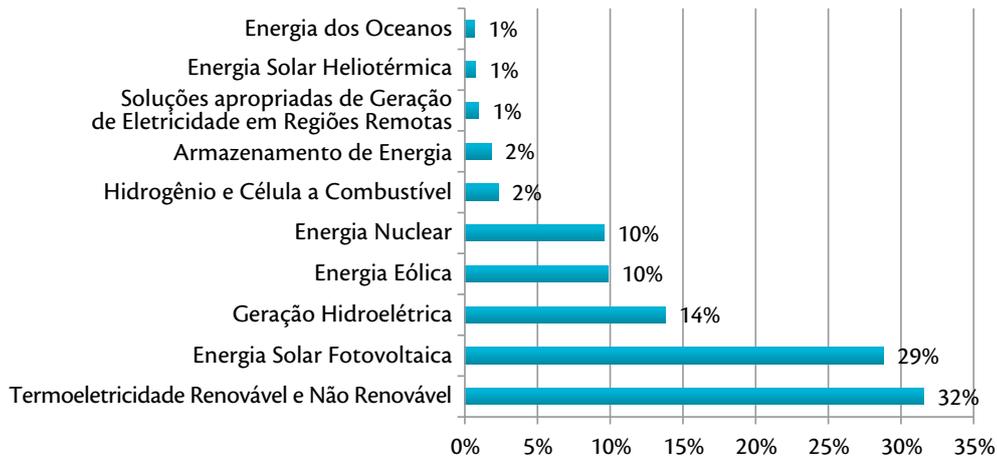


Gráfico 14 - Distribuição de RH por macrotemática do grupo temático Geração

Fonte: Elaboração própria.

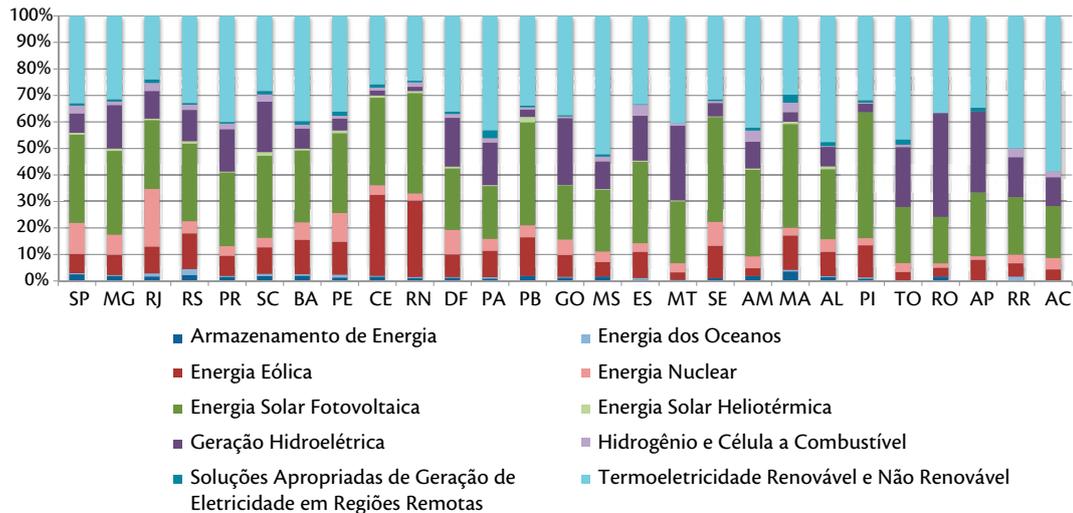


Gráfico 15 - Share de RH por macrotemática e por estado

Fonte: Elaboração própria.

A Geração Hidro e Termoelétrica são responsáveis por mais de 70% da capacidade elétrica instalada, tendo a Geração Eólica o terceiro maior parque. A presença de empresas geradoras de eletricidade, como a Eletronorte, sediada em Brasília, Eletrobras (RJ), Eletropaulo (SP) e as demais empresas espalhadas



pelo país contribuem com a presença dos profissionais dessas áreas no território nacional. A presença de especialistas dedicados à cadeia produtiva e a CT&I também contribui de forma significativa para esse cenário. No caso da geração fotovoltaica, a presença considerável de profissionais atuando nessa área se faz na CT&I, graças à possibilidade de abertura de mercado e de fomento à instalação dessa fonte. Cabe mencionar que o planejamento estratégico considera essas fontes prioritárias à constituição da matriz elétrica, fato indutor ao desenvolvimento dessas áreas, no país.

O montante de profissionais atuando nas demais macrotemáticas: Hidrogênio e Célula a Combustível, Soluções Apropriadas, Energia Nuclear, Solar Heliotérmica e Energia dos Oceanos é relativamente menor, em parte pela natureza da matriz energética nacional, pelo nível de maturidade tecnológico (é o caso da energia dos oceanos) ou pela aplicação ainda não convencional no contexto Brasil. A maior presença desses profissionais ocorre na CT&I. No contexto da Energia Nuclear, as ocupações ocorrem em maior peso no estado do Rio de Janeiro, dada a presença das plantas nucleares instaladas nessa região. A presença de profissionais dessa área em outros estados se deve, principalmente, às pesquisas relacionadas à aplicação da energia nuclear à medicina.

O número de profissionais dedicados à macrotemática Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas possui pouca representação no cenário nacional. A presença desses profissionais nos mercados se deve, provavelmente, à participação das empresas do setor elétrico no Programa de P&D regulado pela Aneel e à presença de institutos de pesquisas e empresas que estejam investindo nessa natureza de geração de eletricidade. Por outro lado, considerando que os profissionais que atuam nas fontes termoeletricidade, solar, hidro e eólica atuam na macrotemática Soluções Apropriadas, pode-se atribuir a essa área elevado número de RH. Dentre as soluções apropriadas são destaques os arranjos híbridos caracterizados como fotovoltaico/bateria, diesel/bateria, eólica/bateria, fotovoltaico/diesel/bateria, bem como as tecnologias de integração entre fontes, armazenamento e rede.

Sobre a macrotemática Armazenamento de Energia, observam-se profissionais alocados em todas as regiões do país, principalmente onde a cadeia produtiva é forte, como no caso do estado do Ceará, onde a empresa Baterias Moura possui uma fábrica de baterias.

Cabe observar que a natureza do banco de dados utilizado nessas análises (currículos *Lattes* e banco de dados dos projetos de P&D, realizados no âmbito do Programa de P&D, regulado pela Aneel) não traz o envolvimento dos profissionais ligados às ações de nível mais operacional. Contudo é possível inferir que, dentre os cargos que exigem a presença de profissionais mais qualificados, a maioria dos atores possui graduação completa nas áreas de conhecimentos afins. A macrotemática com maior percentual de doutores e mestres é Soluções Apropriadas, com 65% de doutores e 30% de mestres em seu RH. A macrotemática Geração Hidroelétrica possui, dentre as outras, uma distribuição mais

homogênea do grau de instrução do RH, 40% de doutores, 35% de mestres e 25% de especialistas, graduados e técnicos.

Redes Colaborativas

A seguir, é apresentada uma análise das redes colaborativas do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia, considerando uma visão do relacionamento entre os atores da CT&I, no que diz respeito à similaridade dos assuntos tratados nesse âmbito e ao nível de relacionamento entre os respectivos entes (coautorias). A análise, portanto, foi realizada para cada macrotemática, tal qual desenvolvida para a macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível (ver Gráfico 16, Tabela 13, Tabela 19 e Figura 5).

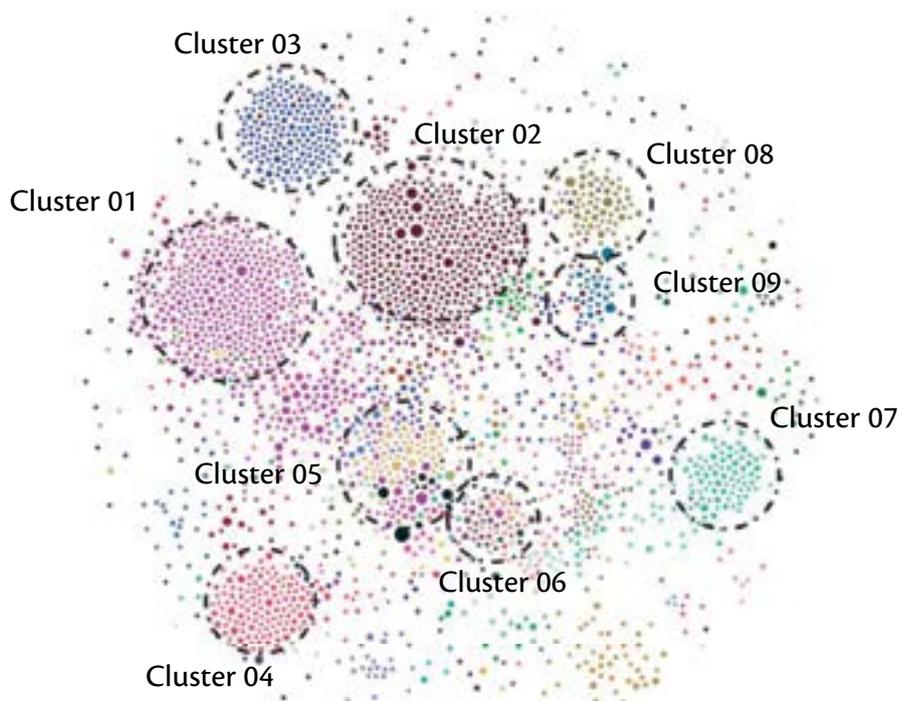


Gráfico 16 - Rede colaborativa da macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 13 - Palavras-chave identificadas nos *clusters* da macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível

<i>Cluster 01</i> Tecnologias de célula a combustível	<i>Cluster 02</i> Tecnologias de célula a combustível	<i>Cluster 03</i> Produção de hidrogênio	<i>Cluster 04</i> Armazenamento de hidrogênio	<i>Cluster 05</i> Armazenamento de hidrogênio
<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula a combustível. 2. Oxidação. 3. Nanotecnologia. 4. Eletroquímica. 5. Célula combustível a óxido sólido. 6. Membranas. 7. Células de combustível da membrana de troca de prótons. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula a combustível. 2. Polímeros. 3. Célula a combustível a óxido sólido. 4. Eletrodeposição. 5. Terras raras. 6. Células de combustível da membrana de troca de prótons. 7. Novos materiais. 8. Membranas. 9. Zeólita. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Produção do hidrogênio. 2. Etanol. 3. Reforma a vapor. 4. Pirólise. 5. Gás de síntese. 6. Melhoramento na produção do hidrogênio. 7. Produção do hidrogênio solar. 8. Produção e armazenamento de hidrogênio. 9. Termólise. 10. Eletrólise. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Armazenamento de hidrogênio. 2. Produção do hidrogênio. 3. Pirólise. 4. Pirólise solar. 5. Tanque de armazenamento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Armazenamento do hidrogênio. 2. Hidrogênio de elevada pureza. 3. Hidrogênio eletrolítico. 4. Hidrogênio líquido. 5. Tanques pressurizados.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 - Palavras-chave identificadas nos *clusters* da macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível

<i>Cluster 06</i> Tecnologias de célula a combustível	<i>Cluster 07</i> Produção de hidrogênio	<i>Cluster 08</i> Tecnologias de célula a combustível	<i>Cluster 09</i> Tecnologias de célula a combustível
<ol style="list-style-type: none"> 1. SOFC. 2. Compósitos. 3. Membranas. 4. PEMFC. 5. Nanomateriais. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula a combustível a etanol direto. 2. DEFC. 3. Célula a combustível a metanol direto. 4. Eletrodos modificados. 5. SOFC. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula a combustível. 2. Encapsulamento. 3. Catalisadores. 4. Corrosão. 5. Reciclagem. 6. SOFC. 7. Compósitos. 8. Membranas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula a combustível. 2. Catalisadores. 3. Nanotecnologia. 4. Compósitos. 5. SOFC. 6. Membranas. 7. Microestrutura. 8. Nanocompósitos. 9. PEMFC. 10. Materiais.

Fonte: Elaboração própria.

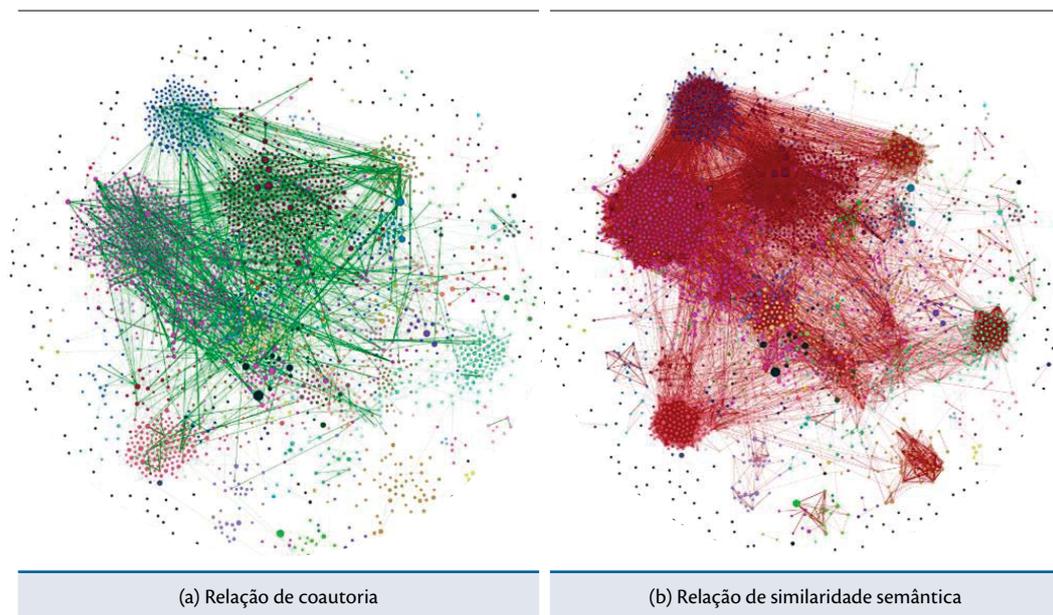


Figura 5 - Caracterização das relações de similaridade semântica e coautorias observados nas redes de currículos relativos às macrotemáticas Hidrogênio e CaC

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos termos apresentados na Tabela 13 e Tabela 14, é possível inferir sobre o possível uso complementar dessa macrotemática na geração de energia elétrica (GD principalmente), bem como a aplicação de células a combustível apropriadas ao uso não só do hidrogênio, como também do etanol e metanol, por exemplo. O desenvolvimento das tecnologias de célula a combustível passa, em sua maior parte, pelo aumento de confiabilidade, eficiência energética, mitigação dos custos de fabricação e implantação desses dispositivos na matriz. Observa-se, por meio das relações de coautoria e similaridade semântica (ver Figura 5), que os assuntos a respeito da P&D sobre Hidrogênio e Célula a Combustível é expressivamente comum à comunidade científica, se comparado com a relação de coautorias entre pesquisadores²⁴.

Para as demais macrotemáticas, foram observados os seguintes assuntos nas redes colaborativas²⁵ (ver Tabela 15 e Tabela 21).

²⁴ A relação de coautorias, ou seja, de pesquisadores que desenvolvem juntos, é menor que a relação de similaridade semântica (pesquisadores que desenvolvem trabalhos similares e não necessariamente os fizeram de forma colaborativa).

²⁵ Os respectivos assuntos correspondem às palavras com maior frequência em todos os *clusters*.



Tabela 15 - Assuntos abordados nas redes de colaborativas das macrotemáticas Energia Solar PV, Energia Solar Heliotérmica, Armazenamento de Energia, Energia Eólica e Energia Nuclear

Energia Solar PV	Energia Solar Hélio	Armazenamento de Energia	Energia Eólica	Energia Nuclear
Energia solar, filmes finos, meio ambiente, sustentabilidade, eficiência energética, GD, nanotecnologia, compósitos, propriedades mecânicas.	Energia solar, nanotubos de carbono, cerâmica, adsorção, processos de oxidação, concentração solar, transferência de calor meio ambiente, sustentabilidade, radiação solar.	Armazenamento de energia e GD, controle, previsão de carga, baterias e armazenamento de energia térmica.	Energia eólica, GD, qualidade da energia, meio ambiente, eficiência, controle, redes neurais, planejamento energético e automação energética.	Energia nuclear, meio ambiente, educação ambiental, reatores nucleares, rejeitos nucleares, combustíveis nucleares, metais pesados, solos.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 16 - Assuntos abordados nas redes de colaborativas das macrotemáticas Energia dos Oceanos, Sistemas Híbridos, Geração Termoelétrica e Geração Hidroelétrica

Energia dos Oceanos	Soluções Apropriadas	Geração Termoelétrica	Geração Hidroelétrica
Planejamento energético, energia renovável, políticas públicas, sustentabilidade, gestão ambiental, recursos hídricos.	Cogeração, energia solar, biomassa, biodiesel, gás natural, energia eólica, eficiência energética, energia eólica, concentração solar, sustentabilidade.	Meio ambiente, biomassa, biodiesel, sustentabilidade, carvão mineral, biodiesel, produção de combustível, sustentabilidade e resíduos sólidos.	Reservatório, impacto ambiental, recursos hídricos, planejamento ambiental, energia e políticas públicas.

Fonte: Elaboração própria.

Conforme apresentado na Tabela 15 e Tabela 21 e com base nas configurações de rede de cada uma das respectivas macrotemáticas, têm-se:

- A participação da energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira é inegável e terá espaço, principalmente, na GD. O uso das placas nacionais do tipo filmes finos, à base de silício, será dominante no mercado, dada a disponibilidade do insumo primário para a sua confecção. Além da GD, a tecnologia fotovoltaica poderá estar presente em reservatórios de usinas

e em sistemas híbridos de geração de eletricidade, que atendam às demandas específicas, dentro e fora da GD.

- As pesquisas desenvolvidas, no âmbito da macrotemática Solar Heliotérmica, possuem ênfase na engenharia de materiais. O foco está em mitigar os desgastes dos sistemas pela operação e elevar a eficiência no processo de transferência de calor. Os temas apresentados nos *clusters* não permitem inferir sobre a inserção de possíveis tecnologias no setor elétrico nacional a curto prazo.
- Por meio dos assuntos em destaque na macrotemática Armazenamento de Energia, é possível inferir que as tecnologias de armazenamento, principalmente a eletroquímica, contribuirão com o desenvolvimento da GD.
- Os termos observados na macrotemática Energia Eólica permitem inferir sobre a necessidade de sistemas robustos e confiáveis para operação do sistema elétrico, em meio às intermitências, e sobre a inclusão das tecnologias de aerogeradores na GD (tipo de conversor, implantação, integração na GD e operação).
- Sobre a macrotemática Energia Nuclear, as tecnologias de reatores de segunda e terceira gerações farão parte do escopo das usinas nucleares. Em consonância às respectivas tecnologias, observa-se a necessidade de novos desenvolvimentos relativos às questões de segurança, combustíveis nucleares, bem como às questões que dizem respeito ao meio ambiente. Embora, dentre os respectivos termos não se observe *Brasilian Utility Requirements* (BUR), o país tem focado esforços para mapear e desenvolver tecnologias de implantação das futuras usinas nucleares
- A geração via sistemas oceânicos ainda não é madura, no Brasil. Boa parte das pesquisas sobre o tema fundamentam-se em tecnologias *offshore* provenientes dos parques eólicos. Nesse contexto, são observados estudos relativos à transmissão de eletricidade em cabos oceânicos, estudos de comportamento da dinâmica das ondas e das correntes de marés, bem como estudos relativos à fixação das usinas oceânicas nas costas e em alto mar.
- Sobre a macrotemática Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas, entende-se que há uma tendência relevante ao desenvolvimento de sistemas de geração de energia via aproveitamento de resíduos térmicos, presumivelmente em sua maior parte na cadeia fabril, além do uso combinado das fontes solar, eólica e biomassa para a geração de energia elétrica.
- O desenvolvimento de novos combustíveis provenientes da biomassa e de resíduos sólidos tem sido, dentre outros, foco de pesquisas no Brasil. Nesse contexto, é possível inferir sobre a caracterização de uma matriz elétrica com a presença da geração termoelétrica limpa e sustentável, dos pontos de vista ambiental e de mercado nacional de energia, como meio de garantir a segurança no atendimento de ponta.



- O desenvolvimento de turbinas hidráulicas de grande porte não faz parte do planejamento da CT&I e da cadeia produtiva nacional, por uma questão de mercado e interesses em outras tecnologias, como de implantação, planejamento e O&M de usinas. Ademais, as questões que envolvem o desenvolvimento de turbinas hidrocinéticas (pequeno porte) o uso eficiente dos reservatórios, bem como a preservação ambiental são o foco de pesquisa na CT&I nacional.
- De forma geral, independentemente da macrotemática, a similaridade semântica entre currículos de diferentes *clusters* ocorre com maior intensidade se comparado com a frequência de coautorias. Essa constatação permite inferir que, embora sejam observados esforços concentrados acerca de determinados temas, pode ser que não haja uma coordenação entre entes da CT&I no sentido de direcionar esforços para o desenvolvimento de tecnológico. Essa questão é observada com maior ênfase nas macrotemáticas Armazenamento de Energia e Soluções Apropriadas/Sistema Híbrido. As macrotemáticas Energia Solar Fotovoltaica e Geração Termoelétrica destacam-se pela intensidade de coautorias e similaridades semânticas juntas. São corroborados fatos pela atual situação do país, que buscam incentivar o desenvolvimento tecnológico nessas macrotemáticas (painéis fotovoltaicos a silício cristalino e biomassa).

Infraestrutura de CT&I

No que diz respeito à estrutura de CT&I, estão à disposição do setor elétrico brasileiro inúmeros laboratórios que cercam praticamente todas as áreas do grupo de Geração e Armazenamento de Energia. Quase 50% dos laboratórios são dedicados à Geração Solar Fotovoltaica e a Termoelectricidade Renovável e Não Renovável (ver Gráfico 17).

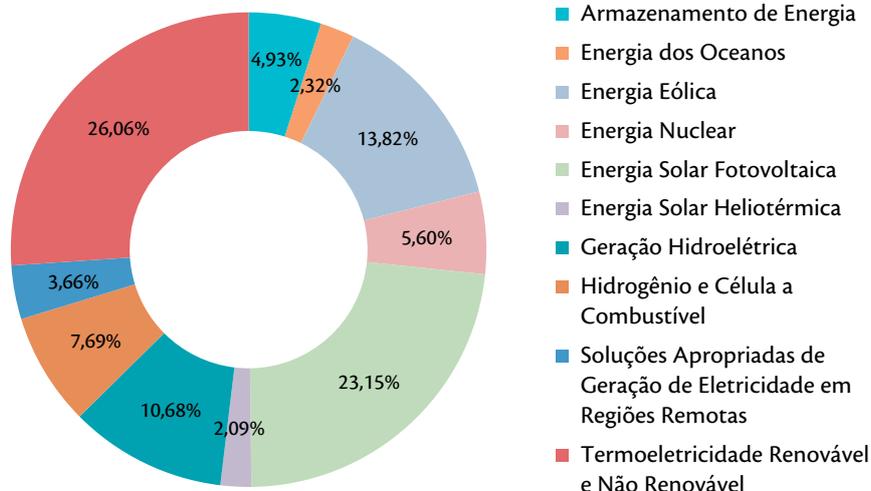


Gráfico 17 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração própria.

A maior parte dos laboratórios está localizado na região Sudeste e Sul do país, tendo as maiores disponibilidades nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul.

Os laboratórios nacionais que desenvolvem trabalhos associados às macrotemática do grupo Geração e Armazenamento de Energia caracterizam-se como entidades certificadoras e calibradoras, instituição dedicada ao desenvolvimento de tecnologias e grupo de estudos. Na média, as instituições brasileiras são dedicadas, em maior parte, a ensaios e calibrações e a grupos de estudos, evidenciando a baixa produção de tecnologias para o setor elétrico, se comparado com países como Japão, Estados Unidos da América, Alemanha e Coreia do Sul.

Em média 80% dos pesquisadores que trabalham nesses laboratórios possuem doutorado e o restante, mestrado. As macrotemáticas com maior número de especialistas à disposição correspondem à Termoeletricidade Renovável e Não Renovável e Energia Solar Fotovoltaica, Energia Eólica e Geração Hidroelétrica (75% do RH). Outro importante fato a ser mencionado diz respeito ao montante financeiro investido em ativos. A maior parte dos investimentos em laboratoriais está relacionada a equipamentos.

De acordo com o Gráfico 18, os laboratórios atuam, na média, nas fases de pesquisa básica dirigida, pesquisa básica aplicada e de desenvolvimento experimental da cadeia de inovação. Trabalhar com desenvolvimentos de cabeça de séria, lote pioneiro e com tecnologias para a aplicação em mercado



exige da CT&I nacional maior investimento e, principalmente, diretrizes que incluam a prestação de serviços por parte dos laboratórios à cadeia produtiva.

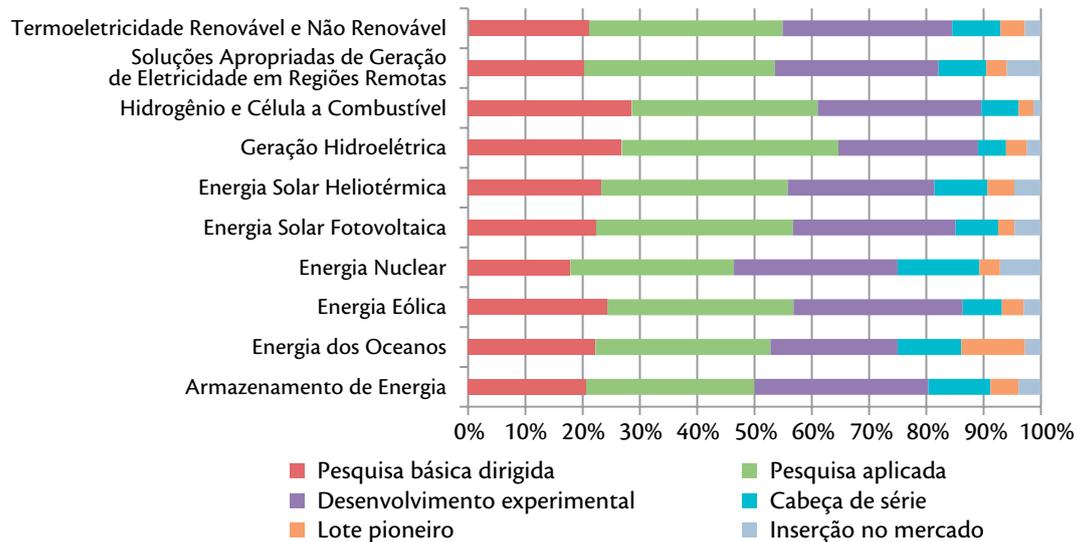


Gráfico 18 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração própria.

Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu

Os Programas de Pós-Graduação (PPGs) que podem oferecer conhecimento no contexto do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia são, em geral, bem desenvolvidos e diversificados entre diferentes áreas de avaliação dos respectivos programas. Foram contabilizados 433 distintos PPGs que desenvolvem atualmente projetos de pesquisa em todo o território nacional, ver Tabela 17, sendo a maioria (aproximadamente, 80%) dedicados às macrotemáticas Solar Fotovoltaica, Termoeletricidade, Geração Hidroelétrica e Energia Eólica (ver Gráfico 19).

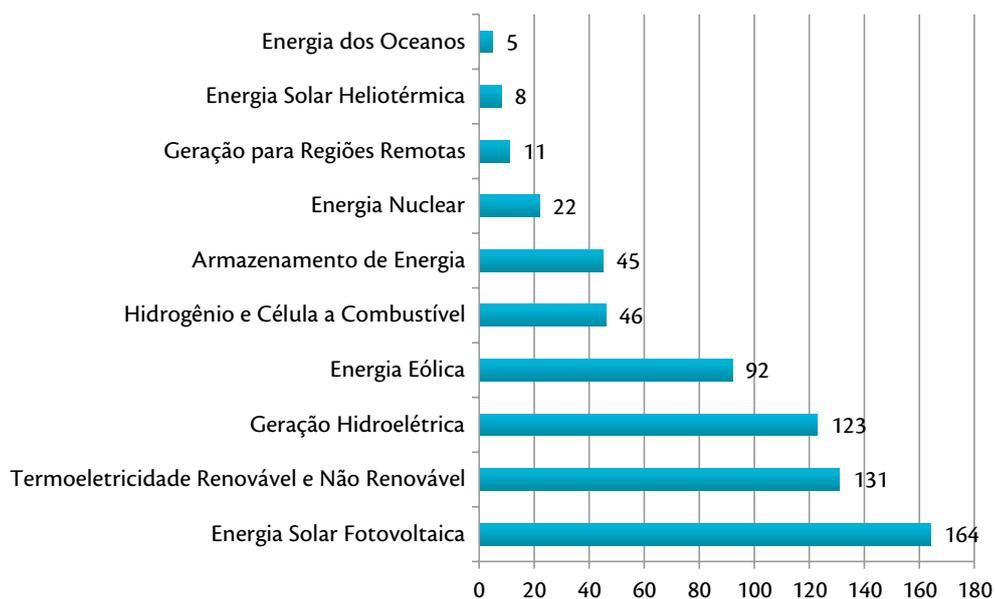


Gráfico 19 - Quantidade de Programas de Pós-Graduação (PPGs) por macrotemáticas do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 17 - Ranking das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento (%)

	1º	2º	3º	4º	5º
Energia Eólica	RN (14)	MG (10)	RS (10)	SP (10)	RJ (9)
Energia Solar Fotovoltaica	SP (15)	MG (15)	RS (11)	RJ (10)	PR (9)
Energia Solar Heliotérmica	MG (38)	PE (25)	PR (13)	RS (13)	SC (13)
Energia dos Oceanos	RS (60)	PE (20)	RJ (20)	-	-
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável	RJ (15)	SP (15)	MG (13)	PR (10)	RS (10)
Hidrogênio e Célula a Combustível	RJ (20)	SP (17)	MG (9)	MG (9)	MG (9)
Geração Hidroelétrica	SP (18)	MG (15)	PA (14)	RS (8)	SC (7)
Energia Nuclear	SP (41)	RJ (18)	BA (14)	MG (9)	CE (5)
Armazenamento de Energia	SP (31)	MG (22)	PR (9)	SC (9)	AM (7)
Geração para Regiões Remotas	AM (18)	MG (18)	SC (18)	PR (9)	RJ (9)

Fonte: Elaboração própria.



Dentre os projetos de pesquisa realizados nos PPGs, vários são financiados por instituições das mais diversas categorias. As instituições financiadoras somam um total de 96 entidades. Como é de se esperar, as instituições de fomento à pesquisa, CNPq, Capes, Finep e as FAPs estaduais, são as que financiam projetos em todas as macrotemáticas do grupo e com maior frequência (ver Gráfico 20). Por outro lado, ministérios, autarquias e secretarias participaram com mais de 89% do financiamento total desses projetos.

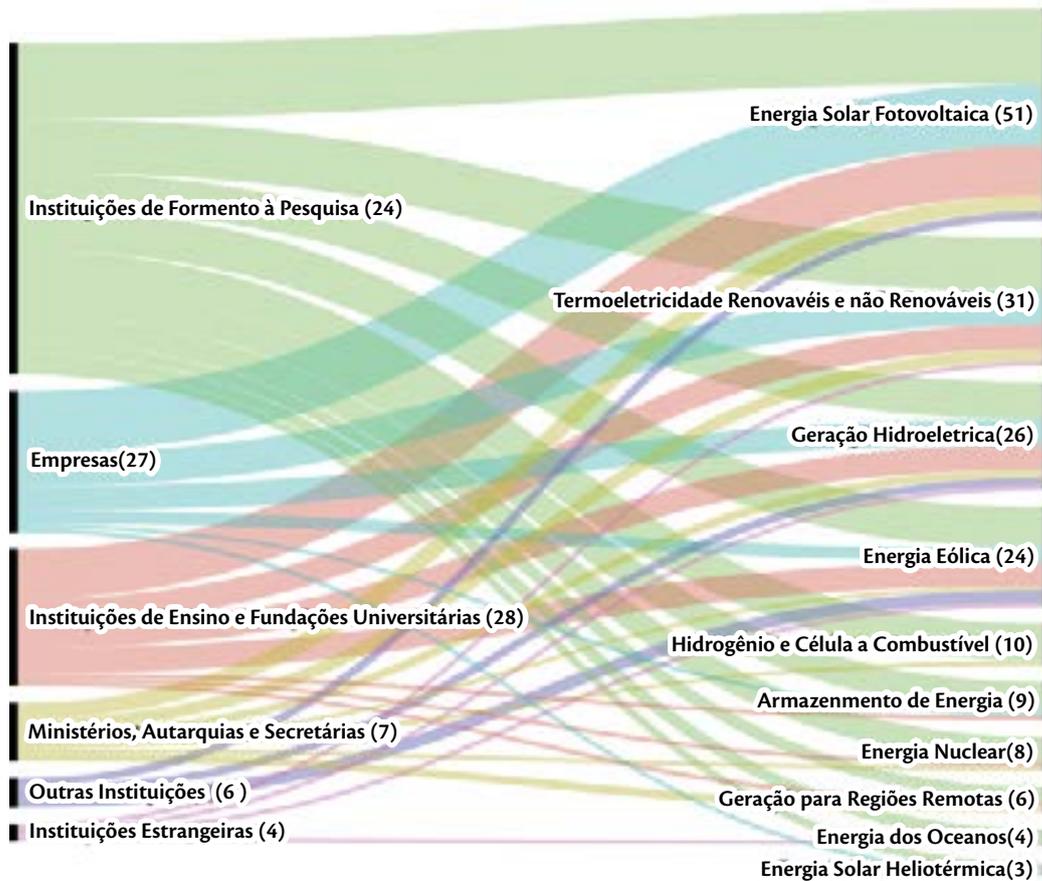


Gráfico 20 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração própria.

É interessante notar que há instituições estrangeiras financiando diretamente projetos de pesquisa relativos ao grupo temático nas instituições de ensino superior do país. Dentre eles estão o Departamento

de Pesquisa Naval dos EUA, com financiamento em um projeto sobre dinâmica das pás de turbinas eólicas; a Fundação para a Ciência e a Tecnologia de Portugal, financiando um projeto sobre conversores de energia das ondas; a Comissão Europeia da União Europeia, com financiamento em um projeto sobre transformação da biomassa em blocos químicos; e, por fim, a Universidade da Flórida, financiando um projeto sobre impactos socioambientais da usina de Belo Monte.

Mecanismos de Fomento

A Tabela 18 apresenta as principais estatísticas descritivas dos projetos analisados por cada agência de fomento no período de 2007 a 2016. O valor total dos projetos, no âmbito do Programa de P&D, regulado pela Aneel, superou o montante de R\$4,67 bilhões em valor corrente. 75% dos projetos registrados tiveram custo inferior ou igual a aproximadamente R\$4,13 milhões em valor corrente. No entanto o projeto de máximo valor custou aproximadamente R\$108,40 milhões. Isso mostra que uma grande proporção de projetos teve valores compreendidos dentro de uma faixa relativamente pequena de valores enquanto que uma parcela menor, justamente a dos projetos de maior valor, tem valores dispersos em uma faixa grande. Este fato explica o porquê de o valor médio dos projetos serem mais que o dobro do valor mediano.

Os valores dos projetos financiados pelo CNPq são naturalmente baixos quando comparados aos dos projetos das outras agências de fomento. Apesar disso, há uma grande quantidade de projetos registrados, representando cerca de 35% dos projetos das quatro instituições elencadas.

O BNDES Funtec apoiou poucos projetos em relação ao grupo no período. No entanto os projetos têm um valor médio muito alto se comparado com o valor médio dos projetos financiados pelas outras agências de fomento. Esse valor é mais que o dobro do valor médio dos projetos financiados pela Aneel.



Tabela 18 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento por agência de fomento – 2007-2016

	Aneel	CNPq	Finep	BNDES Funtec
Quantidade de projetos	816	490	92	9
Valor total dos projetos (R\$ mil)	4.672.196,56	96.040,98	340.680,41	112.978,14
Valor médio (R\$ mil)	5.725,73	196,00	3.703,05	12.553,13
Valor mínimo (R\$ mil)	105,93	0,98	55,57	3.453,00
Quartil inferior dos valores (R\$ mil)	1.127,30	33,20	785,08	5.872,36
Mediana dos valores (R\$ mil)	2.108,35	78,98	1.602,04	6.838,98
Quartil superior dos valores (R\$ mil)	4.133,95	259,07	3.111,72	18.515,17
Valor máximo (R\$ mil)	108.401,43	8.481,04	74.056,85	41.647,27

Obs.: valores atualizados pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) em 31 dez. 2016.

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 21 apresenta as proporções entre valores investidos por cada agência em cada macrotemática. O valor total dos projetos Aneel em cada macrotemática é, de fato, expressivamente superior ao valor total do restante. A exceção no grupo é no caso da macrotemática Energia Nuclear, na qual se vê que os projetos Aneel não somaram R\$7,00 milhões, enquanto que os projetos Finep superaram um valor total de R\$115,00 milhões, representando aproximadamente 93% do valor investido em projetos relativos à macrotemática. A macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível foi a que teve proporcionalmente maior investimento do BNDES e do CNPq, com aproximadamente 9% e 8%, respectivamente, do total investido na macrotemática. No caso dos investimentos da Finep, além de Energia Nuclear, pode-se citar os investimentos nas macrotemáticas Energia Eólica e Energia Solar Heliotérmica.

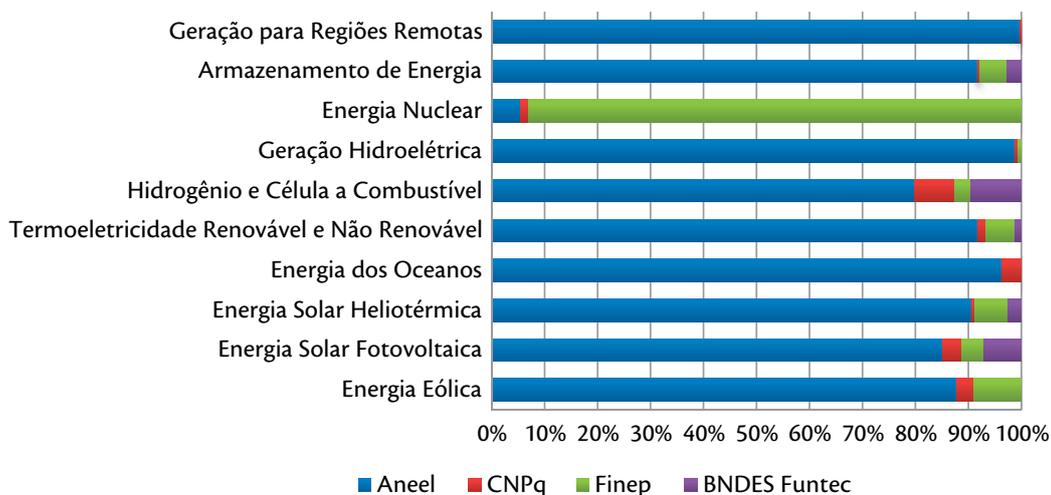


Gráfico 21 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)

Fonte: Elaboração própria.

Planejamento Estratégico

A Tabela 19 sumariza a prioridade da participação das fontes energéticas na matriz elétrica brasileira conforme os apontamentos dos representantes da governança do setor elétrico, como o MME, EPE, CCEE, Aneel e ONS. De acordo com a EPE, a capacidade instalada de geração de energia elétrica deve passar dos atuais 150 GW para algo em torno de 400 GW a 480 GW, em 2050. Espera-se, também, um estreitamento do uso do petróleo na matriz elétrica com esgotamento no período considerado. Nesse sentido, torna-se coerente o aumento da participação das fontes com maior disponibilidade energética a curto prazo.

Nesse cenário, as macrotemáticas Geração Hidroelétrica, Termoeletricidade Renovável e Não Renovável, Energia Eólica, Armazenamento de Energia e Energia Solar Fotovoltaica atendem à demanda por energia elétrica a curto prazo, tanto na média e grande geração quanto na GD e em regiões remotas. Esse fato é atribuído à natureza da matriz elétrica brasileira e à maturidade, principalmente, das macrotemáticas Geração Hidroelétrica, Termoeletricidade e Eólica. As demais macrotemáticas terão prioridade com o desenvolvimento da matriz elétrica brasileira e de forma complementar. Boa parte delas, como a Energia dos Oceanos e Solar Heliotérmica, precisa de uma cadeia produtiva e uma



CT&I madura, além de tecnologias que possibilitem mitigar o seu custo de fabricação, implantação e O&M para garantirem sustentabilidade no mercado de energia.

Tabela 19 - Priorização das macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia no contexto do planejamento estratégico

	Política de médio prazo (2026)	Política de longo prazo (2050)
Energia Eólica	Alta prioridade	Alta prioridade
Energia Solar Fotovoltaica	Alta prioridade	Alta prioridade
Energia Solar Heliotérmica	Média prioridade	Média prioridade
Energia dos Oceanos	Baixa prioridade	Média prioridade
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável	Alta prioridade	Alta prioridade
Hidrogênio e Célula a Combustível	Média prioridade	Média prioridade
Geração Hidroelétrica	Média prioridade	Alta prioridade
Energia Nuclear	Média prioridade	Média prioridade
Armazenamento de Energia	Alta prioridade	Alta prioridade
Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas	Média prioridade	Alta prioridade

Fonte: Elaboração própria.

3.3. Construção de Futuro

3.3.1. Visão de Futuro

A diversificação dos sistemas de geração no Brasil não só ampliará a capacidade de geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), como também será imprescindível ao desenvolvimento da Geração Distribuída (GD) e à evolução dos sistemas presentes nas regiões remotas (sistemas isolados e pontas de rede). Essa realidade exigirá o desenvolvimento de sistemas de integração entre fontes e o mapeamento dos recursos energéticos e exigirá a implementação de novos sistemas de monitoramento e operação do SIN.

A intermitência das fontes renováveis é uma questão a ser resolvida. Nesse contexto, a implementação de sistemas inovadores de armazenamento de energia torna-se imprescindível para gerar a despachabilidade da energia elétrica proveniente, principalmente, das fontes eólica, da solar fotovoltaica e dos oceanos, presentes no SIN. Nos sistemas GD e em regiões remotas, as tecnologias inovadoras de armazenamento de energia possuirão o mesmo papel.

Considerando-se esse cenário e o aporte em P&D, via programas, como o P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D Aneel), o futuro das tecnologias de geração de eletricidade e das tecnologias de armazenamento de energia é caracterizado conforme apresentado Tabela 20.

Tabela 20 - Objetivo geral da Visão de Futuro das macrotemáticas do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

Macrotemática
Energia Eólica – desenvolvimento de turbinas eólicas com novos materiais, novos conceitos e ruptura tecnológica, de micro a grande portes, com componentes nacionais, além do desenvolvimento de tecnologias dedicadas à previsibilidade da geração de energia elétrica a partir da fonte eólica.
Energia Solar Fotovoltaica – os investimentos em PD&I deverão focar no desenvolvimento nacional de componentes e equipamentos, em particular nas tecnologias relacionadas ao <i>Balance-of-System</i> (BoS); no melhoramento dos processos produtivos e de controle de qualidade pré e pós-operacionais e em tecnologias relacionadas à integração com o sistema elétrico e à previsão do uso da fonte.
Energia Solar Heliotérmica – desenvolver tecnologia nacional de sistemas de geração heliotérmica por meio de plantas operacionais, com vista a alcançar a competitividade dessa fonte no setor elétrico e fomentar a indústria nacional.
Hidrogênio e Célula a Combustível – o foco dos investimentos em PD&I está no desenvolvimento de tecnologias de implementação do hidrogênio na produção de energia elétrica (a partir de células a combustível) e no desenvolvimento de tecnologia nacional para produção de hidrogênio renovável de baixo custo, por exemplo, a partir do biogás, para uso em células a combustível. Também é foco da PD&I o desenvolvimento de tecnologias que garantam elevada durabilidade (> 40.000 horas) dos sistemas de geração via hidrogênio em células a combustível.
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável – as pesquisas na área de geração termoeletrica (SIN, cogeração, isolados e GD) devem focar no uso do gás natural, da biomassa, do carvão e dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) por meio de tecnologias avançadas, levando-se em conta o aumento da eficiência e a mitigação das emissões. Também é foco da PD&I o desenvolvimento ou a otimização de tecnologias com o papel de fornecer flexibilidade operativa ao sistema, tendo importante função na garantia das condições de suprimento para o beneficiamento de insumos energéticos.
Geração Hidroelétrica – desenvolver tecnologias de turbinas dedicadas às usinas de baixa queda e às usinas reversíveis. Também devem ser desenvolvidas tecnologias de manutenção de ativos e de eficiência energética para novas usinas, além de tecnologias para modernização do parque atual.
Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas – o foco dos investimentos em PD&I está direcionado ao desenvolvimento de tecnologias de integração de fontes energéticas para atenderem aos sistemas observados em regiões remotas (isolados e conectados ao SIN, com ou sem GD). Nesse contexto, deve ser dada ênfase ao desenvolvimento de tecnologias e dispositivos para atingir alta confiabilidade de serviço elétrico. Na operação de sistemas de geração em regiões remotas, o investimento em PD&I deve ser direcionado ao desenvolvimento de componentes de integração entre fontes e entre sistemas de armazenamento, e deve ser direcionado aos sistemas de O&M e monitoramentos dos sistemas de geração.



Macrotemática

Energia Nuclear – aumentar a competitividade e reduzir o custo da geração nucleoeletrica pelo aumento de desempenho e extensão de vida das usinas existentes, desenvolvimento, aprimoramento ou adequação de processos, requisitos e tecnologias para a escolha das novas usinas e dos seus respectivos sítios, nacionalização de componentes e processos de fabricação de elementos combustíveis, gestão de rejeitos e de combustíveis usados e seleção de tecnologias de descomissionamento e desenvolvimento, onde couber, de reatores nucleares de variados portes.

Energia dos Oceanos – o foco da PD&I está em desenvolver tecnologias nacionais de geração de eletricidade via energia das ondas (coluna de água oscilante, corpo oscilante) e das marés (amplitude e corrente de maré) por meio de plantas operacionais. Em longo prazo, o foco da PD&I está em desenvolver tecnologias nacionais de geração de eletricidade via gradientes térmico e de salinidade.

Armazenamento de Energia – desenvolver soluções e incentivar o desenvolvimento da tecnologia nacional de sistemas de armazenamento de energia de grande porte, capazes de mitigar a intermitência das fontes que apresentem esta característica (eólica e solar fotovoltaica de grande porte), buscando elevar a segurança da inserção dessa fonte no SIN. Desenvolver tecnologia nacional para sistemas de armazenamento de energia capazes de mitigar a intermitência da GD (majoritariamente solar fotovoltaica), buscando elevar sua confiabilidade, segurança e modularidade e, ainda, a redução de custo dos sistemas de armazenamento de energia distribuídos (médio e pequeno portes). Desenvolver tecnologia nacional para sistemas de armazenamento de energia capazes de viabilizar o desenvolvimento e a implantação de microrredes, buscando elevar a confiabilidade e a segurança operativa das redes de distribuição e que assegurem a confiabilidade, a modularidade e a redução de custo dos sistemas de armazenamento de energia distribuídos (médio e pequeno portes).

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas

Ao considerar o aporte da PD&I para que se alcancem esses objetivos, foi prospectada a evolução de maturidade tecnológica das rotas consideradas no projeto (*roadmaps*). Os *roadmaps* dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Para a construção desses *roadmaps* foram levados em conta: i) as linhas de pesquisas com maior influência sobre o desenvolvimento ou a otimização das tecnologias presentes nas rotas; e ii) os fatores portadores de futuro que suportam essa evolução.

De forma geral, as linhas de pesquisa dizem respeito ao mapeamento dos recursos energético no Brasil, desenvolver tecnologias de integração entre fontes, sistemas de armazenamento e rede, elevar a eficiência e a confiabilidade dos sistemas de conversão de energia, desenvolver insumos energéticos, mitigar custos de produção e da operação e manutenção.

Na média, a maior parte das tecnologias trabalhadas nas linhas de pesquisas alcançará um alto grau de maturidade nas décadas de 2030 e 2040 (ver Gráfico 22)

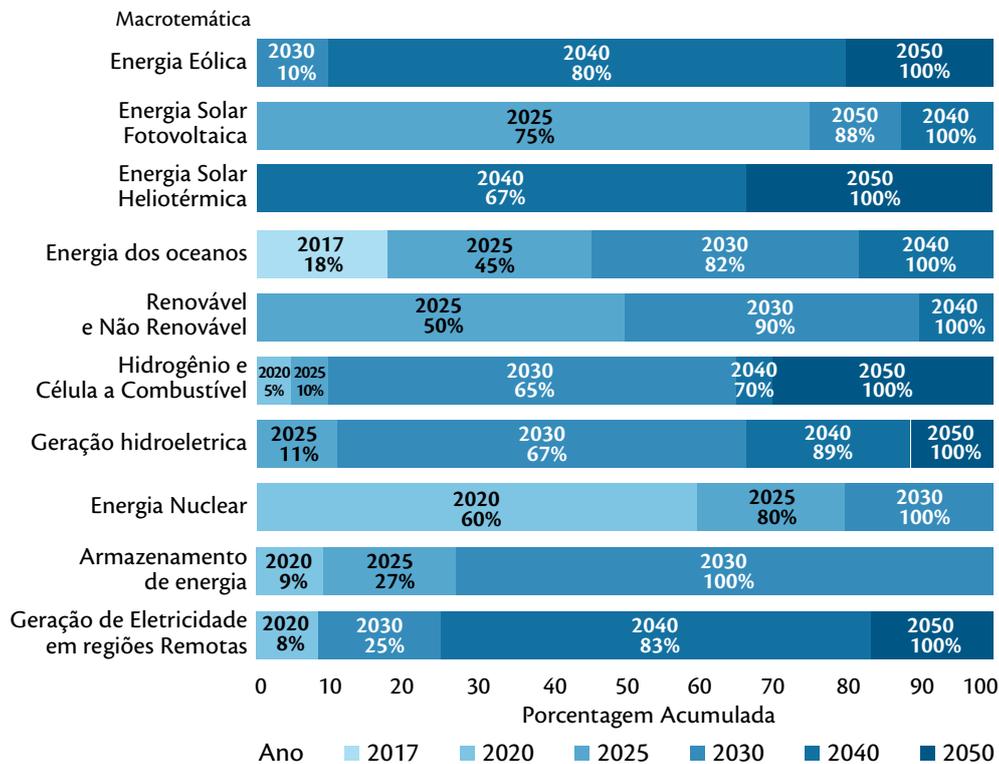


Gráfico 22 - Gráfico da percentagem acumulada das rotas com elevado grau de maturidade, por macrotemática

Fonte: Elaboração própria.

Nesse sentido, são apresentados a seguir os fatores portadores de futuro²⁶ da evolução das respectivas linhas de pesquisas, consideradas nas macrotemáticas do grupo Geração e Armazenamento:

- **Energia Eólica:** geração e caracterização do mapa eólico nacional, Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) e cadeia produtiva estruturados (RH, laboratórios, centros de pesquisa), sistemas de operação e monitoramento avançados, sistemas de armazenamento de energia avançados, além do fomento contínuo ao desenvolvimento tecnológico ligado à fonte.
- **Energia Solar Fotovoltaica:** CT&I e cadeia produtiva estruturadas (RH, laboratórios e centros de pesquisa), fomento à pesquisa, centro de coordenação entre instituições-chave (CT&I,

²⁶ São questões que precisam ser resolvidas para que as tecnologias presentes nas linhas de pesquisas alcancem a maturidade alta, no período estimado.



cadeia produtiva, governança e setor elétrico), abertura de mercado, sistemas de integração entre fontes e sistemas de armazenamento desenvolvidos, e GD e *smart grid* desenvolvidos.

- **Energia Solar Heliotérmica:** CT&I e cadeia produtiva desenvolvidas para essas tecnologias, caracterização do recurso solar e das regiões passivas do uso da tecnologia heliotérmica, desenvolvimento da GD e da geração em regiões remotas, desenvolvimento da química solar, desenvolvimento de tecnologias de integração das fontes e integração com os sistemas de armazenamento de energia.
- **Energia dos Oceanos:** investimentos em CT&I e em cadeia produtiva, desenvolvimento dos mapas dos recursos energéticos, dos sistemas de integração de fontes e com os sistemas de armazenamento de energia maduros, de novos materiais (leves, resistentes e anticorrosivos), de sistemas de O&M e de monitoramento adaptados às condições de operação dos sistemas marinhos.
- **Termoeletricidade Renovável e Não Renovável:** estudos avançados sobre o mapeamento das fontes energéticas, tecnologias avançadas de processamento da biomassa, tecnologias avançadas para produção de novos combustíveis a partir da biomassa e dos combustíveis fósseis, CT&I e cadeia produtiva estruturadas, novos materiais com elevada resistência metalúrgica e a altas temperaturas, sistemas avançados de controle e sistemas avançados de integração de fontes e com os sistemas de armazenamento.
- **Hidrogênio e Célula a Combustível:** CT&I e cadeia produtiva estruturadas, GD estruturada, sistemas avançados de cogeração, sistemas de integração das fontes e com sistemas de armazenamento de energia desenvolvidos e tecnologias avançada para manufatura dos sistemas de produção do hidrogênio, produção das células a combustível e de produção dos meios de armazenamento do hidrogênio.
- **Geração Hidroelétrica:** estudos avançados sobre caracterização das fontes energéticas, novos materiais para construção civil, sistemas de integração entre fontes desenvolvidos, turbinas de baixa queda e de grande vazão desenvolvidas, tecnologias avançadas para otimização de máquinas de geração (repotenciação) e avançados sistemas de O&M e operação para usina, além de estudos avançados para mitigar os danos no meio ambiente e na usina causados pela interação do empreendimento com o ambiente.
- **Energia Nuclear:** fomento ao desenvolvimento da CT&I e da cadeia produtiva, fomento à popularização da fonte nuclear, desenvolvimento de laboratórios de testes em padrão internacional e fomento ao *Brazilian Utility Requirement (BUR)*.
- **Armazenamento de Energia:** desenvolvimento da GD, planejamento de inserção das usinas reversíveis no SIN, desenvolvimento dos parques eólicos e das usinas solares, desenvolvimento de sistemas de integração do sistema de armazenamento com as fontes de energia, desenvolvimento de sistemas de O&M e monitoramento (*Battery Management Systems – BMS*, principalmente).

- **Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas:** mapeamento dos recursos energéticos, tecnologias de integração entre fontes e armazenamento de energia estruturadas e ativas, mapeamento dos melhores arranjos para os sistemas e geração e armazenamento de energia e GD desenvolvida.

3.3.3. Priorização das Rotas

Considerando a cadeia de CT&I do setor, os objetivos definidos para o desenvolvimento de PD&I, a evolução da maturidade das tecnologias consideradas, a interdependência entre rotas e a perspectiva de retorno tecnológico e financeiro, foram identificadas as rotas prioritárias para desenvolvimento e investimento no contexto de cada macrotemática. Os tópicos priorizados para cada macrotemática são elencados na Tabela 21.

Tabela 21 - Tópicos priorizados para cada macrotemática do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

Macrotemática	Prioridade
Energia Eólica	Previsão e planejamento – grande e médio portes. Monitoramento e operação – médio porte.
Energia Solar Fotovoltaica	<i>Balance-of-System</i> (BoS). Estudo do recurso solar.
Energia Solar Heliotérmica	Estudo do recurso solar. Tecnologias auxiliares – armazenamento, GD, química solar e hibridização.
Hidrogênio e Célula a Combustível	Célula a combustível do tipo óxido sólido (SOFC). Célula a combustível do tipo membrana polimérica (PEM).
Termoeletricidade Renovável e Não Renovável.	Biomassa. Estudo dos recursos energéticos.
Geração Hidroelétrica	Interação com o ambiente. Usina hidráulica reversível (UHR).
Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas	Geração concentrada – potencialidades energéticas. Geração descentralizada – potencialidades energéticas.
Energia Nuclear	Reator de água pressurizada (PWR) de 2ª geração. Tecnologias de produção de combustíveis de 2ª geração.
Energia dos Oceanos	Sistema de corpo oscilante. Barragens de marés.
Armazenamento de Energia	Sistema de gerenciamento de baterias (<i>Battery Management System – BMS</i>). Baterias.

Fonte: Elaboração própria.



3.4. Considerações Finais

De forma geral, o país possui corpo técnico qualificado e tem à disposição uma matriz elétrica e uma estrutura de cadeia produtiva e CT&I já consolidados. Considerando a Visão de Futuro das macrotemáticas, a CT&I e a indústria nacional precisariam se adaptar e adquirir maior poder de execução, junto ao setor elétrico. Nesse sentido, o país precisa definir diretrizes que fluem pelas questões regulatórias, tecnológicas e de inovação. De maneira geral, as políticas para o desenvolvimento do setor elétrico, CT&I e indústria passam pela criação de um ambiente regulatório e normativo com foco no desenvolvimento das macrotemáticas; estabelecimento ou adensamento de redes de pesquisa e grupos de trabalho; execução de mapeamentos de recurso energético (solar, oceânico, em áreas remotas e novos insumos energéticos não renováveis); elaboração de estudos e projetos demonstrativos e/ou pilotos de sistemas de geração e armazenamento; construção de competências nacionais em termos de recursos humanos e infraestrutura de CT&I; difusão de experiências e do conhecimento gerado; e, por fim, a geração de demanda para implantação de novos componentes, sistemas, metodologias e novos materiais associados à geração e armazenamento de energia.

Sob outro ponto de vista, as macrotemáticas poderiam ser encaradas como vetores de desenvolvimento e modernização da CT&I, indústria, setor elétrico e das tecnologias envolvidas nesse âmbito. As diretrizes, portanto, teriam foco em utilizar as respectivas tecnologias como meios de valorização de bens, que fazem uso dos sistemas de geração e armazenamento, como meios de inserção do conhecimento básico tecnológico das macrotemáticas no âmbito educacional e como meios de elevar a competitividade da indústria nacional – frente ao mercado estrangeiro – e do setor elétrico.



Capítulo 4



Capítulo 4

Grupo Temático: Transmissão de Energia Elétrica

4.1. Introdução

Para o GT Transmissão de Energia Elétrica, serão apresentados os resultados da prospecção tecnológica relacionados a cada um dos indicadores trabalhados na etapa Diagnóstico e para as questões de desenvolvimento trabalhadas na etapa Construção de Futuro, objetivando retratar o panorama do setor de energia elétrica sob a ótica dos indicadores de CT&I.

O grupo Transmissão de Energia Elétrica contempla o aprimoramento de processos já existentes e no desenvolvimento de novas tecnologias para o setor de transmissão de energia elétrica nas seguintes vertentes: sistemas de transmissão em corrente alternada e contínua, cabos isolados e supercondutores, subestações e equipamentos de alta tensão, Redes Elétricas Inteligentes (REIs) aplicadas à transmissão, à proteção, à automação e ao controle, no tocante às diferentes etapas de implantação: planejamento, projeto, construção, operação, manutenção e comercialização.

4.1.1. Conceitos das Macrotemáticas

As macrotemáticas relativas ao grupo temático (GT) Transmissão são conceituadas a seguir:

Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicada ao planejamento para a escolha da melhor alternativa para a expansão do sistema, dentre as modalidades de Transmissão em Corrente Alternada até 800 kV, Transmissão em Ultra-alta Tensão, Transmissão Multifásica, Transmissão em Meia-Onda

e Transmissão em Circuitos Múltiplos. Há, também, caminhos para PD&I em aprimoramento das ferramentas computacionais, modelos, conceitos e critérios, para que sejam aperfeiçoados para realização dos estudos de planejamento da expansão e operação do sistema, considerando-se a inserção de novas tecnologias no sistema.

Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC)

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicada para transmissão por elos de corrente ou tensão contínua. Contempla, também, os sistemas multiterminais e soluções inovadoras para tecnologia de equipamentos de alta tensão aplicados à transmissão em corrente contínua (CC), tais como transformadores, disjuntores em CC e filtros de harmônicos.

Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicada ao planejamento (inclui projeto), implantação (construção civil, instalação/logística), manutenção, operação, modernização e descomissionamento da transmissão por cabos isolados e acessórios.

Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicada aos FACTS. Abrange não somente diversos tipos de compensadores de potência, compensadores com armazenamento de energia, interação entre equipamentos FACTS, entre outros, mas também o planejamento (inclui projeto), a manutenção, a operação, a modernização e o descomissionamento associados à macrotemática.

Supercondutores

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I relativas ao desenvolvimento dos materiais supercondutores de alta temperatura e sua aplicação em equipamentos essenciais para a transmissão



de energia elétrica, tais como dispositivos limitadores da corrente de curto-circuito, entre outros equipamentos.

Estruturas, Condutores e Isoladores

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I de novos produtos e materiais para componentes físicos das linhas aéreas de transmissão. Abrange também técnicas e tecnologias para planejamento (inclui projeto LTs), implantação (construção civil, instalação/logística), manutenção (monitoramento), operação, modernização (aprimoramentos) e descomissionamento de estruturas, condutores e isoladores de linhas aéreas de transmissão.

Equipamentos de Alta Tensão e Subestações

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicada aos equipamentos de alta tensão e as subestações (SEs), que são parte de um sistema de potência que compreende as extremidades de linha de transmissão. Abrange novas tecnologias envolvendo transformadores, reatores, capacitores, dispositivos de manobra, entre outros, assim como planejamento (inclui projeto), implantação (construção civil, instalação/logística), manutenção (monitoramento), operação, modernização e descomissionamento associados à macrotemática. Aspectos relativos a materiais, automação, aterramento, desempenho são igualmente abordados.

Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão

A macrotemática abrange as possibilidades de PD&I aplicada à proteção, à automação e ao controle do Sistema de Transmissão. Considera os sistemas de proteção utilizados para detectar as condições anormais de operação, isolar defeito e promover a recuperação do sistema de forma rápida, confiável, seletiva e segura. Também aborda aspectos relativos à implementação de sistemas de proteção e das metodologias utilizadas na avaliação de distúrbios em sistemas de transmissão, teste de equipamentos, aplicação em campo de dispositivos de proteção, entre outros.

Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I relativas a aspectos relevantes da operação em tempo real e à manutenção dos sistemas de transmissão. Considera estratégias de operação, centros de operação, dispositivos de monitoramento, tipos de manutenção, recapitação das linhas de transmissão, entre outros assuntos.

Redes Elétricas Inteligentes (REIs) no Sistema Interligado Nacional (SIN)

A macrotemática aborda as possibilidades de PD&I relativas a Redes Elétricas Inteligentes (REIs) na transmissão, no tocante a monitoramento, controle e proteção de área ampla e novas estratégias e metodologias de suporte a tomadas de decisões. Também aborda o desempenho da rede com a integração de REIs de transmissão com a geração e a distribuição.

4.2. Diagnóstico

Conforme mencionado, o Diagnóstico do setor elétrico traz subsídios à formulação das diretrizes, ou políticas, de desenvolvimento das tecnologias de transmissão de energia elétrica no Brasil. Nesse contexto, foram consideradas as dimensões Socioambiental, Produção de CT&I, Estrutura de CT&I e Indústria e Mercado do setor elétrico brasileiro.

4.2.1. Socioambiental

A Dimensão Socioambiental caracteriza o impacto que as tecnologias futuras de transmissão de energia elétrica possuirão sobre o meio ambiente e a sociedade. Para tanto, será considerada a influência da operação dessas tecnologias na qualidade do ar, da água, do nível de ruído, da temperatura local e na fertilidade do solo, bem como o impacto dessas tecnologias no contexto social (produção de empregos e geração de recursos humanos). Nessa caracterização, não foi levado em conta o impacto do ciclo de vida dessas tecnologias.

As tecnologias associadas à transmissão de energia elétrica, em geral, causarão baixo impacto ambiental. Boa parte desse impacto é associada à poluição sonora. Ainda que em menor proporção, há também



expectativa de baixo impacto relacionado aos outros quesitos ambientais. Destacam-se no grupo as tecnologias associadas à macrotemática Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados. Considera-se, nesse caso, o impacto na qualidade do solo, tendo em vista o risco de vazamento de óleo de cabos subterrâneos, além do fato de que a área utilizada para implantação dos mesmos inviabiliza consideravelmente o uso do solo para outros fins.

A Tabela 22 apresenta os indicadores de Dimensão Social relativos ao GT Transmissão de Energia Elétrica. Os indicadores visam a analisar o impacto de novas tecnologias na geração de empregos diretos e indiretos, na remuneração e na qualificação exigida para os novos postos de trabalho.

Tabela 22 - Indicadores de Dimensão Social do GT Transmissão de Energia Elétrica

	Geração de empregos	Remuneração	Qualificação
Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA)	2	3	3
Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC)	1	2	3
Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados	1	2	3
Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)	1	2	3
Supercondutores	1	1	3
Estruturas, Condutores e Isoladores	3	2	3
Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	3	2	3
Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão	2	3	3
Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão	3	2	3
Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional	2	2	3

Legenda: **Geração de empregos:** (1) Expectativa de baixa geração de empregos diretos e indiretos; (2) Expectativa de média geração de empregos diretos e indiretos; (3) Expectativa de alta geração de empregos diretos e indiretos. **Remuneração:** (1) Expectativa de geração de empregos de baixa remuneração; (2) Expectativa de geração de empregos de média remuneração; (3) Expectativa de geração de empregos de alta remuneração. **Qualificação:** (1) Expectativa de geração de empregos que demandem ensino médio e/ou curso técnico; (2) Expectativa de geração de empregos que demandem graduação e/ou especialização; (3) Expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado.

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que, em relação à expectativa da geração de empregos, as macrotemáticas Estruturas, Condutores e Isoladores, Equipamentos de Alta Tensão e Subestações e Proteção, Automação e Controle indicaram uma perspectiva de alta geração de empregos diretos associados ao SEB e indiretos ligados à cadeia produtiva das mesmas. Em contrapartida, as macrotemáticas Sistemas de Transmissão

em Corrente Contínua (CC), Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados, FACTS e Supercondutores possuem baixa expectativa de geração de empregos diretos e indiretos. As demais macrotemáticas apresentaram expectativa média na geração de empregos associados.

Os valores referentes ao indicador de remuneração apontam que há expectativa de geração de empregos de alta remuneração para as macrotemáticas Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA) e Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão. Isso se deve, em parte, pelo fato de que existem, proporcionalmente, mais profissionais com doutorado e/ou mestrado nessa macrotemáticas do que em relação às outras macrotemáticas (vide análise de Recursos Humanos). Tendo em vista que, para ambas as macrotemáticas, foi apontada uma expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado, espera-se que essa diferença de proporção se mantenha. Portanto, espera-se, em média, um nível de capital humano maior associado às macrotemáticas em questão e, conseqüentemente, maior remuneração. Em relação à macrotemática Supercondutores, a expectativa é de geração de empregos de baixa remuneração se comparado com a remuneração do grupo. Os demais resultados indicaram uma expectativa de geração de empregos diretos e indiretos com média remuneração.

4.2.2. Dimensão Mercado e Cadeia Produtiva

A Tabela 23 mostra o resultado das respostas de uma pesquisa realizada com especialistas de cada macrotemática e tem por objetivo mostrar um panorama de como está o grau de estruturação da cadeia produtiva e os vários aspectos correlacionados a essa dimensão. Por meio da análise desse indicador, é possível inferir o grau de maturação para o desenvolvimento dessas macrotemáticas e quais pontos podem ser um empecilho para o desenvolvimento da mesma.



Tabela 23 - Indicadores de Cadeia Produtiva do GT Transmissão de Energia Elétrica

	Demanda atual no Brasil	Demanda atual no Mundo	Demanda futura no Brasil	Demanda futura no Mundo	Marco regulatório do SEB
Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA)	3	3	3	3	3
Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC)	3	3	3	3	3
Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados	2	3	3	3	2
Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)	3	3	3	3	3
Supercondutores	2	3	3	3	2
Estruturas, Condutores e Isoladores	3	3	3	3	3
Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	3	3	3	3	4
Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão	3	3	3	3	3
Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão	3	3	3	3	3
Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional	3	3	3	3	3

Legenda: Demanda atual/futura no Brasil/mundo: (1) Inexistente; (2) Baixa demanda; (3) Alta Demanda. Marco regulatório do SEB: (1) Não favorável; (2) Pouco favorável; (3) Favorável; (4) Muito favorável.

Fonte: Elaboração própria.

Quando analisado o grau de estruturação, é dado destaque às macrotemáticas Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada e a Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão como temas que apresentam alto grau de estruturação, por outro lado, as macrotemáticas que se apresentaram com baixo grau de estruturação são Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS) e Supercondutores, das quais FACTS, apesar da sua utilização, demonstra uma dependência da cadeia produtiva internacional, já Supercondutores pode se visto como uma tecnologia em processo de amadurecimento.

A macrotemática Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA) é dominante no sistema de transmissão adotado na atualidade, mas é importante notar que Sistemas de Transmissão em Corrente

Contínua (CC) apresenta uma alternativa apresentando média estruturação e existe disponibilidade de insumos e que, apesar de uma média dificuldade de estabelecer uma cadeia, já existe serviço técnico, infraestrutura de logística e uma grande sinergia haja vista que os produtos utilizados para tal não são específicos exclusivamente dessa cadeia.

A macrotemática Sistema de Transmissão por Cabos Isolados, apesar de ter uma média estruturação, apresenta dificuldades quanto aos itens manufaturados, aos serviços técnicos, à infraestrutura logística e foi considerada com alta dificuldade futura de se estabelecer uma cadeia.

Tabela 24 - Indicadores de Cadeia Produtiva do GT Distribuição de Energia Elétrica

	Grau de estruturação	Acesso aos insumos	Itens manufaturados	Serviços técnicos	Dificuldade futura	Infraestrutura de logística	Sinergia	Normas	Regulações
Corrente Alternada (CA)	4	3	3	3	3	3	2	3	3
Corrente Contínua (CC)	3	3	3	3	3	3	3	2	2
Cabos Isolados	3	2	1	1	1	1	2	3	2
FACTS	2	2	3	3	2	3	2	2	3
Supercondutores	2	3	2	1	3	1	2	3	3
Estruturas, Condutores e Isoladores	3	3	3	2	3	2	2	3	3
Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	3	2	3	2	3	2	2	3	3
Operação e Manutenção	4	3	3	2	3	2	3	3	3
Proteção, Automação e Controle	3	3	2	2	2	2	2	3	3
Redes Elétricas Inteligentes no SIN	3	2	3	2	3	2	2	3	3

Legenda: Grau de estruturação: (1) Grau de estruturação inexistente da cadeia produtiva nacional; (2) Baixo grau de estruturação da cadeia produtiva nacional; (3) Médio grau de estruturação da cadeia produtiva nacional; (4) Alto grau de estruturação da cadeia produtiva nacional. Acesso aos insumos: (1) Não há disponibilidade de insumos em território nacional para atender às necessidades atuais da cadeia



produtiva; (2) Existe disponibilidade de insumos, mas seu acesso/obtenção é difícil; (3) Existe disponibilidade de insumos e seu acesso/obtenção é fácil. **Itens manufaturados:** (1) Baixa capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (2) Média capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (3) Média-alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (4) Alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional. **Serviços técnicos:** (1) Baixo nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (2) Médio nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (3) Alto nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional. **Dificuldade futura:** (1) Alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (2) Média-alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (3) Média-baixa dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (4) Baixa dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro. **Infraestrutura de logística:** (1) Baixo nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; (2) Médio nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; (3) Alto nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; **Sinergia:** (1) Não existem sinergias com outras cadeias produtivas nacionais, pois os insumos, bens e serviços são muito específicos à cadeia produtiva; (2) Existe sinergia com outras cadeias produtivas nacionais, quer seja nos insumos utilizados, quer seja nos bens e serviços ofertados, mas ainda há especificidades da cadeia que são relevantes e dificultam a sua sinergia com outras cadeias produtivas nacionais; (3) Existem sinergias relevantes com outras cadeias produtivas nacionais, pois os materiais, os bens e os serviços utilizados não são específicos à cadeia produtiva. **Normas:** (1) Baixa importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local. **Regulações:** (1) Baixa importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.3. Produção de CT&I

Artigos

As produções científicas avaliadas estão distribuídas dentro das macrotemáticas e essa classificação pode ser observada no Gráfico 23, dentro de um comparativo entre a produção no âmbito mundial e nacional. Quando observada a produção mundial, existe um destaque para as macrotemáticas Supercondutores, Equipamentos de Alta Tensão e Subestações e Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC) as quais abarcam mais de 60% de toda a produção. Quando a análise é feita no Brasil, destacam-se Equipamentos de Alta Tensão e Subestações, Sistema de Transmissão em Corrente Contínua (CC) e Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão, ante tal ordenamento, percebe-se que Supercondutores é o tema que diferencia o Brasil da tendência do mundo, vindo este em quarto lugar.

As macrotemáticas que apresentaram menores índices de artigos publicados foram Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados, Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA) e REIs no SIN. Vale ressaltar que alguns fatores podem ter influenciado direta ou indiretamente na menor quantidade dos números de publicações de algumas macrotemáticas, como, por exemplo, Sistemas de Transmissão em CA, que trata de um assunto consolidado na área correlata, resultando, possivelmente, em uma diminuição das contribuições científicas dos pesquisadores nesse tema. Oportuno se faz mencionar que essa macrotemática está relacionada com outras que são contempladas dentro deste grupo temático, tais como Estruturas, Condutores e Isoladores, FACTS, Equipamentos de Alta Tensão e Subestações. Desse modo, é possível que, no contexto de publicações, essa correlação de temas pode ter afetado consideravelmente no decréscimo dos números, visto que artigos relacionados a outros temas estão sendo contabilizados em outras macrotemáticas.

A Tabela 30 apresenta o *ranking* de países com as maiores produções científicas para cada macrotemática, além de apresentar a colocação do Brasil para fins comparativo. Com esse nível de detalhamento, foi possível dar destaque também a países, como Irã, Canadá, Taiwan, Itália, Alemanha, inclusive ao Brasil que ocupa a quinta posição em Estruturas, Condutores e Isoladores e sexta em Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA) e Proteção Automação e Controle.

Como mencionado, a China e os Estados Unidos têm papel de destaque no grupo temático e conseqüentemente ocupam as primeiras colocações da maioria das macrotemáticas, contudo vale ressaltar que, em Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA), Supercondutores e Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados, tem-se a Índia, o Japão e o Reino Unido com um índice alto de desenvolvimento de artigo demonstrando a área de interesse e atuação com maior força de cada um dos países.

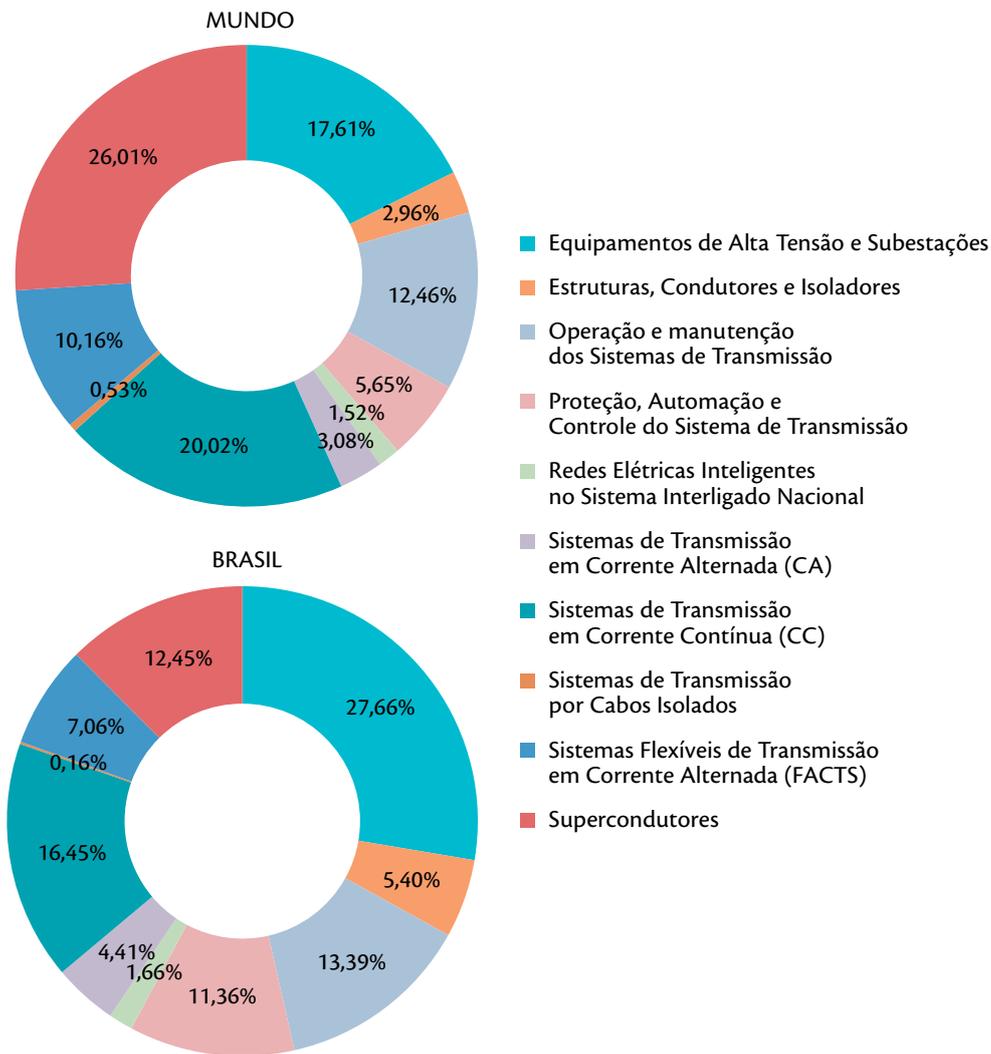


Gráfico 23 - Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 25 - Ranking, por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Transmissão de Energia Elétrica

	1º	2º	3º	4º	5º	Colocação Brasil
Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA)	Índia	Estados Unidos	China	Irã	Canadá	6º
Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC)	China	Estados Unidos	Índia	Taiwan	Canadá	15º
Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados	China	Reino Unido	Itália	Estados Unidos	Coreia do Sul	29º
Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)	Estados Unidos	China	Índia	Irã	Alemanha	16º
Supercondutores	Japão	Estados Unidos	China	Coreia do Sul	Alemanha	16º
Estruturas, Condutores e Isoladores	China	Estados Unidos	Canadá	Itália	Brasil	5º
Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	China	Estados Unidos	Irã	Índia	Polônia	9º
Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão	Estados Unidos	China	Canadá	Reino Unido	Taiwan	11º
Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão	China	Estados Unidos	Índia	Irã	Canadá	6º
Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional	Estados Unidos	China	Reino Unido	Irã	Canadá	9º

Fonte: Elaboração própria.

Para analisar a evolução dos artigos nos últimos 10 anos, é apresentado o Gráfico 24 que traz a produção em âmbito nacional. O gráfico de evolução mostra um *ranking* das macrotemáticas do GT Transmissão no eixo das ordenadas e os anos analisados no eixo das abscissas. Além disso, a espessura das linhas trazem o volume de produção, o qual pode ser verificado pelo valor numérico que a acompanha.

As macrotemáticas Supercondutores, Equipamentos de Alta Tensão e Subestações e Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua figuram as primeiras colocações em âmbito mundial. Essas três macrotemáticas apresentaram uma evolução crescente na última década, mas vale ressaltar o salto que existiu em Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua e uma leve constância em Equipamentos de Alta Tensão e Subestações. Na pesquisa realizada para detectar a participação brasileira na evolução



dos artigos, de acordo com o Gráfico 24, nota-se que a macrotemática Equipamentos de Alta Tensão e Subestações foi a que mais se destacou. Mas, diferentemente do que se observa na análise mundial, o número semelhante de artigos para algumas macrotemáticas faz com que essas troquem de posição quanto ao *ranking*, dificultando verificar uma tendência de forma nítida.

Percebe-se que Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão e Proteção dos Sistemas de Transmissão são temas constantemente pesquisados e figuram a segunda posição no último ano de análise. Por outro lado, Supercondutores, diferentemente do que ocorreu na análise mundial, apesar de estar bem classificada no número de publicações, não figurou dentre as macrotemáticas mais abordadas por brasileiros em publicações durante todo o período de análise.

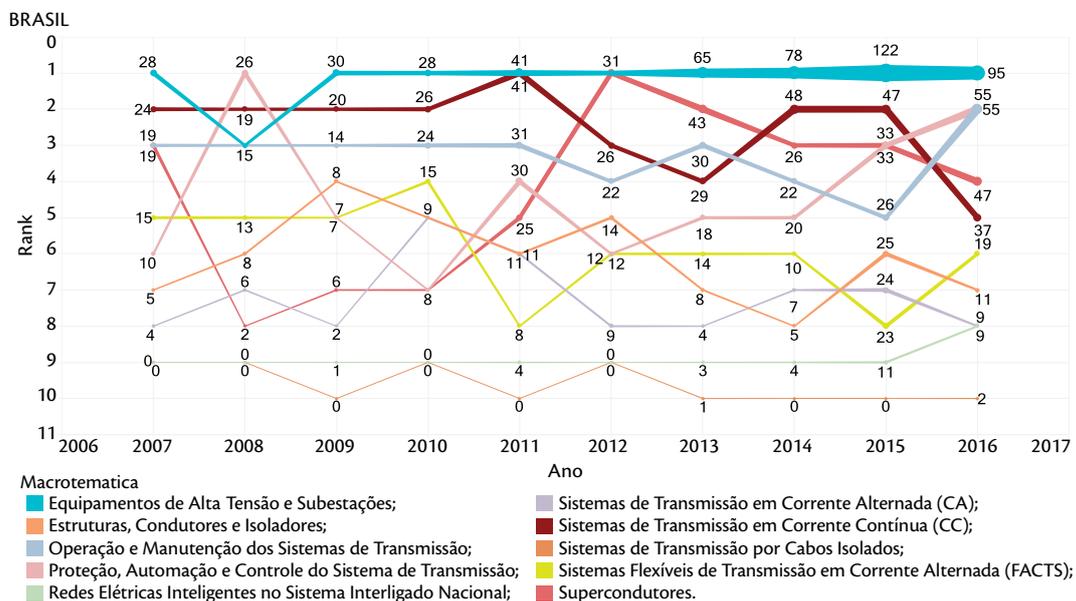


Gráfico 24 - Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Produção Complementar

A produção complementar compreende as publicações de artigos científicos que ocorrem nos seguintes eventos: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE),

Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Sendi), Congresso de Inovação tecnológica em Energia Elétrica (Citeneel) e Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica (Sepope).

Nesses eventos são apresentadas as produções científicas de diferentes demandantes, como empresas do setor elétrico, instituições de P&D, empresas da cadeia produtiva, universidades, entre outros. Vale ressaltar que o processo para submissão/aprovação nesses eventos tende a ser menos rigoroso do que o da publicação em periódicos revisados por pares. No entanto a maior facilidade citada não tira a relevância dos eventos, visto que contêm informações importantes para o setor, mostrando as temáticas de debate nacional e as tendências, além do fato de que muitas empresas preferem publicar exclusivamente em eventos.

Tendo por base os eventos abordados na produção complementar, verifica-se um foco diferente da produção científica abordada nas revistas científicas. Nesses seminários ou congressos, a participação de empresas do SEB é maior e há artigos que decorrem de estudos de caso destas companhias ou resultados de programas de P&D.

O Gráfico 25 mostra o percentual de produção complementar para cada macrotemática e como essa parcela é distribuída para cada evento. Como esperado o evento que contém a maior parcela das produções é o SNPTEE, por ser um evento específico na área de produção e transmissão de energia elétrica.

As macrotemáticas Equipamentos de Alta Tensão e Subestações e Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão compreendem a mais da metade de toda produção analisada. É importante ressaltar que Supercondutores é uma tecnologia altamente pesquisada e com altos índices de publicação, mas, devido à baixa aplicação do SEB com a atual tecnologia, essa macrotemática acaba por contribuir com uma parcela muito ínfima nesses eventos.

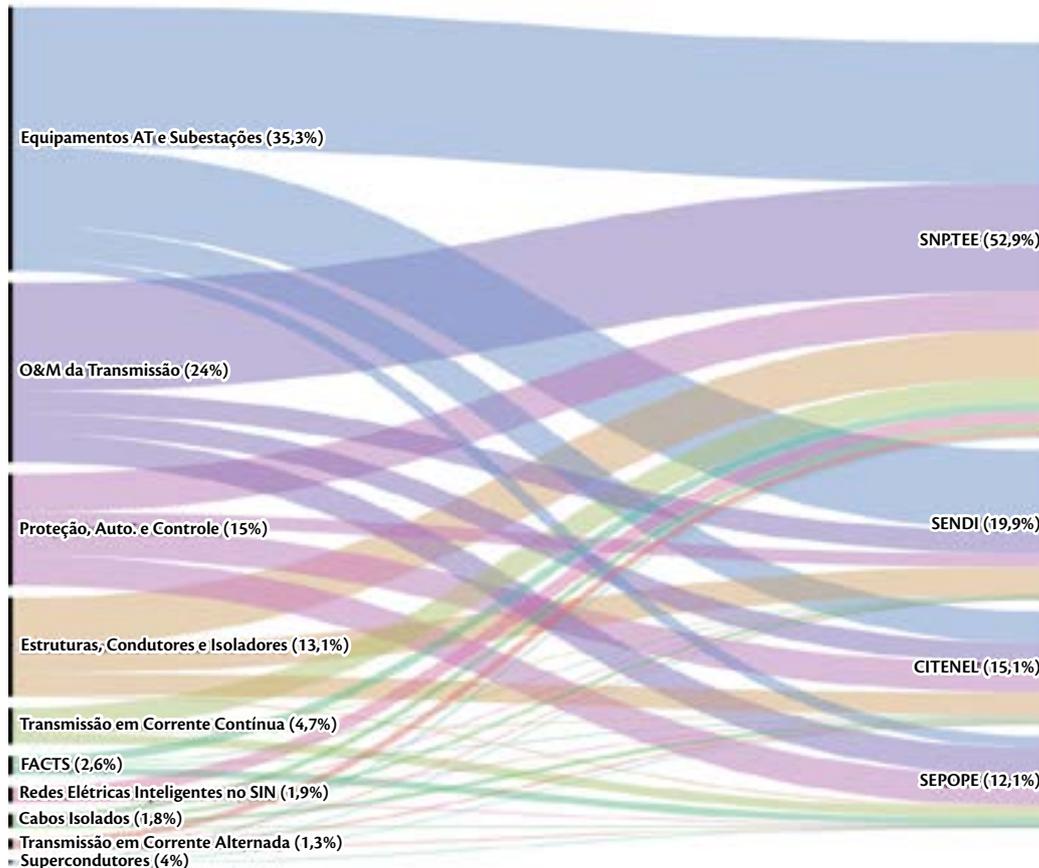


Gráfico 25 - Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Projetos Aneel

Conforme estabelecido no manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento regulado pela Aneel, os projetos elaborados pelas empresas do setor elétrico deverão, tal qual estabelece a Lei nº 9.991/2000, “estar pautados pela busca de inovações para fazer frente aos desafios tecnológicos e de mercado das empresas de energia elétrica. O projeto de P&D no setor de energia elétrica deve ser original e inovador. No entanto, diferentemente da pesquisa acadêmica pura que se caracteriza pela liberdade de investigação, deverá ter metas e resultados previstos”.

O Gráfico 26 apresenta o estágio da cadeia de inovação em que se encontram os projetos de P&D de Transmissão de Energia Elétrica em cada macrotemática do grupo. De forma geral, os projetos estão mais fortemente concentrados na etapa de pesquisa aplicada e pesquisa básica dirigida. Poucas macrotemáticas apresentam atividades mais avançadas da cadeia de inovação, como cabeça de série e lote pioneiro e tais projetos representam um percentual pequeno ante os desenvolvidos.

Em nenhuma das macrotemáticas, tem-se o estágio de inserção de mercado, o que demonstra certa discrepância entre o almejado pela lei e o que, realmente, está sendo desenvolvido, visto que um dos objetivos dessa é a sanar os desafios tecnológicos e de mercado das empresas do setor.

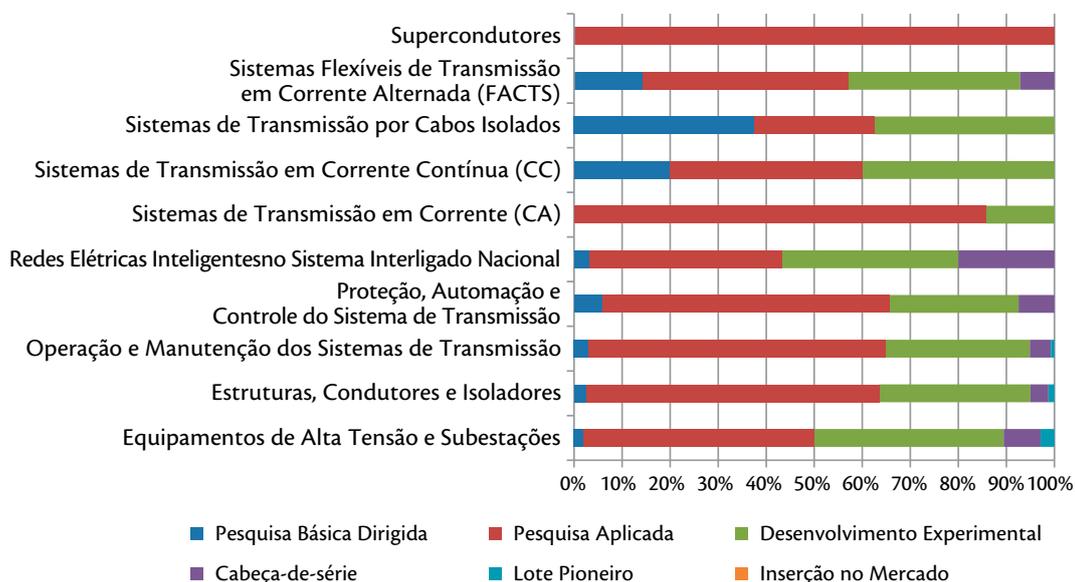


Gráfico 26 - Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

O montante de projetos concentra-se majoritariamente em Estruturas, Condutores e Isoladores e Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão, conforme pode ser observado no Gráfico 27. Tendo por base apenas essas macrotemáticas, apenas 12 projetos dessas estão no estágio de cabeça de série e três em lote pioneiro. Observa-se que a maior parte desses projetos ocorre em processo de melhorias de sistemas já bem estabelecidos e pouquíssimos dentre tais avançam para um estágio de virar mercado.



O alto valor para a macrotemática Estruturas, Condutores e Isoladores pode ser justificado devido à necessidade constante de ampliação das linhas existentes e planejadas para o Sistema Interligado Nacional. Outro ponto a ser destacado é o surgimento de novos materiais nos quais podem ser aplicados aos condutores e isoladores, aumentando a capacidade da transmissão. A necessidade de projetos inovadores das estruturas de linhas, bem como novas tecnologias ou desenvolvimento de melhorias nas fundações, levando em consideração diferentes tipos de solo, entre outras questões, também são fatores relevantes que podem corroborar com o interesse das empresas do setor elétrico em desenvolverem projetos de P&D nessa área.

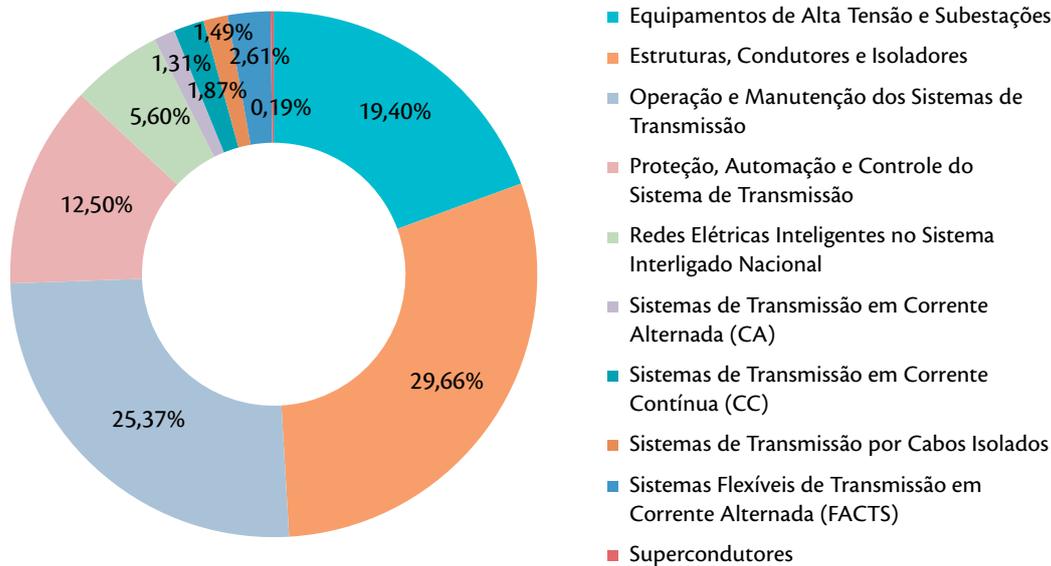


Gráfico 27 - Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Com relação à Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão, a necessidade de se obter um sistema cada vez mais confiável, seguro e eficaz, aumenta o investimento das empresas nesse tema. Atualmente, com as redes cada vez automatizadas e inteligentes, e com o aumento da geração intermitente, faz-se necessário evoluir em segurança e tornar os centros de operação, cada vez mais, preparados para manter o controle dos limites e a frequência do sistema. Portanto, uma série de fatores importantes para a estabilidade do SIN é tratado na operação e manutenção, elevando o número de projetos importantes para essa macrotemática.

Diferente do que ocorreu nas publicações de artigos científicos por brasileiros e na produção intelectual complementar nos eventos citados anteriormente, a macrotemática Equipamentos de Alta Tensão e Subestações, com 19,4% dos projetos Aneel, apareceu na terceira posição. Apesar de ainda figurar entre as macrotemáticas com maior número de projetos, esse resultado mostra que o interesse da academia e das empresas que publicaram nos eventos divergiram, ainda que pouco, no interesse dos investimentos das empresas em projetos de P&D especificamente.

Patentes

A nível global, verifica-se o domínio de depósitos em patentes que toca a transmissão segundo o regime tecnológico da transmissão contínua. Este apontamento sugere pistas de uma possível predominância técnica desse modelo e rota tecnológica estabelecida da corrente contínua, ante a sua homóloga, a corrente alternada.

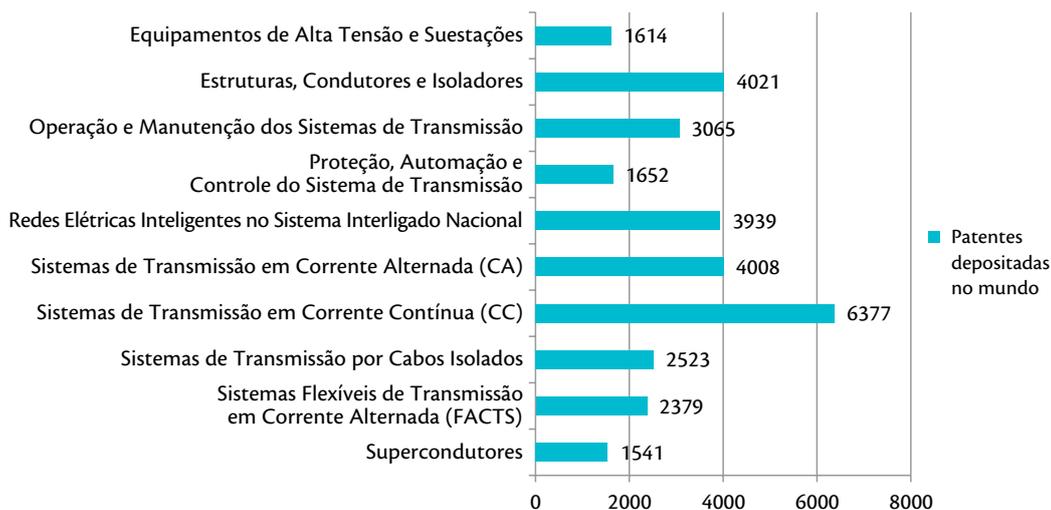


Gráfico 28 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Ao olhar para o quadro brasileiro, no que tange à distribuição, verifica-se um comportamento muito similar às tendências mundiais, em termos da distribuição das patentes nas macrotemáticas. Porém a participação das patentes brasileiras ante o contexto internacional é tímida, se forem observados e comparados os valores absolutos.

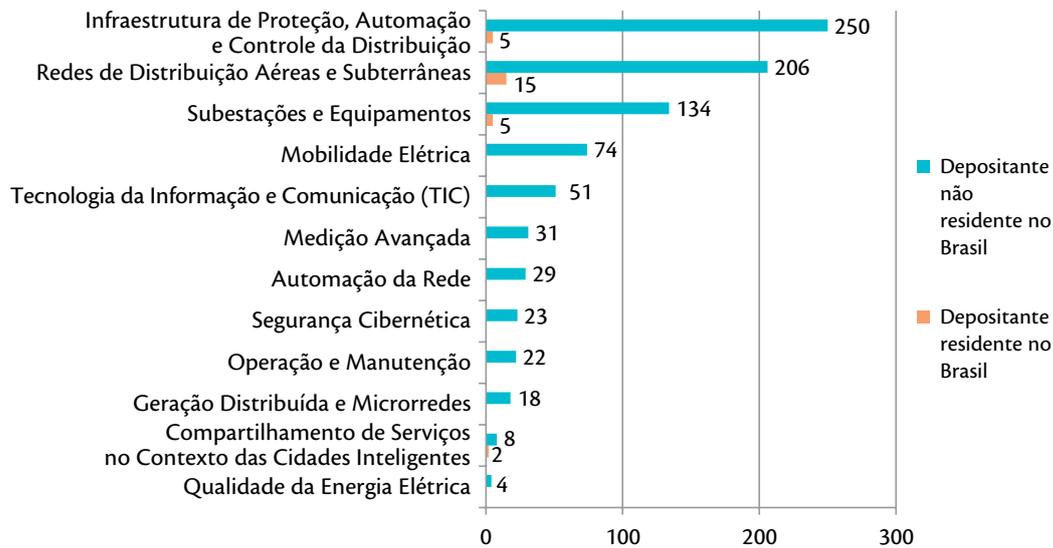


Gráfico 29 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do grupo Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

4.2.4. Estrutura de CT&I

Recursos Humanos

Para o GT Transmissão, foram selecionados os profissionais envolvidos com as macrotemáticas deste grupo, por meio da base de currículos *Lattes*. A Figura 6 ilustra o número total de profissionais distribuídos pelas Unidades da Federação (UFs). Percebe-se que o estado de São Paulo concentra o maior número de RH se comparado com os demais estados, seguido por Minas Gerais e Rio de Janeiro. Ou seja, a região Sudeste, como já era esperado, possui o maior número de profissionais envolvidos no grupo temático.

Em seguida, a região Sul aparece com os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina respectivamente. Pernambuco e Ceará, estados do Nordeste com os maiores números de profissionais, aparecem depois dos estados da região Sul. Seguido por Pará, Distrito Federal e Bahia.

Por fim, percebe-se que a região Norte foi a que apresentou o menor número de profissionais, nota-se também que Amapá, Acre e Roraima foram os estados com menor representação.

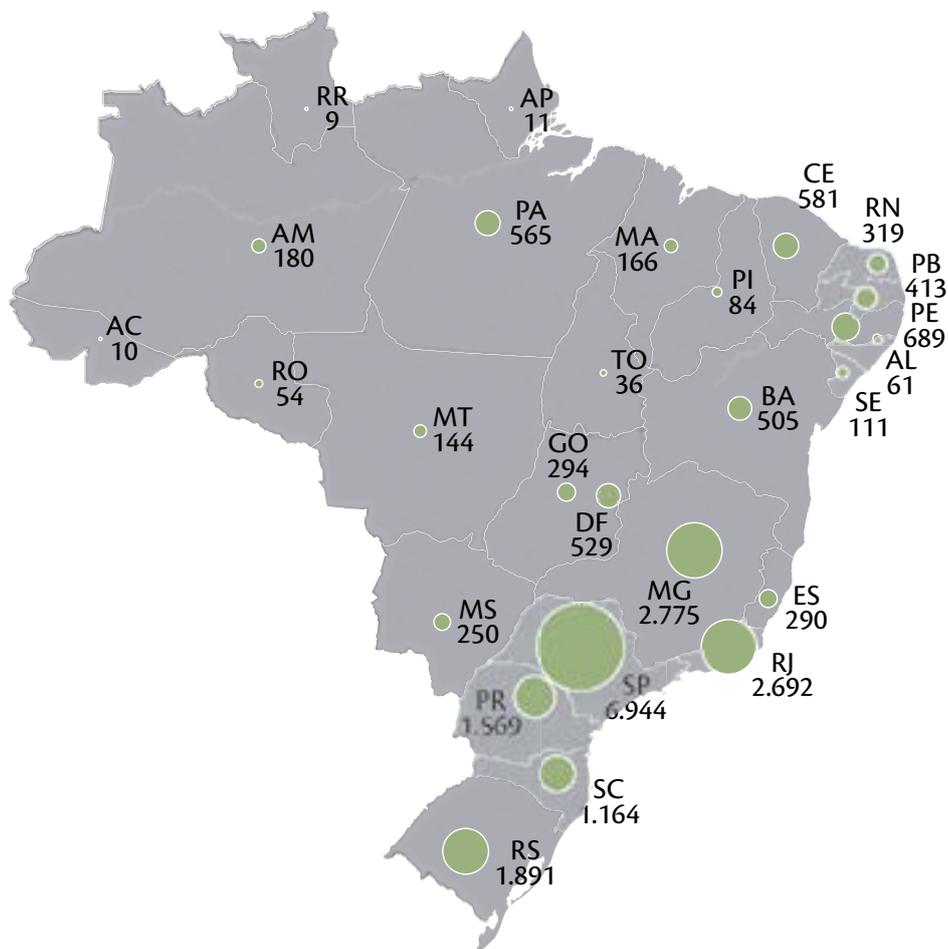


Figura 6 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Dentre todos os currículos baixados para o grupo, as macrotemáticas que apresentaram maiores números de profissionais foram Equipamentos de Alta Tensão e Subestações, Estruturas, Condutores e Isoladores e Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão com 26%, 20% e 14% respectivamente, conforme o Gráfico 30 .



Para Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão, a quantidade de profissionais já se mostrou um pouco mais baixa, com 9%, apontando já uma necessidade de ampliação desses profissionais. Na macrotemática Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA), o número baixo de profissionais pode estar relacionado tanto com a segmentação do pessoal em outras áreas quanto com o teor de busca que aborda novas tecnologias, como circuitos múltiplos, transmissão em meia-onda, multifásico e ultra-alta tensão. O menor número de profissionais foi em Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional com apenas 3% de representação em relação ao grupo.

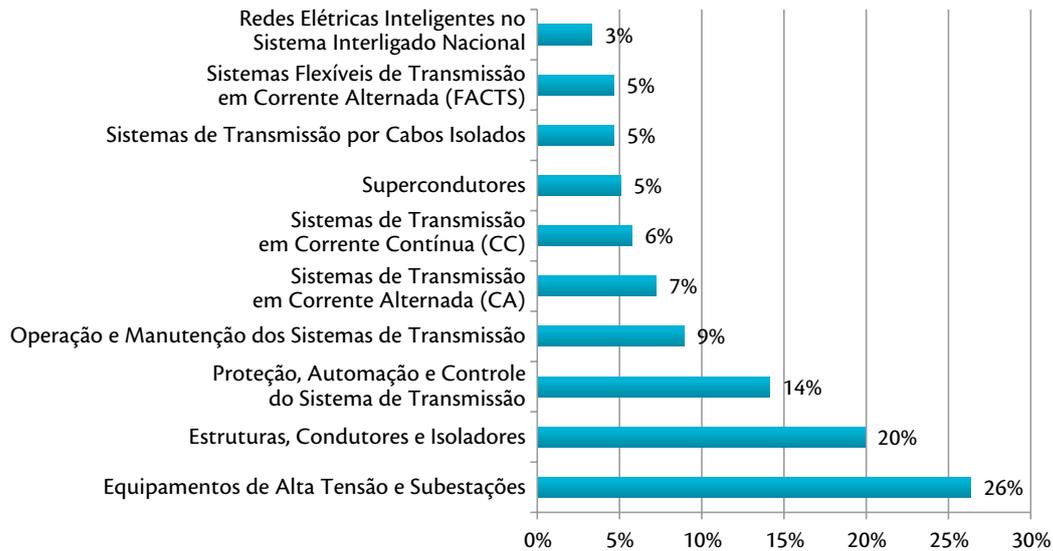


Gráfico 30 - Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Devido ao fato da grande quantidade de profissionais envolvidos em equipamentos de alta tensão, observa-se uma parcela bem expressiva em todos os estados brasileiros.

Santa Catarina e Maranhão são os estados em que tem a maior participação dos profissionais de operação e manutenção da transmissão. Esses profissionais representam mais de 12% do total do estado. Em Santa Catarina e Paraíba estão a maior porção dos profissionais em corrente contínua.

Observa-se que, na área de proteção dos sistemas de transmissão, existem boas parcelas de profissionais em quase todos os estados brasileiros. Alguns estados da região Norte apresentam pouca diversificação e quantidade de profissionais.

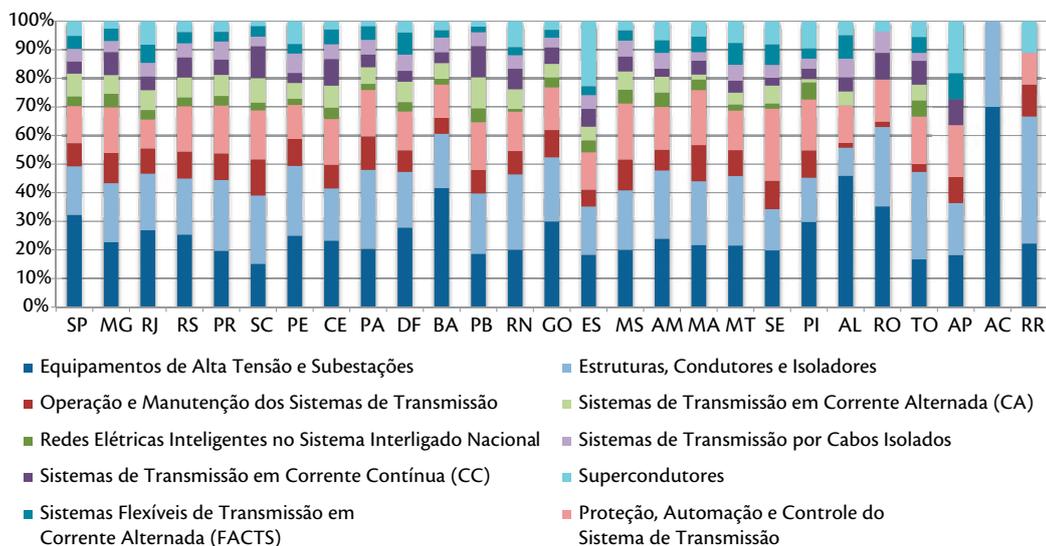


Gráfico 31 - Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Redes Colaborativas

Na análise de redes colaborativas para o GT de Transmissão de Energia Elétrica, foram identificados pesquisadores que atuam nas áreas definidas por cada macrotemática, dessa forma são apresentados os principais *clusters* de recursos humanos atuantes nesses temas, considerando o número de pesquisadores, representados pelo número de nós, e as palavras-chave trabalhadas por esses pesquisadores. Por meio do Gephi, foi realizada uma organização dos nós tendo por influência as forças de atração de similaridade semântica e coautoria entre os nós. Os apresentados à região marginal dos *clusters* foram assim dispostos por apresentarem pouca ou nenhuma interação com os demais, em termos de similaridade semântica e coautoria. Não obstante, eles não foram desconsiderados na análise, pois abordam tópicos relevantes para o tema.

A seguir, é apresentada uma análise das redes colaborativas do GT Transmissão de Energia Elétrica, considerando uma visão do relacionamento entre os atores da CT&I no que diz respeito à similaridade dos assuntos tratados nesse âmbito e ao nível de relacionamento entre os respectivos entes (coautorias). A análise, portanto, foi realizada para cada macrotemática, tal qual realizado para Supercondutores, conforme Figura 7.

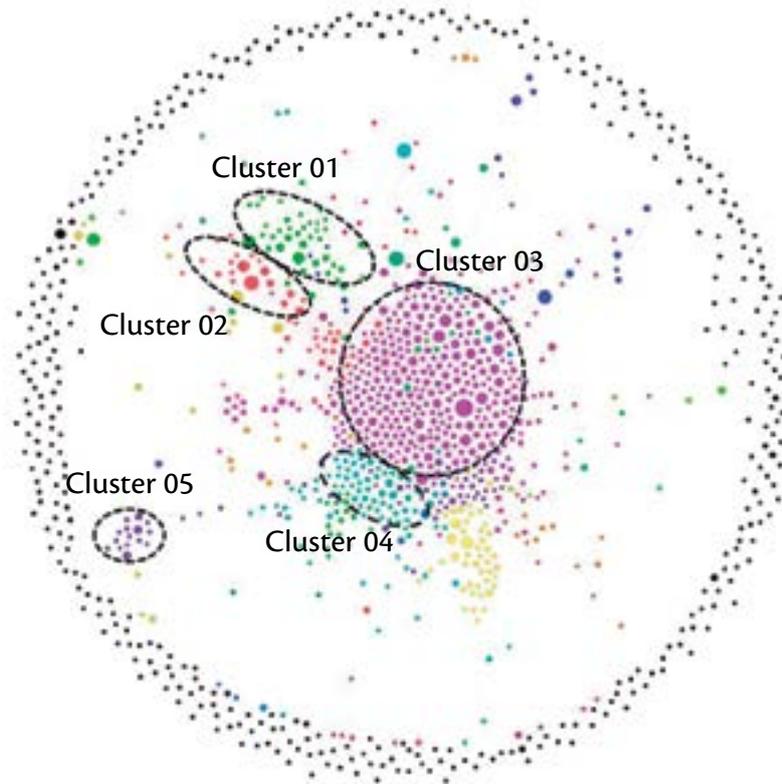


Figura 7 - Identificação dos *clusters* da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Supercondutores

Fonte: Elaboração própria.

Apesar de o *cluster 03* apresentar grande parte de todos os nós, os assuntos que são tratados pela maioria dos clusters têm certa semelhança, e a maior distância física e semântica é com o *cluster 05*, o qual trata da aplicação de supercondutores em antenas de microfita. O *cluster 04* apresenta uma parte mais ligada à física quântica, matéria essencial para o desenvolvimento desse tema. Os clusters 01, 02 e 03 tratam de aplicações, materiais e possíveis utilizações da supercondutividade.

Tabela 26 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Supercondutores

Cluster 01 Aplicação e materiais	Cluster 02 Aplicação e materiais	Cluster 03 Aplicação e materiais	Cluster 04 Física Quântica	Cluster 05 Antenas
1. Supercondutores. 2. Armazenamento de energia. 3. <i>Flywheel</i> . 4. Eólica 5. <i>Maglev</i> . 6. Levitação magnética. 7. Mancais supercondutores. 8. Materiais supercondutores.	1. Supercondutividade aplicada. 2. <i>High-temperature superconductor</i> . 3. Supercondutores cerâmicos. 4. <i>Superconducting fault current limiter</i> . 5. Limitador supercondutor. 6. Materiais supercondutores.	1. Filmes finos. 2. Fitas supercondutoras. 3. Aerogerador. 4. Supercondutor intermetálico mgb2. 5. Armazenadores. 6. Limitador de corrente. 7. Materiais supercondutores cerâmicos.	1. <i>Magnetoresistance</i> . 2. Pontos quânticos. 3. Cadeias de spin. 4. Caos quântico. 5. Transição de fase quântica. 6. <i>Quantum hall</i> . 7. Fase quântica topológica.	1. Antenas de microfita. 2. Micro-ondas. 3. Ondas milimétricas. 4. Eletromagnetismo. 5. Linha de microfita.

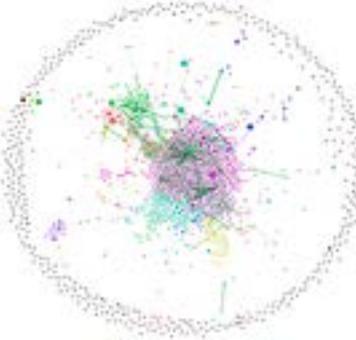
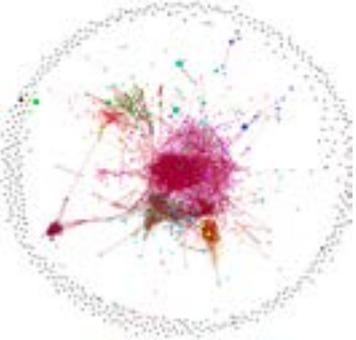
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do grau médio considerando a similaridade semântica e a coautoria na rede colaborativa da macrotemática do Grupo Temático Transmissão de Energia Elétrica são apresentados na Tabela 27.

Analisando a Tabela 27, observam-se relações de similaridade e coautoria na rede de supercondutores. A rede de pesquisadores que apresentou o grau mais elevado de coautoria no conjunto das macrotemáticas analisadas foi Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão com 1,326. Outras macrotemáticas apresentaram grau de coautoria em patamares um pouco mais baixos, contudo expressivos em comparação às demais. Esse conjunto é composto por: Supercondutores (1,183); Estruturas, Condutores e Isoladores (1,123); Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (1,109); Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão (1,018); Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional (0,907); e Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (0,9).



Tabela 27 - Apresentação das relações e resultados do grau médio de similaridade semântica e coautoria para a rede colaborativa da macrotemática Supercondutores

	Grau médio de coautoria	Coautoria	Grau médio de similaridade semântica	Similaridade semântica
Supercondutores	1,183		6,548	

Fonte: Elaboração própria.

Não existe um valor de grau médio que mostre o quanto uma relação de coautoria está satisfatória ou não, por isso as análises terão por parâmetros as demais macrotemáticas. A Tabela 28 e Tabela 34 apresentam os principais palavras-chave de pesquisa nas demais macrotemáticas do grupo transmissão de energia elétrica.

Tabela 28 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* das redes colaborativas do GT Transmissão de Energia Elétrica

Macrotemática 02 Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada	Macrotemática 03 Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua	Macrotemática 04 Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados	Macrotemática 05 Sistemas flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)	Macrotemática 06 Estruturas, Condutores e Isoladores
<p>Fluxo de potência. Estabilidade de tensão. Sistemas elétricos de potência. Harmônicos. Transitórios eletromagnéticos. Fluxo de potência multifásico. Sistemas dinâmicos multivariáveis. Transmissão em meia-onda. Linhas de ultra-alta tensão.</p>	<p>HVDC. Conversores CC-CC. Conversor CC-CA. Conversores CC-CA. SVC e TCSC. Transmissão em CC. Elo de corrente contínua (HVDC). Elo de corrente contínua monopolar (HVDC).</p>	<p>Geoprocessamento. Cabos elétricos submarinos. Cabos subterrâneos. Parâmetros de cabos elétricos.</p>	<p>Compensador estático. Compensador série. SVC. Statcom. Análise de fluxo magnético.</p>	<p>Impactos de Avaliação. Vibrações. Fadiga. Isoladores poliméricos. Ligas metálicas. Substituição de condutores em linha viva.</p>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 29 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Supercondutores (continuação)

Macrotemática 07 Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	Macrotemática 08 Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão	Macrotemática 09 Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão	Macrotemática 10 Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional
<p>Subestações blindadas a sf6. Projeto de subestações. Surtos de manobra. Subestações compactas. Transformador de potência. Transformadores a óleo. Nanotecnologia. Biomateriais.</p>	<p>Qualidade de energia elétrica. Manutenção preventiva. Harmônicos. Manutenção corretiva. Gestão de ativos. Tempo real. Estimativa de vida útil. Influência das condições meteorológicas.</p>	<p>Localização de faltas. Estabilidade de tensão. Previsão de carga. Detecção de faltas. Proteção direcional. Testes em relés de proteção. Energização e religamento. Subtensão.</p>	<p><i>Smart grid</i>. Automação. Algoritmos genéticos. Lógica fuzzy. PMU. IEC 61850. <i>Big data</i>. <i>Wams</i>.</p>

Fonte: Elaboração própria.



Infraestrutura de CT&I

O Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP) da plataforma *Lattes* é utilizado como base de classificação dos laboratórios referentes às macrotemáticas do grupo temático. As instituições são laboratórios ou centros de pesquisa classificadas como do setor de energia elétrica.

No que diz respeito à estrutura de CT&I, estão à disposição do setor elétrico brasileiro inúmeros laboratórios, que cercam praticamente todas as áreas do grupo de Transmissão de Energia Elétrica. Mais de 50% dos laboratórios são dedicados a Equipamentos de Alta Tensão e Subestações, Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão e Estruturas, Condutores e Isoladores (ver Gráfico 32). Macrotemáticas essas que se destacam em grande parte dos indicadores, pois são transversais a todo o sistema. Cerca de 11% dos laboratórios identificados para o grupo de Transmissão dispõem de infraestrutura para aportar o desenvolvimento da macrotemática Supercondutores, a qual apresenta a maior quantidade de investimento em equipamento, segundo as informações da base DGP.

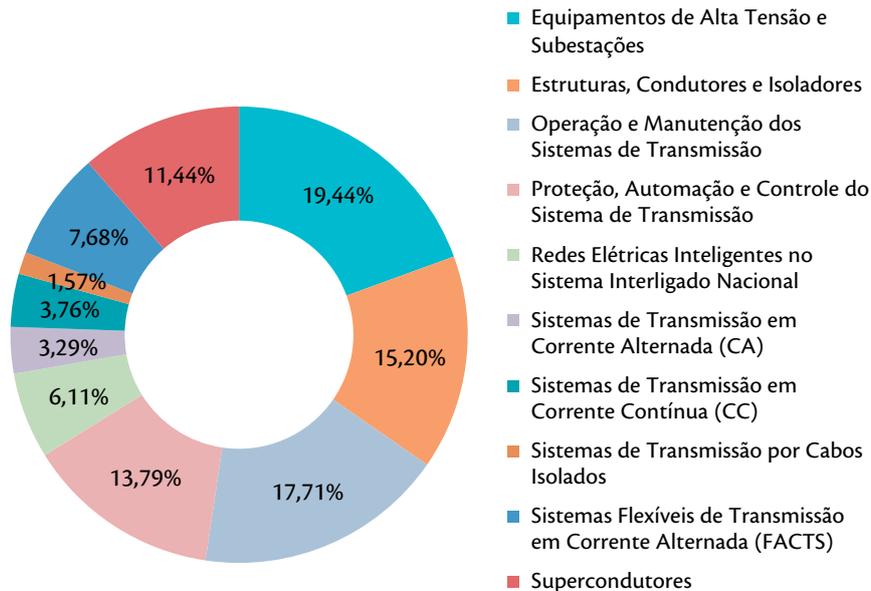


Gráfico 32 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 33 apresenta o perfil dos laboratórios por macrotemáticas segundo a caracterização de suas atividades e inserção nas etapas da cadeia de inovação. Ressalta-se que essas informações foram

levantadas a partir de uma pesquisa de campo em um universo de 285 laboratórios no país, que foram classificados de acordo com as 48 macrotemáticas que estruturam este projeto.

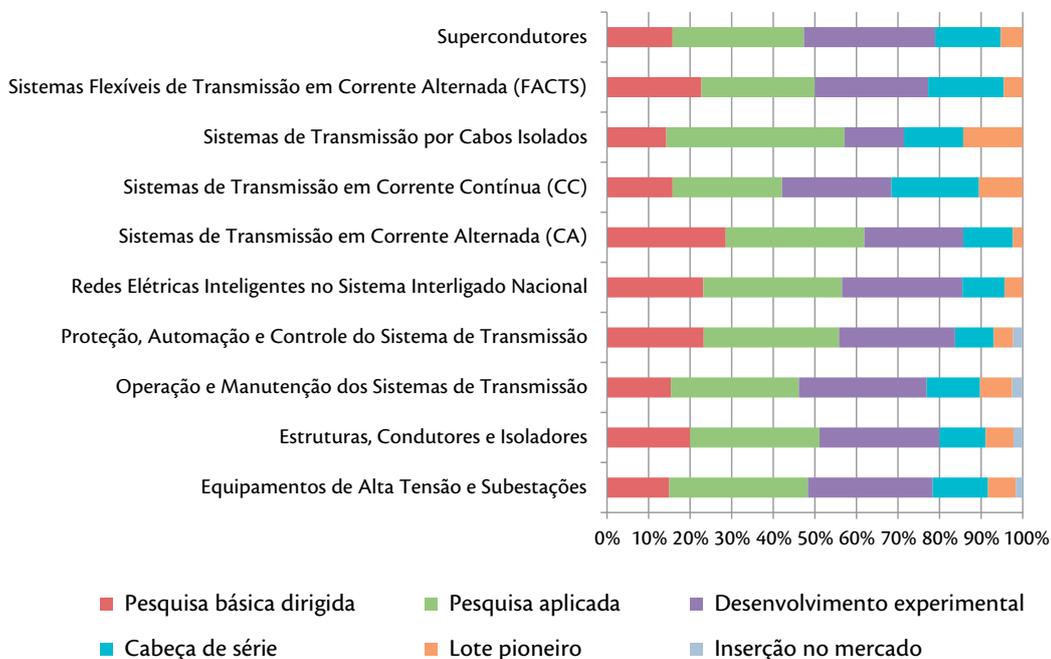


Gráfico 33 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Quando analisado para a cadeia de inovação, os três primeiros estágios aglomeram a maior parte das pesquisas, mostrando as características dos laboratórios. A maior parte dos laboratórios visitados foram do meio acadêmico, no entanto grandes centros de pesquisa relevantes para o desenvolvimento do setor foram visitados, como Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Eletrobras Cepel) Cepel, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), Centro Federal de Educação Tecnológica. Centro Federal de Educação Tecnológica (Cefet), Instituto Lactec, entre outros.



Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu

O GT Transmissão de Energia Elétrica apresenta número relativamente baixo de Programas de Pós-Graduação (PPGs) que realizam atividade de P&D, contabilizando um total de 108 PPGs no país. Em parte, isso se deve ao fato de que alguns temas já são consolidados no SEB e, conseqüentemente, há pouca pesquisa básica relacionada, como é o caso das macrotemáticas Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada. Outro fator a se considerar é o fato de que há menor diversidade de áreas de avaliação que abordam o estudo de temas relacionados ao grupo temático. Como será mostrado ao longo da análise, predominam-se PPGs de cursos de Engenharia e Ciências Exatas



Gráfico 34 - Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

A distribuição de PPGs no país varia significativamente de acordo com a macrotemática analisada no grupo temático. Pelo fato deste grupo abordar tecnologias bem distintas entre si e terem diferentes impactos entre as regiões do país, muitas vezes, isso se reflete na quantidade de PPGs por UF onde se desenvolve atividade de P&D. Nesse intuito, a Tabela 30 ordena as cinco UFs com maior número de PPGs associados a cada macrotemática.

Tabela 30 - Ranking das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica (%)

	1º	2º	3º	4º	5º
Corrente Alternada (CA)	MG (40)	BA (20)	PR (20)	SP (20)	
Corrente Contínua (CC)	MG (40)	RJ (20)	SC (20)	SP (20)	
Cabos Isolados	SC (50)	MG (17)	PR (17)	RJ (17)	
FACTS	DF (17)	MG (17)	PE (17)	PR (17)	RJ (17)
Supercondutores	SP (26)	RS (15)	MG (11)	PE (11)	RJ (11)
Estruturas, Condutores e Isoladores	MG (21)	RJ (13)	SP (13)	PA (12)	RS (10)
Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	PE (13)	RJ (13)	SP (13)	CE (9)	MG (9)
Operação e Manutenção	PR (30)	SP (17)	RJ (13)	SC (13)	MG (9)
Proteção, Automação e Controle	MG (15)	RS (15)	RJ (12)	SP (12)	CE (8)
Redes Elétricas Inteligentes no SIN	RJ (100)				

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 35 apresenta o número de instituições que financiam projetos de pesquisa relativos ao grupo temático. A análise é feita distinguindo-se as instituições por categoria e apresentando em quais macrotemáticas há o interesse das instituições financiadoras. O interessante de se ressaltar a natureza das instituições elencadas é que, por exemplo, muitas empresas financiam projetos de pesquisa com interesses específicos na obtenção de uma nova tecnologia ou capital humano para posterior utilização dos mesmos. De forma distinta, o interesse estratégico do financiamento de instituições de fomento à pesquisa, como CNPq ou Finep, faz parte de uma política nacional de fomento à atividade de CT&I. É importante ressaltar que os valores apresentados por categorias não somam a mesma quantidade que a soma dos valores apresentados por macrotemática. Isso se deve ao fato de que uma mesma instituição financiadora pode estar associada a mais de uma macrotemática se a mesma estiver financiando projetos em macrotemáticas diferentes. Portanto, a soma dos valores por macrotemática é maior que a soma dos valores por categoria.

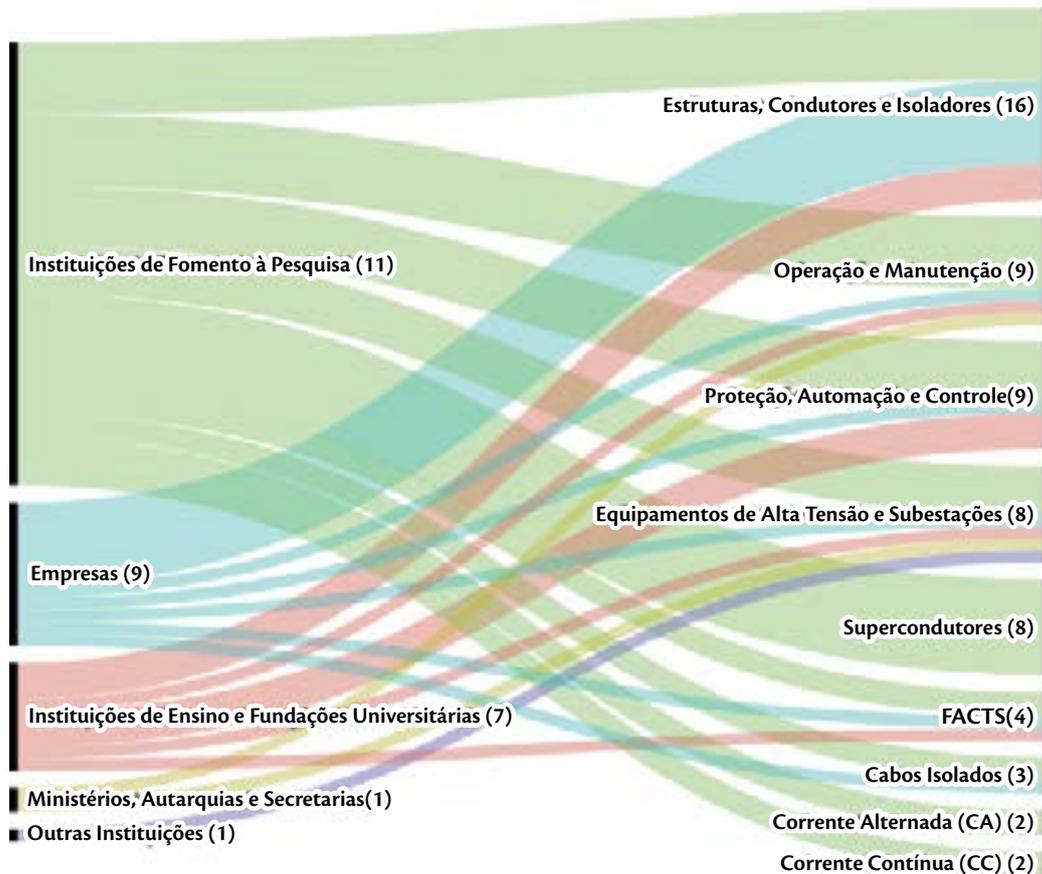


Gráfico 35 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se uma pequena quantidade de instituições que financiam projetos de pesquisa nas IEs atualmente, totalizando 29 instituições distintas. Em grande parte, essas instituições são de fomento à pesquisa e as próprias instituições de ensino e fundações universitárias, com financiamento majoritário por meio de concessão de bolsas de estudos. Dentre as empresas elencadas, destaca-se a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf) e a Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE), com financiamentos principalmente em projetos relacionado à macrotemática Estruturas, Condutores e Isoladores. É importante ressaltar que as empresas elencadas financiam um número reduzido de projetos de pesquisa, diferentemente dos outros tipos de instituições. Nota-se, ainda, que não há instituições estrangeiras financiando

diretamente projetos de pesquisas nos programas elencados no grupo temático. Dentro da categoria ministérios, autarquias e secretarias, apenas a Aneel foi elencada como instituição financiadora, com enfoque em projetos da macrotemática Equipamentos de Alta Tensão e Subestações.

Mecanismos de Fomento

Na presente seção, faz-se uma análise acerca de projetos de P&D relativos ao GT Transmissão de Energia Elétrica, financiados por quatro distintas agências de fomento: Aneel, CNPq, Finep e BNDES Funtec. Conforme descrito na metodologia, é importante ressaltar que os projetos analisados do CNPq e Finep são apenas aqueles cujos recursos foram oriundos do FNDCT. Além disso, os dados obtidos de projetos da Aneel são aqueles cujo data de início compreende-se entre os anos de 2008 e 2016, enquanto que os dos projetos do CNPq e Finep estão entre 2007 e 2015.

A Tabela 31 abaixo apresenta as principais estatísticas descritivas dos projetos analisados por cada agência de fomento no período de 2007 a 2016.

Tabela 31 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Distribuição de Energia Elétrica por agência de fomento – 2007-2016

	Aneel	CNPq	Finep	BNDES Funtec
Quantidade de projetos	1050	168	57	4
Valor total dos projetos (R\$ mil)	3.342.277,93	30.748,99	180.650,90	41.246,25
Valor médio (R\$ mil)	3.183,12	183,03	3.169,31	10.311,56
Valor mínimo (R\$ mil)	21,26	6,04	148,88	5.950,50
Quartil inferior dos valores (R\$ mil)	1.075,50	27,14	781,62	6.616,86
Mediana dos valores (R\$ mil)	1.683,48	65,49	1.576,43	7.924,36
Quartil superior dos valores (R\$ mil)	3.008,24	301,04	3.319,66	11.619,06
Valor máximo (R\$ mil)	121.966,89	1.764,99	28.342,31	19.447,03

Obs.: valores atualizados pelo IPCA em 31 dez. 2016.

Fonte: Elaboração própria.



Nota-se primeiramente que não houve projetos financiados pelo BNDES Funtec acerca do grupo temático no período. O valor total dos projetos no âmbito do Programa de P&D regulado pela Aneel superou o montante de R\$1,67 bilhão em valor corrente. É interessante notar a diferença entre o valor máximo e o valor do quartil superior da distribuição. O quartil superior de uma distribuição é o valor a partir do qual se encontram 25% dos valores mais elevados da distribuição. Portanto, 75% dos projetos registrados tiveram custo inferior à R\$3,13 milhões em valor corrente. No entanto o projeto de máximo valor custou aproximadamente R\$309,24 milhões. Isso mostra que grande proporção de projetos tiveram valores compreendidos dentro de uma faixa relativamente pequena de valores enquanto que uma parcela menor, justamente a dos projetos de maior valor, tem valores dispersos em uma faixa grande. Este fato explica o porquê de o valor médio dos projetos serem mais que o dobro do valor mediano.

Nota-se que há uma quantidade considerável de projetos do CNPq, cerca de 24% dos projetos do total das quatro instituições elencadas. Por sua vez, há menor quantidade de projetos financiados pela Finep em comparação com o CNPq, porém projetos com valores consideravelmente maiores. Destaca-se que há uma proporção consideravelmente maior de projetos desenvolvidos por empresas, por meio do instrumento de subvenção econômica, financiados pela Finep do que pelo CNPq. Este se caracteriza por financiar projetos quase que, exclusivamente, demandados por universidades e/ou ICTs.

Considerando os projetos das quatro agências de fomento, têm, no Gráfico 36, as proporções entre valores investidos por cada agência em cada macrotemática.

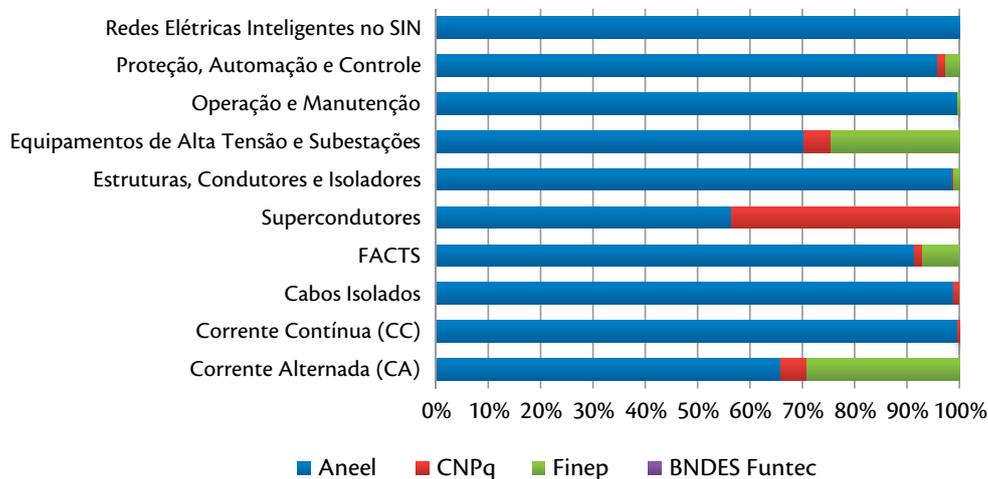


Gráfico 36 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que valor total dos projetos Aneel em cada macrotemática é expressivamente superior ao valor total do restante. A exceção no grupo é no caso da macrotemática Supercondutores, na qual há uma proporção considerável referente ao valor total dos projetos CNPq, com aproximadamente 43% do valor investido em projetos relativos à macrotemática. A macrotemática Corrente Alternada (CA) foi a que teve proporcionalmente maior investimento da Finep, com aproximadamente 29% do total investido na macrotemática. Além dela, houve uma proporção significativa de investimento da Finep na macrotemática Equipamentos de Alta Tensão e Subestações, com cerca de 24% do total investido.

4.2.5. Planejamento Estratégico

Os indicadores de política de médio e longo prazo podem ser observados na Tabela 32 e apresentam a perspectiva apresentadas pela governança do SEB. Conforme já apresentado na metodologia, varia-se a prioridade como baixa, média e alta.

As macrotemáticas Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC), Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS), Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão, Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão e Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional apresentam alta prioridade no horizonte de médio e longo prazo.

A macrotemática Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada(CA) apresenta média prioridade em médio e longo prazo e tal fato pode ser explicado por já ser um sistema estabelecido no SIN. Com isso, verifica-se a tendência a utilizar a transmissão em corrente contínua aproveitando assim os seus pontos positivos como menores investimentos e perdas para transmissão de longas distâncias, maior potência transmitida por condutor, a possibilidade de interligar sistemas de frequência diferentes, entre outros.

Quem também apresenta média prioridade é a macrotemática Equipamentos de Alta Tensão e Subestações e pode ser tratado pelo grau de maturidade que essa já apresenta, são destacadas nas linhas de pesquisa a necessidade de compactação, da melhoria com novos materiais, assim como a macrotemática Estruturas, Condutores e Isoladores que, por sua vez, apresenta baixa prioridade, já existe tecnologia disponível que possibilite o desenvolvimento do sistema como um todo, sendo assim aprimoramentos da tecnologia disponível.

As macrotemáticas Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados e Supercondutores apresentam baixa prioridade em médio prazo. Já para longo prazo, Supercondutores apresenta média prioridade, e novamente um dos fatores determinantes é a maturidade da tecnologia, atualmente ainda é baixa



a utilização de supercondutores na aplicação em sistemas de transmissão, mas espera-se que, com o desenvolvimento dessa tecnologia, a inserção e a utilização sejam maiores, justificando, assim, o aumento da sua prioridade.

Tabela 32 - Priorização das macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica no contexto do planejamento estratégico

	Política de médio prazo (2026)	Política de longo prazo (2050)
Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA)	Média prioridade	Média prioridade
Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC)	Alta prioridade	Alta prioridade
Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados	Baixa prioridade	Baixa prioridade
Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)	Alta prioridade	Alta prioridade
Supercondutores	Baixa prioridade	Média prioridade
Estruturas, Condutores e Isoladores	Baixa prioridade	Baixa prioridade
Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	Média prioridade	Média prioridade
Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão	Alta prioridade	Alta prioridade
Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão	Alta prioridade	Alta prioridade
Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional	Alta prioridade	Alta prioridade

Fonte: Elaboração própria.

4.3. Construção de Futuro

4.3.1. Visão de Futuro

Considerando a situação da infraestrutura de CT&I do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), apresentada por meio dos indicadores levantados na etapa de Diagnóstico, foram identificadas as competências

nacionais e definidas as oportunidades e diretrizes de desenvolvimento tecnológico, que subsidiarão a formação das redes elétricas do futuro.

A Empresa de Pesquisa Energética destaca que as novas instalações de transmissão planejadas para entrar até o ano de 2022 demandarão investimentos da ordem de R\$ 38,8 bilhões, sendo R\$ 25,9 bilhões em linhas de transmissão como acréscimo de 21.503 km de novas linhas e R\$ 12,9 bilhões em 54 novas subestações.

Deve-se indicar que, na região Norte, foi estimado 10.961 km de novas linhas de transmissão, o que aponta para a necessidade da transmissão de longas distâncias, situação onde pode despontar a transmissão ultra-alta tensão em corrente alternada e em corrente contínua, notadamente para suprir os mercados das regiões Sudeste/Centro-Oeste. Considerando esse cenário, bem como o aporte da P&D, via programas, como o P&D Aneel, o futuro das tecnologias de transmissão é caracterizado conforme apresentado a seguir.

A transmissão em corrente contínua (CC) vem sendo intensamente utilizada por mais de 50 anos e sistematicamente aprimorada em decorrência da eletrônica de potência, em que se pode citar o conversor *Voltage Sourced Converter (VSC)*, sistemas acima de 800 kV CC e Sistemas Multiterminais. Deve-se, ainda, indicar que, na Europa, as dificuldades na obtenção de novas faixas de passagem têm levado à substituição das linhas de transmissão por cabos ou mesmo transformando linhas de CA em CC.

Com relação à transmissão em corrente alternada (CA), devem ser ressaltados os sistemas de transmissão acima de 800 kV (UATCA). Os estudos e as simulações realizados para especificação das linhas de transmissão e dos equipamentos de UATCA e os resultados das pesquisas realizadas em laboratórios e instalações experimentais indicaram alguns tópicos específicos que necessitam de investigações cuidadosas. Estes tópicos afetam principalmente os disjuntores e para-raios, que devem atuar de maneira efetiva no controle das tensões de manobra e, portanto, com influência capital nos isolamentos das linhas e dos equipamentos.

Com relação às linhas CA existentes, é importante postergar a sua substituição, desenvolvendo processos que possam permitir o seu carregamento até o máximo permitido. Nesse sentido, surgem as ferramentas de carregamento dinâmico (RTTRS – *Real Time Thermal Rating Systems*), com o monitoramento em tempo real das condições térmicas críticas de linhas e equipamentos para identificar e atuar antes que os limites sejam ultrapassados.



Com relação às linhas de transmissão, tem sido investigado: a avaliação de projetos de novas geometrias de torres que possibilitem reduzir os custos; a redução da agressão ao meio ambiente; a facilidade de instalação e o aumento de confiabilidade; e os estudos que permitam a máxima compactação das linhas de transmissão, incluindo novos arranjos das fases ou novas geometrias de torres.

É importante ressaltar igualmente os estudos para estabelecimento de critérios e metodologias para determinação da vida útil remanescente de linhas de transmissão existentes, considerando a análise integrada de todos os seus componentes submetidos aos diferentes efeitos, elétricos, mecânicos e ambientais.

A transmissão de energia necessita basicamente dos componentes que compõe a linha de transmissão (estruturas, condutores e isoladores) as subestações e os diversos tipos de equipamentos de transformação, medição e chaveamentos. Além destes equipamentos tradicionais, foi ainda considerada a aplicação dos equipamentos que atuam no controle de diversas grandezas do sistema contando essencialmente com a eletrônica de potência denominados de FACTS. Estes dispositivos também foram contemplados na análise.

Pode-se, ainda, indicar as seguintes alternativas para transmissão de energia:

A transmissão de energia por hidrogênio é uma alternativa para minimizar os impactos ambientais, pois integra-se com diversas fontes de energia renováveis, como biomassa, solar, eólica, hidroelétrica, geotérmica e marés, mesmo aumentando as eficiências de fontes não renováveis, como gás natural.

A transmissão de energia pode ser feita utilizando outras tecnologias, como, por exemplo: cabos isolados e supercondutores de alta temperatura, condutores de alta temperatura e linhas de transmissão isoladas a gás. Esses itens são, igualmente, outros temas em desenvolvimento.

As inovações tecnológicas voltadas aos equipamentos de alta tensão concentram-se principalmente na aplicação de novos materiais, monitoramento e métodos de análise para melhoria do desempenho, como, por exemplo:

A operação segura e confiável da transmissão precisa, igualmente, de dispositivos de proteção, automação e controle que deve atuar com essas funções e se integrar cada vez mais no conceito de redes inteligentes.

Pode-se citar os novos sistemas de proteção e controle, em que os dispositivos possam identificar e analisar os eventos, efetuar as devidas medidas de isolamento, corrigir as falhas e, finalmente, fazer os

devidos registros. Ou seja, objetiva-se que o restabelecimento seja realizado o mais rápido possível após uma perturbação no sistema.

Nesse sentido, precisam ser utilizadas as *Wide Area Monitoring System (WAMS)*, que se constituem numa plataforma de informação em tempo real, como aplicativos inteligentes, para processar a enorme quantidade de dados. Podendo contar com o auxílio dos *Phasor Measurement Unit (PMU)*, ou *Síncronos Fasores*, que coletam as informações em tempo real das diferenças angulares entre a tensão e a corrente (além das magnitudes), de forma que detecte, com extrema rapidez, as tendências de instabilidade dinâmica da rede. Estas inovações vão requerer o estabelecimento de novas estratégias na área de operação de sistemas, em que será de capital importância a educação e o treinamento dos operadores que devem contar com simuladores para sistematicamente analisar as possibilidades de contingências no sistema para que possam antecipadamente estabelecer as possíveis soluções e configurações da rede.

Por sua vez, os sistemas de telecomunicações são essenciais para modernização das instalações de transmissão. Os dispositivos da rede elétrica atual possuem capacidade de fornecer informações, serem telecomandados, receber dados, serem sincronizados por fontes externas e realizar diversas outras funções. Toda esta inovação dos processos passa a necessitar de um sistema de telecomunicações que atenda aos requisitos específicos.

Os sistemas de rádio dedicados ao apoio das equipes de manutenção precisarão ser substituídos brevemente por imposição da Anatel que está constantemente alterando o uso de espectro de frequências e substituindo definições de faixas (sistemas analógicos por digitais).

A inovação da rede de telecomunicações caminha inexoravelmente para redes de pacotes. Tecnologia IP é considerada a mais adequada para utilização em redes de telecomunicações de missão crítica das empresas elétricas. Os sistemas de pacotes, ainda, necessitam de comprovação de desempenho nas empresas brasileiras. Poucas são as empresas elétricas que já implantaram com sucesso redes IP. O mesmo não ocorre com operadoras de telecomunicações, mas os requisitos desempenho são diferentes em relação a redes de missão crítica.

Por outro lado, não se deve esquecer de que a malha elétrica evoluiu constantemente para o atendimento da evolução do mercado e, nesse sentido, novas tecnologias entram na malha, e estas devem conviver com diversas outras tecnologias que vêm entrando ao longo do tempo. É de primordial importância que os processos de operação e manutenção sejam capazes de operar este sistema de maneira segura e confiável e que estes processos possam contar com tecnologias de monitoramento, objetivando



principalmente a detecção precoce de possíveis problemas para permitir que a manutenção preventiva possa ser exercida antes da ocorrência de falhas no sistema.

O desempenho da atividade de manutenção afeta de maneira sensível o resultado das empresas de transmissão e de geração, na medida em que influi na frequência e duração das indisponibilidades.

As concessionárias de energia elétrica passaram a buscar métodos de manutenção cada vez mais confiáveis e que demandam menor tempo de execução. Os sistemas de monitoramento e as técnicas de diagnóstico representam papel relevante para o alcance de resultados positivos.

O envelhecimento das instalações e dos equipamentos do sistema de transmissão e geração, assim como sua utilização mais intensa, significa um desafio adicional a ser enfrentado pela atividade de manutenção.

É internacionalmente reconhecido que as atividades vinculadas a Monitoramento, Diagnóstico e Prognóstico constituem um processo de evolução e desenvolvimento contínuos. Muito já foi feito nas últimas décadas, mas ainda há muito a fazer. Algumas técnicas de diagnóstico estão consolidadas enquanto outras requerem aperfeiçoamento. O aspecto de prognóstico também requer aprendizado por lidar com características extremamente complexas, como a vida útil remanescente do isolamento, condições operacionais etc.

Embora os sistemas de monitoramento on-line e diagnósticos estejam crescendo em popularidade, persistem a falta de padronização e dúvidas a respeito de sua confiabilidade e benefícios potenciais desses sistemas, o que impede a sua consolidação tecnológica. Mesmo as concessionárias que os adquiriram, ainda, encaram com ressalvas a sua adoção.

A atividade de manutenção acompanhou a evolução tecnológica observada em outros países, fruto da necessidade de lidar com tecnologia pioneira em suas instalações e da importância de cada uma de suas unidades operativas para o sistema interligado. Não obstante, ainda há muito a ser feito no campo das inovações tecnológicas no sentido de otimizar as atividades de manutenção.

O treinamento adequado é requisito fundamental para que as equipes de operação e manutenção adaptem-se às novas tecnologias e passem a aceitá-las.

A gestão de ativos deve ser encarada como instrumento fundamental no processo decisório vinculado às atividades de manutenção, bem como a migração para a manutenção centrada na confiabilidade.

Dois itens vêm sendo enfatizados no sentido de aprimoramento da operação dos sistemas elétricos: carregamento dinâmico de linhas de transmissão e controle coordenado de tensão.

O conhecimento da capacidade térmica da linha permite aumentar a transmissão de potência em condições ambientais favoráveis (na maioria dos casos) e, ao mesmo tempo, evitar situações raras de sobrecarga, garantindo uma instalação eficiente dos equipamentos do sistema. As aplicações dos dispositivos de carregamento dinâmico de linhas baseiam-se no cálculo/estimativa da temperatura dos condutores em tempo real. As principais técnicas possíveis são: modelo térmico da linha, com base no conhecimento de condições atmosféricas; medição direta da catenária e temperatura da linha; e estimativa com base em medições de WAMS.

Controle coordenado de tensão, a partir de recursos de potência reativa do sistema de potência, pode ser brevemente resumido em termos de: melhor qualidade de tensão, menor variação em torno de perfis definidos de tensão; melhor segurança do sistema de potência explorando a disponibilidade de reservas de potência reativa em condições de emergência; maior capacidade de transferência de potência, aumentando os níveis de potência ativa transmissíveis sem problemas de estabilidade de tensão; maior economia na operação, minimizando as perdas totais, por meio da redução dos fluxos reativos; e melhor utilização das fontes de potência reativa.

São diversos os conceitos de uma rede inteligente. Entre eles apresenta-se a seguir o conceito feito pela China, que tem foco em todos os setores de um sistema de potência, incluindo geração, transmissão, distribuição e armazenamento. Assim, uma rede inteligente é definida como: integração de fontes renováveis de energia, novos materiais, equipamentos avançados, telecomunicação e informação, controle e supervisão e tecnologia de armazenamento, de maneira a apoiar a gestão digital, decisões inteligentes e transações interativas entre geração, transmissão e distribuição.

Por esse conceito, pode-se indicar que as redes inteligentes teriam o papel de interligar todas as tecnologias que, certamente, vão desempenhar papel crucial na transição para uma rede elétrica sustentável no futuro próximo, tendo em vista que: tornam o sistema mais inteligente – mais flexível, mais dinâmico às mudanças bruscas e capaz de responder a altos valores de geração variável principalmente solar e eólica e podem atuar como elemento facilitador da penetração de fontes renováveis de energia no sistema de transmissão, etc.

Nesse sentido, é de extrema importância que os especialistas de transmissão, possam conhecer as inovações de proteção, automação, controle, monitoramento e segurança cibernética, que vêm se aprimorando sistematicamente com ajuda dos dispositivos de eletrônica de potência, tecnologia da informação e telecomunicação.



Pela experiência internacional, pôde-se observar que as redes inteligentes não são apenas uma questão técnica. As redes inteligentes não podem ser tratadas apenas como uma tecnologia, o que facilitaria ter seus impactos avaliados, mas devem ser tratadas como um conjunto de novas tecnologias disponíveis que abrem vasta gama de oportunidades para transformar o antigo sistema de abastecimento de energia em um sistema mais moderno e sustentável que envolve muito mais atores.

Torna-se cada vez mais importante as interações entre os operadores do Sistema de Transmissão (TSOs) e os operadores do Sistema de Distribuição (DSOs) para analisar as possíveis questões críticas devido à penetração maciça da Geração Distribuída (GD).

Os problemas relacionados às fontes de energia distribuídas forçaram os operadores do sistema a repensar a gestão das suas redes e como os TSOs e DSOs vêm abordando este tema, em que, atualmente, se reconhece a necessidade de uma coordenação global e a realização de projetos técnicos de colaboração mútua.

As fontes de energia renováveis e de geração distribuída estão remodelando profundamente o setor elétrico. Neste novo cenário, o sistema de potência tradicional caracterizado por um fluxo unidirecional de energia está abrindo espaço para o novo paradigma das redes inteligentes em que há um fluxo bidirecional de energia e de informação dos centros de controle para o usuário/produzidor.

Nesse cenário, as novas tecnologias baseadas em comunicação integrada e controle estão emergindo e sendo adaptadas para o uso em operações de rede. Em particular, a medição inteligente e o gerenciamento pelo lado da demanda estão se espalhando e afetam a operação da rede do ponto de vista tanto do TSO quanto do DSO. Na verdade, o primeiro pode ajudar o DSO a prever melhor as cargas e melhorar o planejamento e operação da rede. Este último pode ajudar a prevenir interrupções e congestão na rede de AT/MT deslocando ou controlando diretamente as cargas.

Do ponto de vista da operação da rede, é necessária uma interação mais forte entre DSO e TSO. Eles terão que trabalhar juntos nas áreas de interrupção, despacho, controle de tensão e controle de fluxo de potência. Outras áreas que precisam ser revisadas podem incluir o papel estratégico da união DSO/TSO, a organização e os sistemas no ambiente da rede inteligente, desenvolvimento de habilidades e competências, problemas de caráter contestatório, planejar orientações em um ambiente inteligente, tarifas de rede e benefícios regulatórios para os clientes. A qualidade de energia, a confiabilidade do abastecimento e a segurança pessoal devem ser consideradas quando é introduzida uma mudança na estrutura e operação da rede elétrica.

Em vista disso, a Tabela 33 resume os objetivos gerais de cada macrotemática, que corroborarão e suportarão tal propósito. A análise apresentada a seguir fornece a Visão de Futuro, a evolução da maturidade tecnológica e as rotas prioritizadas para cada uma dessas macrotemáticas.

Tabela 33 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática do grupo de Transmissão de Energia Elétrica

Macrotemática	Objetivo geral
	<p>Sistemas de Transmissão em Corrente Alternada (CA) – aprimorar as ferramentas de estudos de expansão do sistema, conjuntamente como o aprimoramento dos modelos de representação dos diversos componentes do sistema, analisar e aplicar critérios para o dimensionamento das subestações, equipamentos e linhas de transmissão, na busca da alternativa que proporcione modicidade tarifária, menor impacto ambiental, além de garantir o desempenho e a segurança do Sistema Interligado Nacional. Nesse contexto, deve-se considerar as alternativas não convencionais de transmissão: ultra-alta tensão em corrente alternada, meia-onda, sistemas multifásico e circuitos múltiplos (considerando diferentes níveis de tensão).</p>
	<p>Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua (CC) – desenvolver equipamentos e componentes em âmbito nacional relacionados a tecnologias de conversão CA-CC. Para realização de estudos de sistema, deve-se procurar aprimorar os modelos computacionais e laboratoriais que representem as diversas tecnologias de conversão CA-CC.</p>
	<p>Sistemas de Transmissão por Cabos Isolados – desenvolver sistemas de transmissão por cabos isolados com melhores características dielétricas, alta confiabilidade, maior vida útil, perdas reduzidas, menores custos de construção, operação e manutenção, atendendo ao meio ambiente, às especificidades do mercado e à segurança.</p>
	<p>Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS) – absorver, adaptar e aplicar com maior intensidade a tecnologia FACTS no Sistema Interligado Nacional, objetivando ganhar experiência para o desenvolvimento de produtos nacionais confiáveis e economicamente competitivos.</p>
	<p>Supercondutores – aumentar a confiabilidade na transmissão e distribuição de energia elétrica por meio da inserção de equipamentos e dispositivos supercondutores no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB).</p>
	<p>Estruturas, Condutores e Isoladores – desenvolver novas concepções de linhas de transmissão aéreas e de seus componentes. Estabelecer metodologias de diagnóstico para as linhas existentes, visando ao aumento da confiabilidade, ao aumento da capacidade de transmissão, à redução de custos de manutenção e ao prolongamento de vida remanescente.</p>
	<p>Equipamentos de Alta Tensão e Subestações – aplicar novas alternativas tecnológicas, para ampliação, modernização e/ou repotenciação da malha de transmissão existente. Pesquisar o uso de nanotecnologia no desenvolvimento de novos produtos para refrigeração, proteção e isolamento de equipamentos e materiais supercondutores para cabos e limitadores de corrente de curto-circuito.</p>
	<p>Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão – aprimorar os processos de operação e manutenção dos serviços de operação e manutenção dos sistemas de transmissão pautada na: uniformização, integração, automação de instalações e inserção de novas tecnologias. Melhorar a qualidade do serviço e do produto para fazer frente às novas exigências do mercado e adequar as atividades de operação e manutenção para atender às novas necessidades do setor elétrico. A visão funcional e operacional direciona trabalhos e tarefas a serem executadas nas diversas áreas de O&M, incluindo seus aspectos organizacionais, gestão de riscos, aumento da consciência da complexidade do sistema elétrico nacional e novas exigências de conhecimento e formação para engenheiros e técnicos do setor, principalmente operadores de centro de controle e técnicos de manutenção, no aspecto das novas tecnologias empregadas, segurança do sistema e das instalações.</p>



Macrotemática	Objetivo geral
<p>Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão – estabelecer estratégias para alcançar o pleno conhecimento tecnológico do <i>Intelligent Electronic Devices</i> (IEDs) e dos demais dispositivos baseados em hardware de prateleira para atender às exigências presentes e futuras do SIN, aplicado igualmente ao domínio tecnológico dos respectivos dispositivos portáteis de testes, bem como dos aplicativos usualmente empregados nas aplicações de proteção, automação e controle PAC em sistemas de transmissão.</p>	
<p>Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional – aperfeiçoar a cadeia de produtos necessários à implantação no país da tecnologia de supervisão, controle, proteção e automação em área ampla do sistema interligado nacional, incluindo o desenvolvimento de metodologias, aplicativos e dispositivos, tais como aplicativos para monitoração e controle, unidades de medição fasorial, concentradores de dados, <i>hardware</i> para redes de comunicações, automação de subestações.</p>	

Fonte: Elaboração própria.

4.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas

Considerando o aporte da PD&I para que se alcancem esses objetivos, foi prospectada a evolução de maturidade tecnológica das rotas consideradas no projeto. O Gráfico 37 apresenta, para cada macrotemática, a porcentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta para os anos de referência (2017, 2020, 2025, 2030, 2040 e 2050). Elas referem-se ao grau de maturidade as rotas que foram levantadas, não implicando dizer que outras rotas ou tecnologias possam surgir ao longo do período analisado.

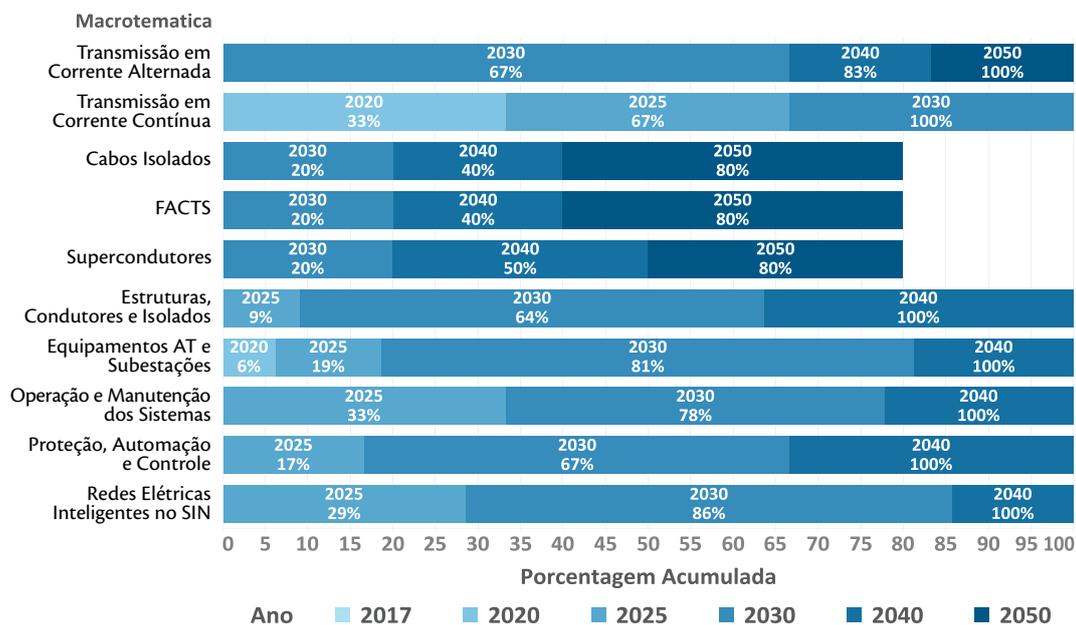


Gráfico 37 - Percentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta por macrotemática para o grupo de Transmissão de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução tecnológica se dê tal qual apresentado acima, foram identificados fatores condicionantes para o desenvolvimento dos temas considerados. Nesse sentido, destaca-se que é imprescindível maior interação da academia com a indústria, fomento de uma maior infraestrutura laboratorial, investimento em capacitação e formação profissional, considerando a reformulação de cursos e currículos para melhor adequação às exigências do mercado e fortalecimento da cadeia produtiva nacional.

4.3.3. Priorização das Rotas

Considerando o retrato da cadeia de CT&I do setor, os objetivos definidos para o desenvolvimento de PD&I, a evolução da maturidade das tecnologias consideradas, a interdependência entre rotas e a perspectiva de retorno tecnológico e financeiro, foram identificadas as rotas prioritárias para desenvolvimento e investimento no contexto de cada macrotemática. Os tópicos priorizados, para cada macrotemática, são elencados na Tabela 34.



Tabela 34 - Tópicos priorizados para cada macrotemática do grupo de Transmissão de Energia Elétrica

Macrotemática	Prioridade
Sistema de Transmissão em Corrente Alternada	Tecnologias inovadoras com possibilidades de inserção nos sistemas existentes. Modelos para estudos de planejamento da expansão do sistema, considerando, inclusive, as alternativas não convencionais de transmissão de energia.
Sistema de Transmissão em Corrente Contínua	Estudos para o dimensionamento de eletrodos para Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua. Ferramentas para estudos dos elos de corrente contínua, elos de tensão contínua e conversores CA/CC.
Sistema de Transmissão por Cabos Isolados	Metodologias para concepção e dimensionamento de linhas de transmissão subterrâneas, incluindo a análise das variáveis ambientais. Tecnologias para o desenvolvimento dos cabos e acessórios.
Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada (FACTS)	Ferramentas e modelos para aplicação dos equipamentos SVC e STATCOM. Desenvolvimento de funções de controle para os equipamentos FACTS e interação com outros equipamentos de controle de grandezas elétricas.
Supercondutores	Desenvolvimento de equipamentos com o emprego da tecnologia de supercondutores, como, por exemplo: limitadores de corrente de curto circuito, cabos e aerogeradores.
Estruturas, Condutores e Isoladores	Desenvolvimento de novos tipos de estruturas, condutores e isoladores. Otimização do projeto, montagem e manutenção de linhas de transmissão considerando a aplicação de novas tecnologias e mitigações do impacto ambiental.
Equipamentos de Alta Tensão e Subestações	Desenvolvimento de materiais avançados aplicados a equipamentos de alta tensão com ênfase em transformadores de potência. Otimização de subestações isoladas a gás e subestações híbridas.
Operação e Manutenção dos Sistemas de Transmissão	Aprimoramento dos processos de Operação em Tempo Real com a inclusão de sistemas de monitoramento, aplicação de dispositivos PMU. Desenvolvimento de sistemas especialistas para apoio à decisão operativa em tempo real.
Proteção, Automação e Controle do Sistema de Transmissão	Desenvolvimento de funções avançadas de proteção. Desenvolvimento de ferramentas para sistemas de teste em tempo real. Desenvolvimento de funções de localização de faltas transitórias
Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional	Estratégias e metodologias de suporte a tomada de decisões. Desenvolvimento de sensoriamento e monitoramento avançado em funções de transmissão.

Fonte: Elaboração própria.

4.4. Considerações Finais

Analisando o estado da arte do GT Transmissão de Energia Elétrica, observam-se certas peculiaridades do Brasil quando comparado às tendências internacionais. Tal fato é reflexo do sazonalidade que o sistema apresenta e do nível de maturidade de algumas tecnologias. Observa-se tal fato quando analisado os indicadores de produção científica em que, no Brasil, se destacam as macrotemáticas Equipamentos de Alta Tensão e Subestações, Estruturas Condutores e Isoladores e Proteção, Automação e Controle, enquanto no mundo Supercondutores e Sistema de Transmissão em Corrente Contínua (CC) apresentam maior destaque em quantidade de produção.

Além das macrotemáticas que têm alto nível de publicações, é importante ressaltar, ainda em relação à produção científica, a macrotemática Redes Elétricas Inteligentes no Sistema Interligado Nacional, que ganha força no cenário mundial com aumento significativo de produção nos últimos anos.

É de suma importância considerar que os sistemas de transmissão de energia elétrica sofrerão impactos em termos de mudanças da inserção das fontes intermitentes, da necessidade de se transportar grandes potências a grandes distâncias, da mudança do sistema de distribuição com a geração distribuída. Sem contar com o fato de que o sistema de transmissão nacional está envelhecendo, então, a necessidade de manutenção e o monitoramento tornam-se cada vez mais importantes, bem como a substituição de certos equipamentos por outros mais eficientes e que se adequem melhor às novas características do sistema.

Dessa forma, o grupo de Transmissão, por meio do aporte à PD&I, visa a desenvolver as tecnologias, as ferramentas, as metodologias, os algoritmos e os processos necessários para o planejamento, a operação e a manutenção das redes. Objetiva-se a implantação de redes compactas e eficientes, dotadas de robusta infraestrutura de proteção, automação, controle e comunicação, com elevado grau de sensoriamento, monitoramento para gerenciamento e operação inteligente de um sistema que vem se tornando cada vez mais complexo devido, principalmente, à entrada de fontes de intermitentes.



Capítulo 5



Capítulo 5

Grupo Temático: Distribuição de Energia Elétrica

5.1. Introdução

Para o GT Distribuição de Energia Elétrica, serão apresentados os resultados desta prospecção relacionados a cada um dos indicadores trabalhados na etapa Diagnóstico e para as questões trabalhadas na etapa Construção de Futuro, objetivando retratar o panorama do Setor de Energia Elétrica sob a ótica dos indicadores de CT&I.

O grupo Distribuição de Energia Elétrica contempla a evolução e o desenvolvimento de tecnologias, ferramentas e métodos associados ao planejamento, ao projeto, à implantação, à operação e à manutenção do sistema de distribuição. Abordam-se também os aspectos comerciais de conexão, cadastramento, fornecimento, medição e faturamento de energia.

O grupo considera, entre outras questões, os efeitos da penetração de Geração Distribuída (GD), da mobilidade elétrica e do crescente nível de automação e tráfego de dados na rede. Esses fatores contribuem para a formação das chamadas Redes Elétricas Inteligentes (REIs) e alteram a concepção e o modelo do serviço de distribuição, bem como o papel do antigo “consumidor” – o qual passa a atuar como *prossumidor*²⁷. Destaca-se, ainda, que, se, por um lado, as REIs, o maior poder de atuação do consumidor e as tecnologias disruptivas (como geração distribuída e mobilidade elétrica) exigirão uma reforma do setor e da remuneração dos serviços de distribuição; por outro, propiciarão uma nova gama de modelos de negócios e serviços a serem oferecidos pelas concessionárias, atuando como drivers do setor. Dessa maneira, para analisar e preparar o setor para essas mudanças, são abordadas as seguintes macrotemáticas:

27 Entende-se por prossumidor aquele que é consumidor e produtor de energia elétrica ao mesmo tempo, ou seja, o prossumidor, além de receber energia da rede, também gera energia distribuída, fornecendo o excedente à rede. Com isso, o cenário usual de fluxo elétrico unidirecional pode, em alguns casos, ser substituído por fluxos bidirecionais, exigindo a adequação da rede elétrica.

5.1.1. Conceitos das Macrotemáticas

Medição Avançada

Aborda as possibilidades de PD&I relativas à aplicação de medidores inteligentes nas redes de distribuição interligados por uma infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação. São consideradas as ferramentas de eficiência energética, de eficiência comercial e de eficiência operativa providas por essa tecnologia.

Automação da Rede

Aborda as possibilidades de PD&I relativas ao conjunto de funcionalidades técnicas, metodologias, algoritmos e equipamentos direcionados à automatização da operação das redes de distribuição e ao aumento de sua capacidade de supervisão e monitoração, promovendo melhora em termos de qualidade da energia elétrica e redução de custos operacionais. São enfatizadas as metodologias para as funcionalidades inteligentes das REIs.

Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes

Aborda as possibilidades de PD&I relativas às tecnologias integradoras para o compartilhamento dos diversos sistemas de infraestrutura de medição e serviço na formação do ecossistema das cidades inteligentes, com garantia de interoperabilidade, autenticidade e integridade da informação de medição.

Segurança Cibernética

Aborda as possibilidades de PD&I relativas à implementação de tecnologias, regulamentação e avaliação da segurança cibernética para o setor elétrico – considerando aspectos de segurança, confiança e privacidade – a fim de minimizar as vulnerabilidades e as ameaças nos sistemas de tecnologia da informação. Destaca-se que, com o advento das soluções e aplicações de REI e a crescente utilização de dispositivos inteligentes, esta é uma preocupação preponderante para o setor.



Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)

Aborda as possibilidades de PD&I relativas às Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) que vêm modernizando a infraestrutura da rede elétrica, de forma a permitir a implantação das funcionalidades inteligentes das REIs e o processamento da grande quantidade de dados obtidos em tempo real.

Operação e Manutenção

Aborda as possibilidades de PD&I relacionadas à operação e manutenção dos sistemas de distribuição, considerando, entre outros, o uso da inteligência artificial na operação, sistemas de operação com interoperabilidade entre geração distribuída, microrredes e sistemas de armazenamento, diagnóstico, monitoramento e gestão de ativos e projetos de otimização da manutenção.

Subestações e Equipamentos

Aborda as possibilidades de PD&I envolvendo o desenvolvimento, a instalação e a manutenção dos diferentes tipos de subestações e equipamentos de distribuição, de forma a viabilizar sua instalação de forma ágil, próxima ao centro de carga, com alto índice de confiabilidade e flexibilidade e reduzido custo de operação e manutenção. Aspectos relativos a materiais, automação, monitoramento, aterramento e desempenho são abordados.

Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle

Aborda as possibilidades de PD&I dos sistemas de proteção e controle utilizados para detectar as condições anormais de operação, isolar defeitos e promover a recuperação do sistema de forma rápida, confiável, seletiva e segura. São apresentadas as adaptações dos sistemas de proteção, considerando a bidirecionalidade permanente ou sazonal dos fluxos de correntes de carga e de curto-circuito decorrente dos sistemas distribuídos de geração.

Mobilidade Elétrica

Aborda as possibilidades de PD&I associadas ao planejamento e à preparação do setor de distribuição de energia elétrica brasileiro para a entrada de soluções de mobilidade elétrica, com o veículo elétrico atuando como carga ou fonte geradora num contexto de geração distribuída.

Geração Distribuída e Microrredes

Aborda as possibilidades de PD&I relativas às tecnologias, aos requisitos técnicos, aos impactos, à regulamentação e aos procedimentos de operação e controle associados à inserção de sistemas de Geração Distribuída (GD), microrredes e armazenamento nas redes de distribuição. São enfatizadas as ferramentas de análise de rede e modelagem e as técnicas de controle e operação desses sistemas, de modo a melhor representar os benefícios para a rede, considerando sua adoção em larga escala.

Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas

Aborda as possibilidades de PD&I referentes ao conjunto de estruturas e condutores utilizados para as redes de distribuição, aéreas ou subterrâneas, visando à melhoria dos níveis de segurança, à qualidade do produto e do serviço e à redução contínua dos custos praticados nas diversas fases de atuação de uma distribuidora.

Qualidade da Energia Elétrica

Aborda as possibilidades de PD&I sobre as análises, os parâmetros e indicadores que qualificam o relacionamento técnico e comercial das concessionárias com seus clientes, bem como suas estratégias de melhoria e técnicas de mitigação dos fenômenos que comprometem a qualidade da energia. São apresentados temas relacionados à qualidade do produto, à qualidade do serviço e à qualidade comercial.



5.2. Diagnóstico

5.2.1. Socioambiental

Há grande variabilidade no que diz respeito ao impacto ambiental de tecnologias associadas ao grupo temático. Foram avaliados os impactos em relação à poluição do ar, à poluição da água e à poluição sonora. Para as macrotemáticas Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e Mobilidade Elétrica, apontou-se que suas respectivas tecnologias podem melhorar a qualidade do ar. Já para Mobilidade Elétrica, um dos principais objetivos desta macrotemática é a criação de veículos com baixa ou nenhuma emissão de gases poluentes. Para as demais macrotemáticas, foi indicado que as tecnologias não causam impacto na qualidade do ar.

Em relação à poluição da água, apontou-se impacto positivo em relação à macrotemática Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Assim como no caso de poluição do ar, entende-se que o advento de novas soluções tecnológicas de gerenciamento trará benefícios em relação à poluição da água. Para as tecnologias referentes à Subestações e Equipamentos, foi apresentado baixo impacto neste fator devido à possibilidade de vazamento de óleo isolante de equipamentos, que pode entrar em contato com o lençol freático. As demais macrotemáticas possuem tecnologias que não impactam na qualidade da água.

Em relação à poluição sonora, Operação e Manutenção, Subestações e Equipamentos, Geração Distribuída e Microrredes e Qualidade da Energia Elétrica apresentaram baixo impacto neste quesito, pois possuem equipamentos que geram pequeno aumento no ruído do ambiente. Adicionalmente, Mobilidade Elétrica apresentou impacto positivo na poluição sonora, produzindo menos ruídos ao ambiente em relação ao tradicional veículo à combustão. Por fim, as tecnologias das demais macrotemáticas não impactam neste fator ambiental.

Em relação à dimensão social, no que tange à geração de empregos diretos e indiretos, os resultados por macrotemática indicam que, com a consolidação de tecnologias de REIs e geração distribuída nos sistemas de distribuição, algumas áreas vão demandar maior quantidade de profissionais.

Em relação à expectativa de remuneração dos empregos gerados, não há indício de geração de empregos com baixa remuneração.

Os resultados mostram que, para as macrotemáticas Medição Avançada e Operação e Manutenção, há expectativa de geração de empregos que demandem majoritariamente profissionais com nível de

titulação de graduação e/ou especialização. Para as demais macrotemáticas, há expectativa de que os empregos que serão gerados demandem majoritariamente profissionais com mestrado e/ou doutorado.

A Tabela 35 apresenta os resultados em relação aos indicadores de Dimensão Social do GT Distribuição de Energia Elétrica.

Tabela 35 - Indicadores de Dimensão Social do GT Distribuição de Energia Elétrica

	Geração de empregos	Remuneração	Qualificação
Medição Avançada	2	2	2
Automação da Rede	3	3	3
Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes	1	2	3
Segurança Cibernética	2	2	3
Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)	3	2	3
Operação e Manutenção	3	3	2
Subestações e Equipamentos	2	3	3
Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição	1	2	3
Mobilidade Elétrica	1	2	3
Geração Distribuída e Microrredes	3	2	3
Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas	2	2	3
Qualidade da Energia Elétrica	2	3	3

Legenda: Geração de Empregos: (1) Expectativa de baixa geração de empregos diretos e indiretos; (2) Expectativa de média geração de empregos diretos e indiretos; (3) Expectativa de alta geração de empregos diretos e indiretos. **Remuneração:** (1) Expectativa de geração de empregos de baixa remuneração; (2) Expectativa de geração de empregos de média remuneração; (3) Expectativa de geração de empregos de alta remuneração. **Qualificação:** (1) Expectativa de geração de empregos que demandem ensino médio e/ou curso técnico; (2) Expectativa de geração de empregos que demandem graduação e/ou especialização; (3) Expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado.

Fonte: Elaboração própria.



5.2.2. Dimensão de Mercado e Cadeia Produtiva

A Tabela 36 a seguir apresenta os valores atribuídos à Dimensão de Mercado do GT Distribuição de Energia Elétrica.

Tabela 36 - Indicadores de Dimensão Mercado do GT Distribuição de Energia Elétrica

	Demanda atual no Brasil	Demanda atual no mundo	Demanda futura no Brasil	Demanda futura no mundo	Marco regulatório do SEB
Medição Avançada	2	3	3	3	2
Automação da Rede	3	3	3	3	2
Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes	3	3	3	3	2
Segurança Cibernética	3	3	3	3	4
Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)	2	3	3	3	3
Operação e Manutenção	3	3	3	3	3
Subestações e Equipamentos	3	3	3	3	3
Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição	3	3	3	3	3
Mobilidade Elétrica	2	2	3	3	2
Geração Distribuída e Microrredes	2	3	3	3	2
Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas	3	3	3	3	3
Qualidade da Energia Elétrica	3	3	3	3	2

Legenda: Demanda atual/futura no Brasil/mundo: (1) Inexistente; (2) Baixa demanda; (3) Alta Demanda. Marco Regulatório do SEB: (1) Não favorável; (2) Pouco favorável; (3) Favorável; (4) Muito favorável.

Fonte: Elaboração própria.

Deve-se notar a baixa demanda atual, tanto no país quanto no mundo, de tecnologias envolvendo a macrotemática Mobilidade Elétrica. O mercado de veículos elétricos, principal tecnologia referente à macrotemática, ainda é muito incipiente quando comparado com o mercado de veículos à combustão. A pouca demanda que há são por veículos híbridos. No entanto diversas empresas do mercado de

automóveis têm declarado a intenção de renovar completamente a frota de veículos em um horizonte próximo, com a oferta exclusivamente de veículos elétricos.

O indicador de demanda atual pela tecnologia no mundo exibiu valores altos para todas as macrotemáticas do grupo temático, com exceção já citada da macrotemática Mobilidade Elétrica. Da mesma forma, esta pontuação caracteriza a existência de um mercado mundial já estabelecido para as tecnologias referentes a essas macrotemáticas. Em relação à demanda futura pela tecnologia, no Brasil e no mundo, há expectativa de um mercado estabelecido nos próximos 10 anos para as tecnologias associadas a todas macrotemáticas do grupo.

Avaliando os aspectos da regulação, foi indicado que o marco regulatório atual do SEB é bastante favorável ao desenvolvimento da macrotemática Segurança Cibernética. Em menor grau, favorece também o desenvolvimento das macrotemáticas Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), Operação e Manutenção, Subestações e Equipamentos, Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição e Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas. Para o restante das macrotemáticas, indica-se que o marco regulatório é pouco favorável para o desenvolvimento das mesmas.

A Tabela 37 indica as classificações dos indicadores de cadeia produtiva para as 12 macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica. As classificações de acordo com números são explicitadas na legenda da Tabela 37.

Ao comparar esses resultados com a análise dos projetos no âmbito do Programa de P&D regulado pela Aneel e na quantidade de patentes a nível mundial e nacional, percebe-se que essas três macrotemáticas também são as que se destacam nesses indicadores. Essa situação demonstra que o desenvolvimento da cadeia produtiva e sua estruturação são fundamentais para se atingir resultados expressivos em termos de produtos nacionais. Esses temas são mais tradicionais no contexto da distribuição de energia elétrica e a pesquisa e o desenvolvimento já vêm se consolidando ao longo do tempo, o que pode ter ajudado na apresentação de melhores resultados em termos de cadeia produtiva.



Tabela 37 - Indicadores de cadeia produtiva do GT Distribuição de Energia Elétrica

	Grau de estruturação	Acesso aos insumos	Itens manufaturados	Serviços técnicos	Dificuldade futura	Infraestrutura de logística	Sinergia	Normas	Regulações
Medição Avançada	3	2	3	2	3	2	2	3	3
Automação da Rede	3	3	2	2	3	2	2	3	3
Compartilhamento de Serviços	2	2	2	1	2	2	2	3	3
Segurança Cibernética	2	3	2	2	3	2	2	3	3
Tecnologia da Informação e Comunicação	3	2	2	1	2	2	1	3	2
Operação e Manutenção	3	3	2	3	3	2	2	3	3
Subestações e Equipamentos	4	3	3	3	4	2	3	3	3
Infraestrutura de PAC	3	3	3	2	3	2	3	3	3
Mobilidade Elétrica	2	2	2	2	3	2	2	3	3
Geração Distribuída e Microrredes	3	2	2	2	3	2	2	3	3
Redes de Distribuição	3	3	3	2	3	2	3	3	3
Qualidade da Energia Elétrica	3	3	2	2	3	2	3	3	3

Legenda: Grau de estruturação: (1) Grau de estruturação inexistente da cadeia produtiva nacional; (2) Grau de estruturação baixo da cadeia produtiva nacional; (3) Grau de estruturação médio da cadeia produtiva nacional; (4) Grau de estruturação alto da cadeia produtiva nacional. Acesso aos insumos: (1) Não há disponibilidade de insumos em território nacional para atender às necessidades atuais da cadeia produtiva; (2) Existe disponibilidade de insumos, mas seu acesso/obtenção é difícil; (3) Existe disponibilidade de insumos e seu acesso/obtenção é fácil. Itens manufaturados: (1) Baixa capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (2) Média capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (3) Média-alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (4) Alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional. Serviços técnicos: (1) Baixo nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (2) Médio nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (3) Alto nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional. Dificuldade futura: (1) Alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (2) Média-alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (3) Média-baixa dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (4) Baixa dificuldade para se estabelecer

uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro. Infraestrutura de logística: (1) Baixo nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; (2) Médio nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; (3) Alto nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva. Sinergia: (1) Não existem sinergias com outras cadeias produtivas nacionais, pois os insumos, os bens e os serviços são muito específicos à cadeia produtiva; (2) Existe sinergia com outras cadeias produtivas nacionais quer seja nos insumos utilizados ou nos bens e serviços ofertados, mas ainda há especificidades da cadeia que são relevantes e dificultam a sua sinergia com outras cadeias produtivas nacionais; (3) Existem sinergias relevantes com outras cadeias produtivas nacionais, pois os materiais, os bens e os serviços utilizados não são específicos à cadeia produtiva. Normas: (1) Baixa importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local. Regulações: (1) Baixa importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local.

Fonte: Elaboração própria.

5.2.3. Produção de CT&I

Produção Científica

O Gráfico 38 mostra a distribuição percentual da participação das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica na produção científica no Brasil e no mundo.

Pela comparação dos percentuais entre o Brasil e o mundo, claramente se observa que o tema da macrotemática Mobilidade Elétrica possui um percentual de contribuições em produção científica muito maior no mundo. Pode-se inferir, a partir dessa informação, que a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) relacionados aos veículos elétricos é muito mais forte em escala mundial e o Brasil ainda está muito incipiente nessa área.

Um destaque no Brasil é em relação aos temas tratados pela macrotemática Qualidade da Energia Elétrica, com contribuições percentuais de produção científica de 35,73%, enquanto no mundo fica em 26,97%.

Há alguns destaques pontuais na produção científica brasileira, em comparação ao mundo, nas macrotemáticas Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição, Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas e Subestações e Equipamentos.

Em escala mundial, há um destaque pontual na produção científica relacionada à macrotemática Segurança Cibernética.



De forma geral, infere-se que no Brasil os temas mais tradicionais possuem maior destaque, enquanto que, em escala mundial, temas relacionados a inovações tecnológicas e advento das novas tecnologias estão sendo os de maior interesse, considerando o período de 10 anos escolhido para análise (2007 a 2016).

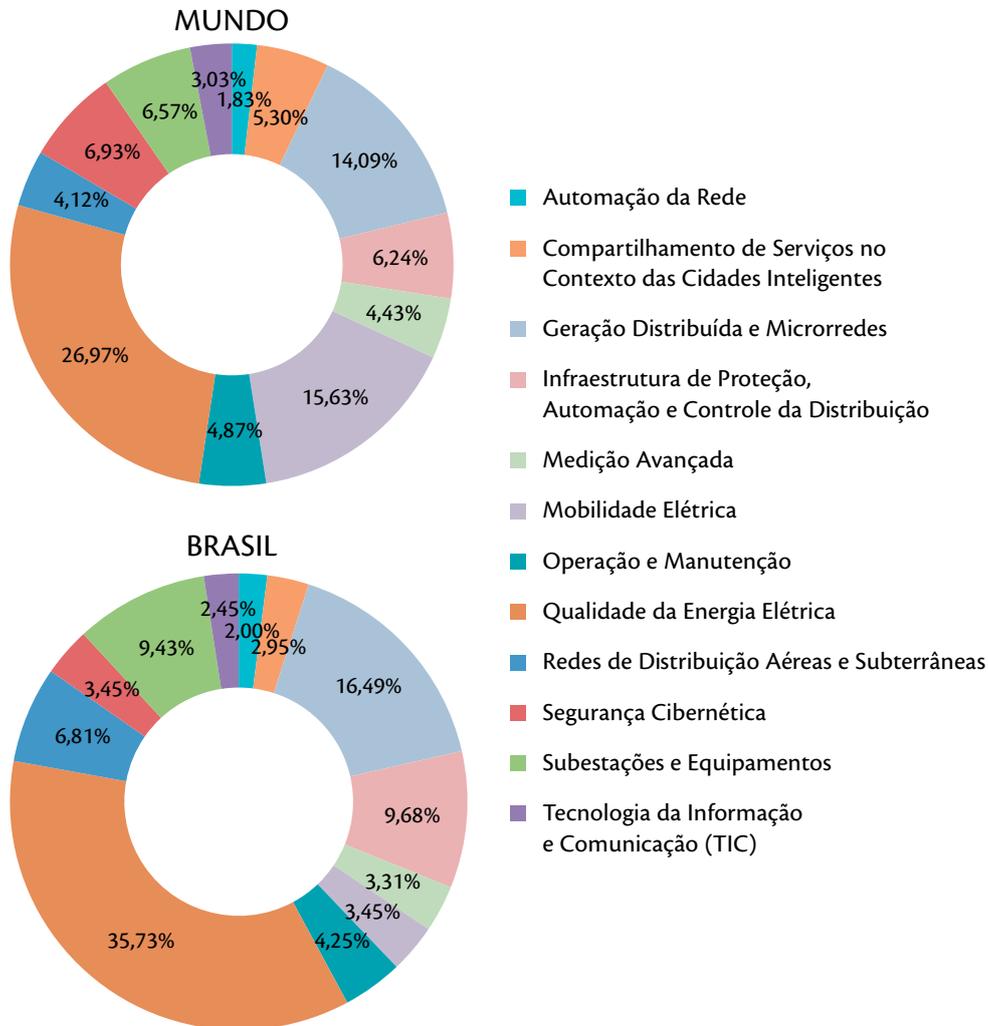


Gráfico 38 - Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 38 mostra os países com as melhores colocações no *ranking* em relação à produção científica mundial por macrotemática e apresenta a colocação do Brasil, de forma comparativa.

Os países Estados Unidos da América, China, Índia, Espanha e Coreia do Sul são os de maior destaque. A análise por macrotemática permite destacar países como Austrália, Reino Unido, Itália, Canadá, Taiwan, Alemanha e Irã.

Tabela 38 - Ranking, por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Distribuição de Energia Elétrica

	1°	2°	3°	4°	5°	Colocação Brasil
Medição Avançada	Estados Unidos	China	Espanha	Austrália	Coreia do Sul	14°
Automação da Rede	Estados Unidos	China	Coreia do Sul	Índia	Reino Unido	9°
Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes	China	Espanha	Estados Unidos	Itália	Coreia do Sul	16°
Segurança Cibernética	Estados Unidos	China	Taiwan	Coreia do Sul	Índia	17°
Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)	Estados Unidos	China	Coreia do Sul	Canadá	Espanha	13°
Operação e Manutenção	Estados Unidos	China	Inglaterra	Canadá	Itália	13°
Subestações e Equipamentos	Estados Unidos	China	Índia	Irã	Reino Unido	7°
Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição	Estados Unidos	China	Índia	Irã	Canadá	7°
Mobilidade Elétrica	China	Estados Unidos	Coreia do Sul	França	Alemanha	27°
Geração Distribuída e Microrredes	Estados Unidos	China	Irã	Espanha	Índia	8°
Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas	Estados Unidos	China	Itália	Canadá	Reino Unido	6°
Qualidade da Energia Elétrica	Estados Unidos	China	Índia	Espanha	Alemanha	10°

Fonte: Elaboração própria.

O Brasil fica em melhores colocações nas macrotemáticas Subestações e Equipamentos, Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas, Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição



e Geração Distribuída e Microrredes, mostrando que a nível mundial o Brasil destaca-se nessas áreas. O que pode explicar esta questão é que o país tem dimensões continentais e possui grande quantidade de sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, o que influencia e torna necessária a publicação de artigos científicos em maior quantidade nestas áreas, que são mais tradicionais e mais técnicas, apesar do indicador de que a entrada das novas tecnologias e da geração distribuída em larga escala vai provocar mudanças nos sistemas de distribuição e estas preocupações já estão se destacando.

Para entendimento do Gráfico 39, deve-se considerar que o *ranking* de 1 a 12, número total de macrotemáticas do grupo temático, está sendo considerado no eixo das ordenadas e os anos estão sendo considerados no eixo das abscissas. O gráfico mostra a evolução ao longo do período de 10 anos (2007 a 2016) das contribuições de publicação científica referentes aos temas das macrotemáticas a nível Brasil e a espessura das linhas apresenta as variações quanto ao volume de publicações.

Os temas relacionados às macrotemáticas Qualidade da Energia Elétrica, Geração Distribuída e Microrredes, Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição e Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes são os de maior destaque hoje no Brasil. Pode-se inferir desses resultados que questões como qualidade do produto e de serviços relacionados à energia elétrica, às novas tecnologias, à entrada cada vez maior de fontes intermitentes no Sistema Interligado Nacional (SIN), crescimento expressivo da geração distribuída, adequações e melhorias das infraestruturas das redes de distribuição de energia elétrica, com aumento da competitividade entre os atores envolvidos e confiabilidade dos sistemas e o advento das Redes Elétricas Inteligentes são os temas que estão gerando maior interesse em termos de produção científica no país hoje.

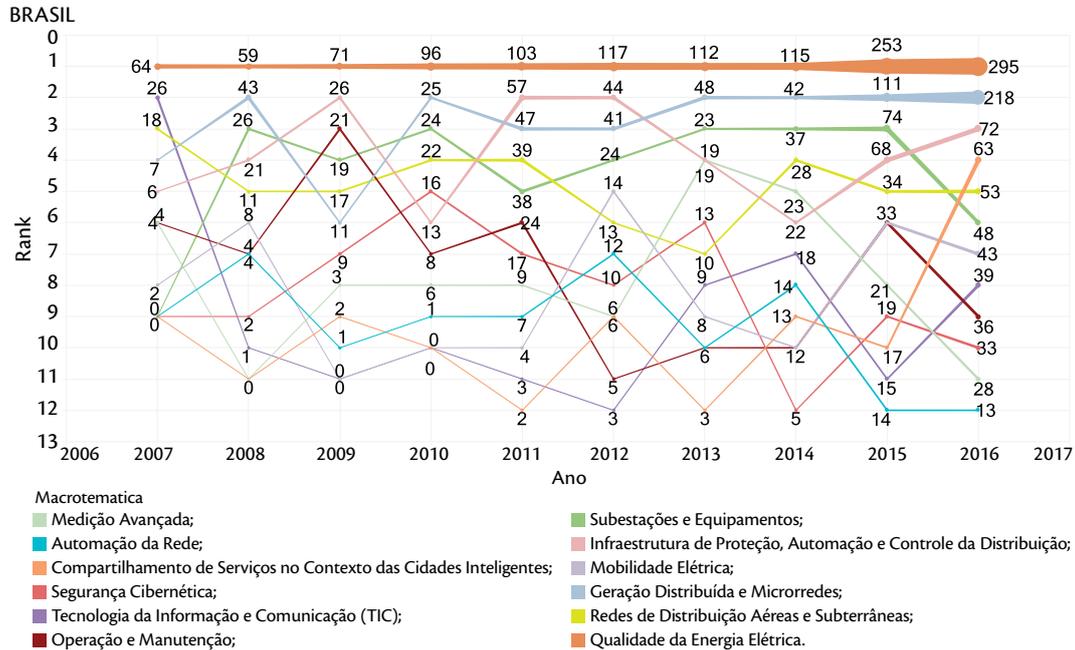


Gráfico 39 - Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Produção Complementar

A pesquisa e desenvolvimento de tecnologias não estão restritos aos centros de pesquisa especializados e aos laboratórios de instituições de ensino e pesquisa federais. A partir da Lei nº 9.991/2000, a P&D estendeu-se às responsabilidades das empresas do setor elétrico, com foco na evolução tecnológica dos parques de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Como consequência, os estudos se estenderam aos interesses da cadeia produtiva dedicada, ao setor elétrico. Nesse contexto, a caracterização da produção científica é apresentada em eventos, onde as empresas do setor elétrico nacional, as instituições de P&D e as empresas da cadeia produtiva têm a oportunidade de exporem os seus trabalhos e apresentarem as tendências tecnológicas. Conforme descrito na metodologia, os dados são relativos ao período compreendido entre 2007 e 2016 e dizem respeito ao Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citenel), ao Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Sendi), ao Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE) e



ao Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica (Sepope), principais eventos do setor elétrico nacional.

Os eventos abordados na produção intelectual complementar apresentam, de forma geral, um foco diferente da produção científica primária. Nesses seminários ou congressos, a participação de empresas do SEB é maior e há artigos que são estudos de caso dessas companhias ou resultados de programas de P&D. Nesse sentido, os assuntos que mais apresentam artigos publicados nos eventos nem sempre são os mesmos quando comparados à produção de artigos científicos, por exemplo.

O Gráfico 40 mostra a distribuição da participação das macrotemáticas do grupo temático na produção científica em eventos do SEB, onde se observam os percentuais que cada macrotemática possui em relação ao total e também os percentuais que cada evento possui de participação em relação ao total da produção, no período de 2007 a 2016.

O maior percentual de produção científica complementar referente ao GT Distribuição de Energia Elétrica foi apresentado nas edições do Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Sendi) (63,2%), o que é coerente, pois o evento é mais específico da área. Em seguida, as edições do evento Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE) contribuíram com 19,6%, pois o tema de distribuição de energia elétrica acaba sendo influenciado pela P&D e inovações nas áreas de geração e transmissão de energia elétrica. Em seguida, as edições do Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citenel) contribuíram com 14,9%. Para a área de distribuição de energia elétrica, o Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica (Sepope) não é um evento tradicional e o percentual de contribuição em todas suas edições de produção complementar para o grupo temático foi de 2,3%.

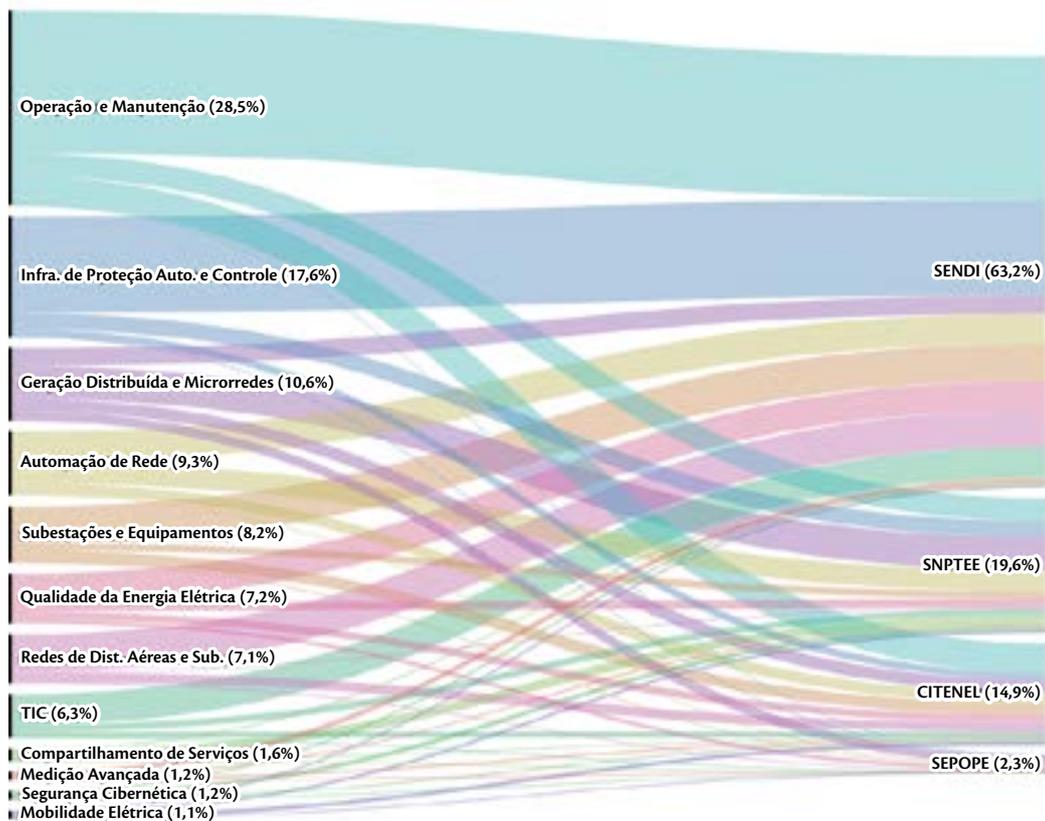


Gráfico 40 - Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Projetos Aneel

Conforme estabelecido no manual do programa de pesquisa e desenvolvimento regulado pela Aneel, os projetos elaborados pelas empresas do setor elétrico deverão, tal qual estabelece a Lei nº 9.991/2000, “estar pautados pela busca de inovações para fazer frente aos desafios tecnológicos e de mercado das empresas de energia elétrica. O projeto de P&D no setor de energia elétrica deve ser original e inovador. No entanto, diferentemente da pesquisa acadêmica pura que se caracteriza pela liberdade de investigação, deverá ter metas e resultados previstos”.



A realidade almejada nesse trecho não se reflete de fato nos resultados dos projetos de P&D regulados pela Aneel. O cumprimento da cadeia de inovação e a inserção de um produto original no mercado, ainda, não são uma realidade, conforme constatado no Gráfico 41.

A maioria dos projetos desenvolvidos no Programa de P&D regulado pela Aneel é finalizado enquanto pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental (ver Gráfico 41). Em várias macrotemáticas do grupo, as etapas cabeça de série e lote pioneiro foram alcançados, porém o percentual ainda é muito pequeno (entre 5% e 15%).

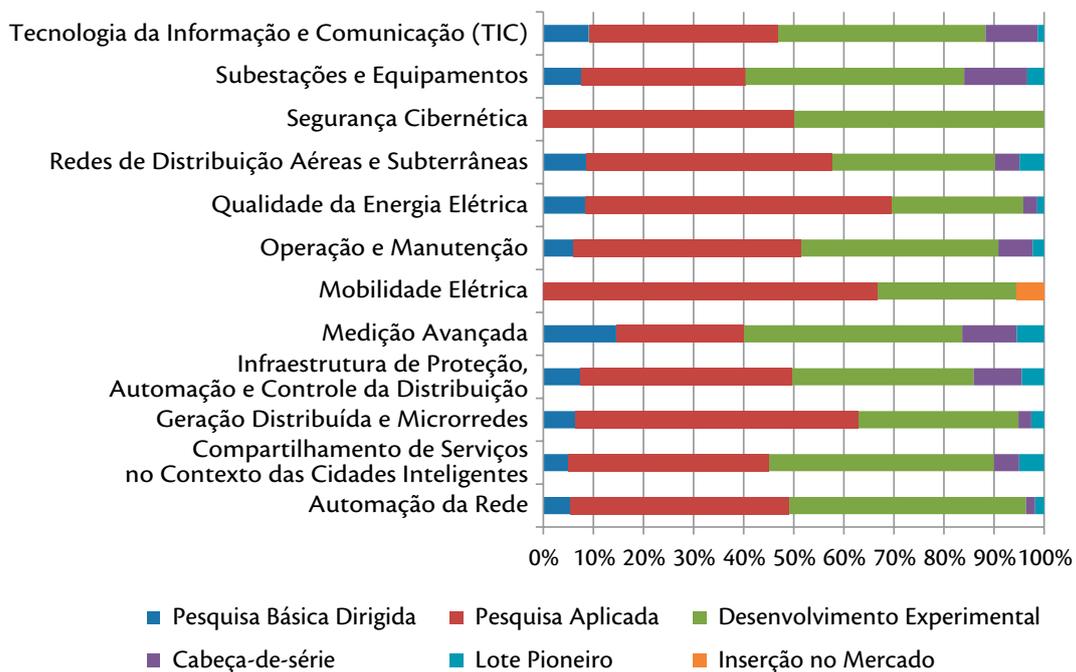


Gráfico 41 - Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 42 mostra a distribuição percentual dos projetos do Programa de P&D regulado pela Aneel nas macrotemáticas relativas ao GT Distribuição de Energia Elétrica.

Esses resultados mostram que o interesse dos pesquisadores que participaram do Programa de P&D regulado pela Aneel, ao longo do período de 2008 a 2016, foram em temas mais tradicionais, em relação às mudanças necessárias nas infraestruturas de distribuição de energia elétrica para entrada massiva

de fontes intermitentes, geração distribuída, entre outras, em busca da excelência da distribuição e da excelência comercial e de suporte.

A rede colaborativa dos pesquisadores que trabalharam ou trabalham com projetos no âmbito do Programa de P&D regulado pela Aneel que são relacionados aos temas das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica foi identificada com o uso do *software Gephi*. Foram identificados cinco clusters principais, que tratam dos seguintes assuntos: Eletrônica de potência, controle e qualidade da energia elétrica, planejamento energético com utilização de inteligência artificial, comunicação de rede e telecomunicações, técnicas de alta tensão e proteção elétrica e caracterização de materiais e avaliação de desempenho estrutural, aplicados a sistemas de distribuição de energia elétrica.

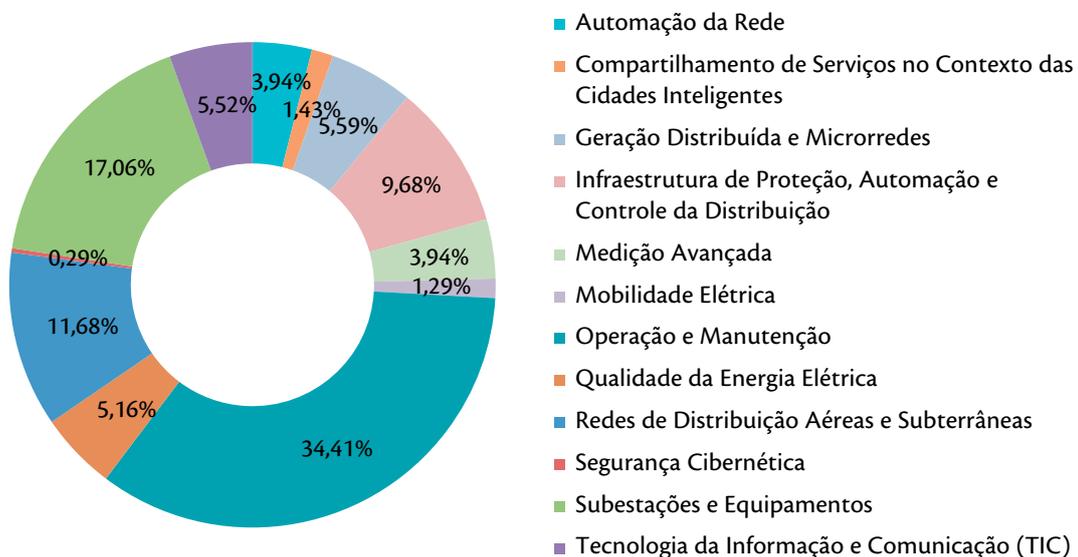


Gráfico 42 - Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.



Patentes

Quando se compara o Gráfico 43 e o Gráfico 44, verifica-se a semelhança quanto à proporção nas atividades de patenteamento ao redor do mundo e Brasil no que se refere às macrotemáticas. Por exemplo, verificam-se que a maior parte das patentes para distribuição é depositada em invenções relacionadas às macrotemáticas Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição; em segundo lugar, para Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas. Estes comportamentos repetem-se tanto ao redor do mundo como no Brasil, mostrando o claro alinhamento entre ambas as esferas e integração da cadeia tecnológica.

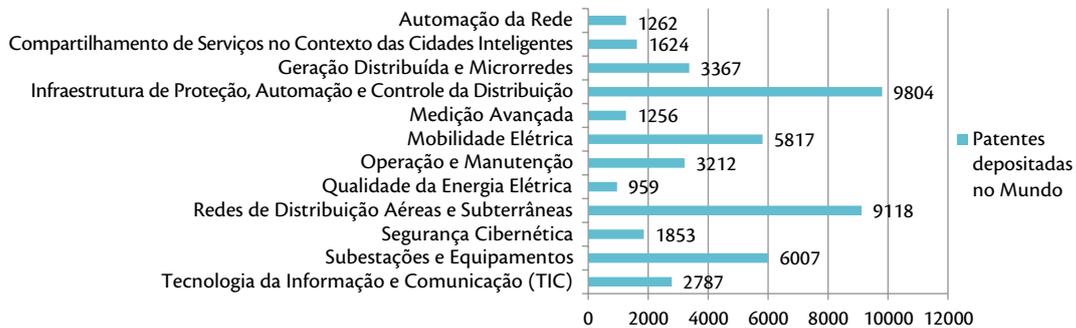


Gráfico 43 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Por outro lado, é possível verificar, também, algumas disparidades, como no caso da mobilidade elétrica, cujas patentes no Brasil são ínfimas se comparadas ao âmbito internacional.

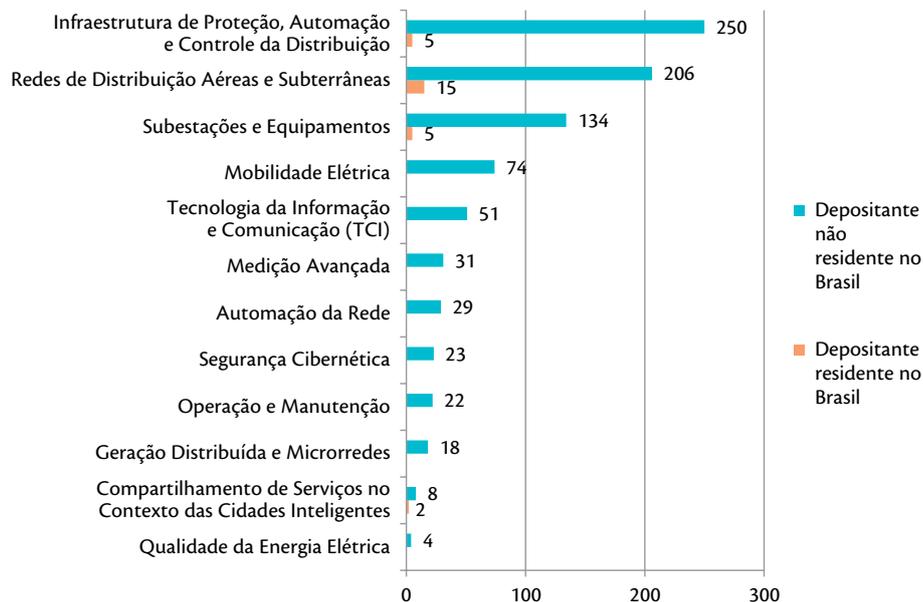


Gráfico 44 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

5.2.4. Estrutura de CT&I

Recursos Humanos

Para identificação e classificação dos profissionais do SEB nas macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica, foram realizadas buscas na base de dados de currículos *Lattes*, utilizando-se palavras-chave inerentes aos temas tratados em cada uma delas.

A Figura 8 apresenta a distribuição dos recursos humanos do GT Distribuição de Energia Elétrica no território nacional, separados por Unidade da Federação (UFs). Nota-se que não há uniformidade na distribuição desses colaboradores nos estados.

As atividades de PD&I na área de distribuição de energia elétrica dependem basicamente da massa crítica dos recursos humanos, de suas competências analíticas e de tecnologias da informação e computacionais e de fatores geograficamente determinados, como potencialidades locais de recursos



naturais, ou da existência de grandes centros tecnológicos com infraestrutura de equipamentos e laboratórios. Nesse sentido, a localização geográfica de profissionais trabalhando nessas áreas do conhecimento influencia bastante, conforme visto que as regiões Sudeste e Sul se sobressaem em relação às outras.

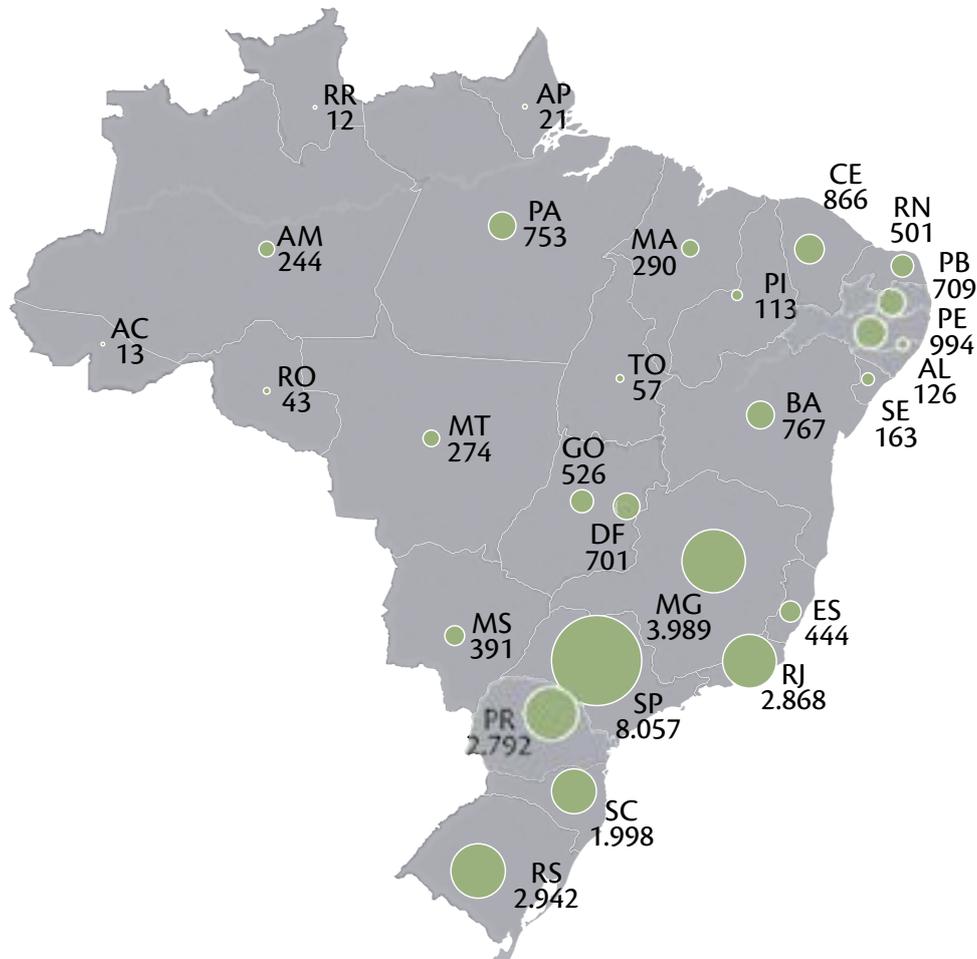


Figura 8 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 45 mostra a distribuição de recursos humanos por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica.

Dentre todos os currículos baixados para o grupo, as macrotemáticas que apresentaram maior número de profissionais são relacionadas a temas que indicam a preocupação atual dos profissionais de distribuição de energia elétrica quanto à adequação das funcionalidades dos sistemas de operação e manutenção para atender às maiores exigências ambientais e às novas demandas do setor elétrico, a necessidade de desenvolvimento de metodologias e algoritmos que contribuam para mitigar o impacto de distúrbios da qualidade da energia elétrica e para o aumento da capacidade de supervisão, monitoração e atuação remota das redes de distribuição. Além disso, a maior concentração de RH nessas macrotemáticas indica a preocupação com a inserção/desenvolvimento de novas tecnologias, tais como medição inteligente, geração distribuída, microrredes, monitoração *on-line* da qualidade do serviço, sensoriamento de dispositivos inteligentes (Internet das Coisas), segurança da informação, processamento de grande volume de dados, entre outras.

Já as macrotemáticas que apresentaram menor número de profissionais estão relacionadas a temas que abarcam as REIs, os veículos híbridos, os veículos elétricos, a interoperabilidade entre sistemas de distribuição e o conceito de cidades inteligentes, que ainda não estão sendo implementados de forma massiva no país e a P&D nestas áreas deve aumentar de forma expressiva nos próximos anos.

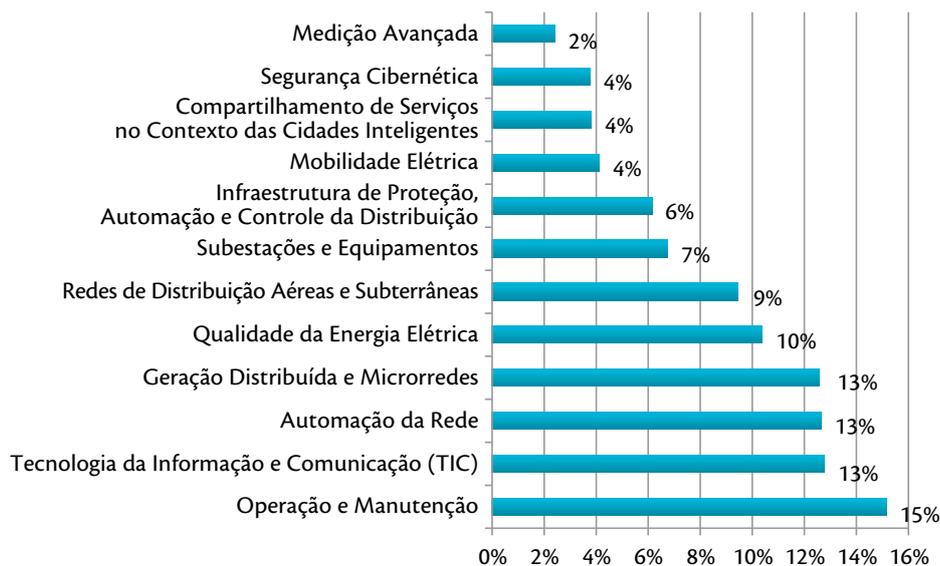


Gráfico 45 - Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 46 mostra o percentual acumulado de profissionais por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica para cada estado do país.



Vê-se destaque para as macrotemáticas Automação da Rede, Geração Distribuída e Microrredes, Operação e Manutenção, Qualidade da Energia Elétrica, Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas e Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), com percentuais maiores da distribuição dos recursos humanos por macrotemática nos estados do país.

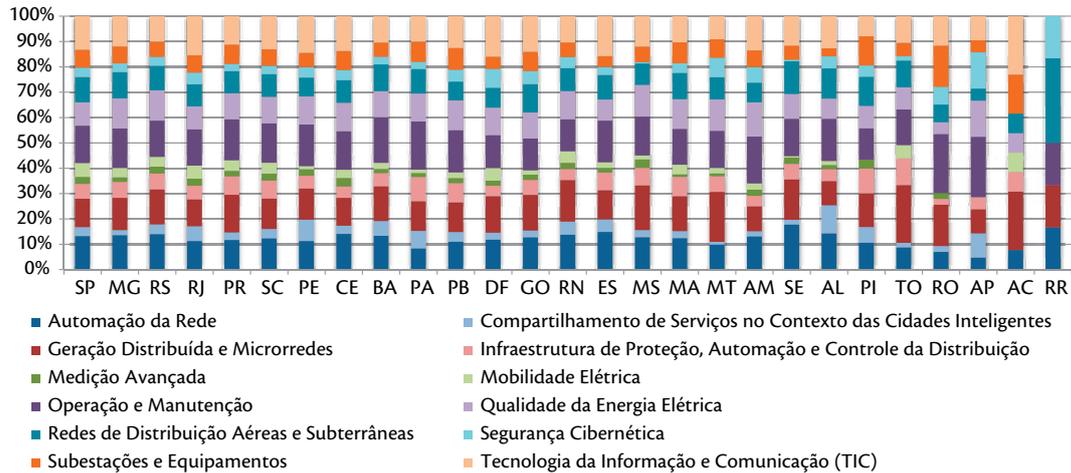


Gráfico 46 - Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Redes Colaborativas

Para estruturar as redes colaborativas do GT Distribuição de Energia Elétrica, foi utilizada a base de dados de currículos *Lattes* que traz informações relevantes sobre a cadeia de CT&I do Brasil. É possível, por exemplo, observar as coautorias entre os profissionais e as palavras-chave mais utilizadas na rede. A análise de rede tem por objetivo modelar as relações entre os atores, a fim de retratar, descrever e representar a estrutura de um grupo.

Na análise dos *clusters* principais identificados nas redes colaborativas das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica, foram considerados o número de nós e as palavras-chave abordadas. Destaca-se que o algoritmo utilizado pelo *software* Gephi, utilizado para organização das redes colaborativas, para apresentação e organização dos *clusters* tem por influência as forças de atração de similaridade semântica e coautoria entre eles. Os nós apresentados à região marginal dos *clusters* identificados nas redes colaborativas das diferentes macrotemáticas do grupo foram assim dispostos pelo algoritmo por apresentarem pouca ou

nenhuma interação com os demais (relações de similaridade semântica e coautoria). Não obstante, eles não foram desconsiderados na análise, pois abordam tópicos relevantes ao tema.

As relações de coautoria e similaridade semântica nas redes colaborativas das macrotemáticas têm como parâmetro de análise o grau médio²⁸.

A seguir, é apresentada uma análise das redes colaborativas do GT Distribuição de Energia Elétrica, considerando uma visão do relacionamento entre os atores da CT&I no que diz respeito à similaridade dos assuntos tratados nesse âmbito e ao nível de relacionamento entre os respectivos entes (coautorias). A análise, portanto, foi realizada para cada macrotemática, tal qual realizado para Operação e Manutenção, conforme Figura 9.

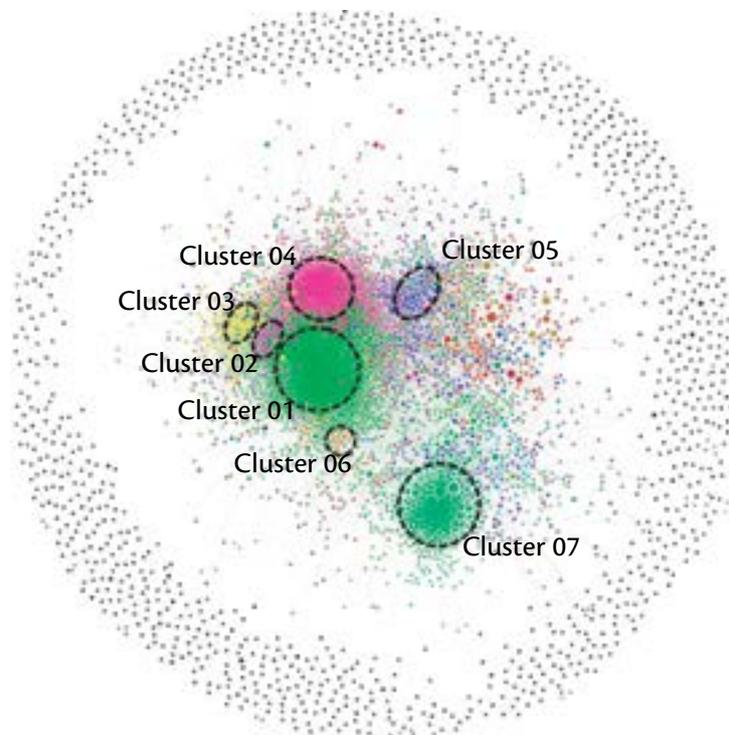


Figura 9 - Identificação dos clusters da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Operação e Manutenção

Fonte: Elaboração própria.

²⁸ O grau médio é a relação de número de arestas (número de relações de coautoria ou de similaridade semântica) dividido pelo número de nós (pesquisadores) em cada rede colaborativa e o resultado multiplicado por dois, pois há relação de reciprocidade entre pesquisadores.



A macrotemática Operação e Manutenção apresentou sete *clusters* principais de recursos humanos, considerando a similaridade de assuntos tratados nesse âmbito. Verifica-se que os clusters 01, 02, 03, 04, 05 e 06 estão intimamente ligados entre si, mostrando que os assuntos relacionados a eles estão, de certa forma, correlacionados. O *cluster* 07, por outro lado, encontra-se mais afastado dos demais, indicando se referir a outra área do conhecimento relacionada ao tema da macrotemática. Assuntos relacionados à inteligência artificial e técnicas de decisão e planejamento para a operação e manutenção de sistemas de distribuição de energia elétrica são os mais tratados pelos pesquisadores na rede.

A caracterização dos *clusters* por temas e áreas do conhecimento, com base nas palavras-chave identificadas, é feita na Tabela 39 e na Tabela 45.

Tabela 39 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Operação e Manutenção

<p><i>Cluster</i> 01 Inteligência artificial para operação e manutenção de sistemas de distribuição de energia elétrica</p>	<p><i>Cluster</i> 02 Aterramento, proteção e técnicas de alta tensão na operação e manutenção de sistemas de distribuição de energia elétrica</p>	<p><i>Cluster</i> 03 Redes e sensoriamento aplicados à operação e manutenção de sistemas de distribuição de energia elétrica</p>	<p><i>Cluster</i> 04 Eletrônica de potência, qualidade de energia e eficiência energética aplicadas à operação e manutenção de sistemas de distribuição de energia elétrica</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Redes neurais artificiais. 2. Otimização. 3. Confiabilidade. 4. Redes neurais. 5. Distribuição de energia elétrica. 6. Inteligência artificial. 7. Operação de sistemas de distribuição. 8. Processamento de sinais. 9. Qualidade de energia. 10. Manutenção. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Descargas atmosféricas. 2. Transitórios eletromagnéticos. 3. Aterramento. 4. Para-raios. 5. Técnicas de alta tensão. 6. Coordenação de isolamento. 7. Eficiência energética. 8. Linhas de distribuição. 9. Operação de sistemas de potência em tempo real. 10. Manutenção. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Redes de computadores. 2. Segurança. 3. Qualidade de serviço. 4. Redes sem fio. 5. Redes de sensores. 6. Redes ad hoc. 7. Middleware. 8. Gerência e operação de redes. 9. Sistemas distribuídos. 10. Engenharia de software. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eletrônica de potência. 2. Qualidade de energia. 3. Controle. 4. Eficiência energética. 5. Controle digital. 6. Geração distribuída. 7. Sistemas SCADA. 8. Engenharia elétrica. 9. Chaveamento. 10. Manutenção.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 40 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Operação e Manutenção (continuação)

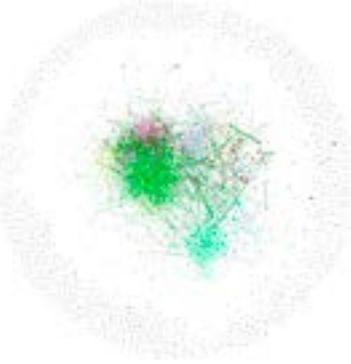
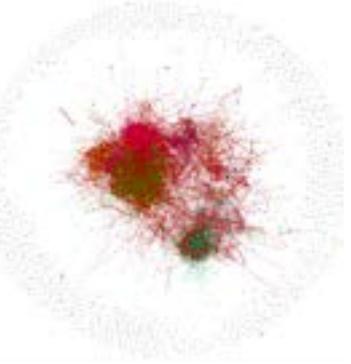
<p><i>Cluster 05</i> Operação e manutenção dos sistemas de distribuição de energia elétrica considerando as energias renováveis e geração distribuída</p>	<p><i>Cluster 06</i> Gestão da operação e manutenção nos sistemas de distribuição de energia elétrica</p>	<p><i>Cluster 07</i> Técnicas de decisão e planejamento da operação e manutenção nos sistemas de distribuição de energia elétrica</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Energia solar fotovoltaica. 2. Energias renováveis. 3. Energia eólica. 4. Eletrificação rural. 5. Conservação de energia elétrica. 6. Bombeamento de água. 7. Engenharia elétrica. 8. Manutenção preditiva. 9. Manutenção preventiva. 10. Geração e distribuição de energia elétrica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestão do conhecimento. 2. Ergonomia. 3. Sustentabilidade. 4. Gestão da qualidade. 5. Planejamento estratégico. 6. Custos. 7. Redes de cooperação. 8. Estratégia de produção e operação. 9. Gestão da manutenção. 10. Manutenção centrada em confiabilidade. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Decisão multicritério. 2. Pesquisa operacional. 3. Sistemas de distribuição. 4. Fator de incerteza. 5. Gerenciamento de carga. 6. Manutenção. 7. Sistemas de fornecimento de energia elétrica. 8. Planejamento e operação. 9. Confiabilidade. 10. Gerenciamento de riscos.

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do grau médio considerando a similaridade semântica e a coautoria nas redes colaborativas de cada macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica são apresentados na Tabela 41.



Tabela 41 - Apresentação das relações e resultados do grau médio de similaridade semântica e coautoria para a rede colaborativa da macrotemática Operação e Manutenção.

	Grau médio de coautoria	Coautoria	Grau médio de similaridade semântica	Similaridade semântica
Operação e Manutenção	0,943		11,733	

Fonte: Elaboração própria.

Para a análise dos resultados, definiram-se valores altos, médios e baixos de grau médio em relação ao contexto geral do grupo temático, ou seja, considerando os resultados e as comparações entre as 12 macrotemáticas.

A macrotemática Operação e Manutenção apresentou valores mais altos de grau médio de coautoria e de similaridade semântica em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.

Com base nas configurações de rede de cada uma das respectivas macrotemáticas, apresentam-se algumas considerações para as outras macrotemáticas:

- Na rede colaborativa da macrotemática Medição Avançada, há seis *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores clusters (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: eletrônica de potência, processamento de sinais, algoritmos e metodologias de otimização e tratamento de dados aplicados à medição avançada e para desenvolvimento de medidores inteligentes aplicados nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores mais baixos de grau médio de coautoria e

similaridade semântica em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.

- Na rede colaborativa da macrotemática Automação da Rede, há cinco *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: algoritmos e metodologias de otimização e tratamento de dados e eficiência energética aplicados à automação da rede nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores mais altos de grau médio de coautoria e de similaridade semântica em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes, há cinco *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: infraestrutura de redes exigida para desenvolvimento do compartilhamento de serviços nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores mais baixos de grau médio de coautoria e similaridade semântica em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Segurança Cibernética, há sete *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: inteligência artificial, qualidade da energia, tecnologia da informação, gestão do conhecimento, inovação e sustentabilidade aplicados à segurança cibernética nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores mais baixos de grau médio de coautoria e similaridade semântica em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), há 11 *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: inteligência artificial, qualidade da energia, gestão do conhecimento, inovação e sustentabilidade aplicados à tecnologia da informação e comunicação nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores médios de grau médio de coautoria, porém valores mais altos de grau médio de similaridade semântica, em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Subestações e Equipamentos, há sete *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: eletrônica de potência, qualidade da energia, inteligência artificial e algoritmos aplicados a subestações e equipamentos nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores mais altos de grau médio de



coautoria, porém valores médios de grau médio de similaridade semântica, em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.

- Na rede colaborativa da macrotemática Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição, há seis *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: algoritmos, inteligência artificial, eletrônica de potência e qualidade da energia aplicados à proteção, à automação e ao controle nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores médios de grau médio de coautoria e de similaridade semântica, em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Mobilidade Elétrica, há sete *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: eletrônica de potência e otimização aplicados à mobilidade elétrica nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores médios de grau médio de coautoria e de similaridade semântica, em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Geração Distribuída e Microrredes, há sete *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: inteligência artificial aplicada à geração distribuída e às microrredes nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores médios de grau médio de coautoria, porém valores mais altos de grau médio de similaridade semântica, em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas, há sete *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: inteligência artificial, eletrônica de potência e qualidade da energia, aplicados ao planejamento da expansão de redes aéreas e subterrâneas nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores mais altos de grau médio de coautoria, porém valores médios de grau médio de similaridade semântica, em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.
- Na rede colaborativa da macrotemática Qualidade da Energia Elétrica, há oito *clusters* principais de recursos humanos. Os temas que os maiores *clusters* (em termos de quantidade de recursos humanos) trabalham são: inteligência artificial, eletrônica de potência, gestão da qualidade e inovação, aplicados à qualidade da energia elétrica nos sistemas de distribuição de energia elétrica. A rede colaborativa apresenta valores mais altos de grau médio de coautoria e de similaridade semântica, em relação aos resultados obtidos para as 12 macrotemáticas do grupo temático.

Infraestrutura de CT&I

O Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP) da plataforma *Lattes* é utilizado como base de classificação dos laboratórios referentes às macrotemáticas do grupo temático. As instituições são laboratórios ou centros de pesquisa classificadas como do setor de energia elétrica.

O Gráfico 47 apresenta o percentual de laboratórios por macrotemáticas do grupo temático. Nesses laboratórios, destaca-se a macrotemática *Medição Avançada*, mostrando o interesse do país na implantação das Redes Elétricas Inteligentes com utilização de medidores inteligentes. Na sequência, destacam-se as macrotemáticas *Geração Distribuída e Microrredes*, *Operação e Manutenção*, *Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas* e *Qualidade da Energia Elétrica*. Esses temas trabalhados em paralelo são muito importantes para implantação das mudanças e inserção no mercado das inovações nos sistemas de distribuição de energia elétrica, garantindo a confiabilidade, a qualidade do produto e do serviço e a excelência comercial e de suporte. Os temas de *Medição Avançada* e *Geração Distribuída* são mais atuais, mas o impacto dessas tecnologias nos sistemas de distribuição de energia elétrica exige mudanças e pesquisa em temas mais tradicionais trabalhados nas macrotemáticas supracitadas.

É interessante notar que as macrotemáticas que possuem menor número de instituições ligadas à pesquisa são as que estão em maior ascendência no contexto mundial, mas, no Brasil, ainda estão muito incipientes e necessitando de maiores investimentos e garantias de que as inovações poderão ser inseridas no mercado em curto e médio prazo.

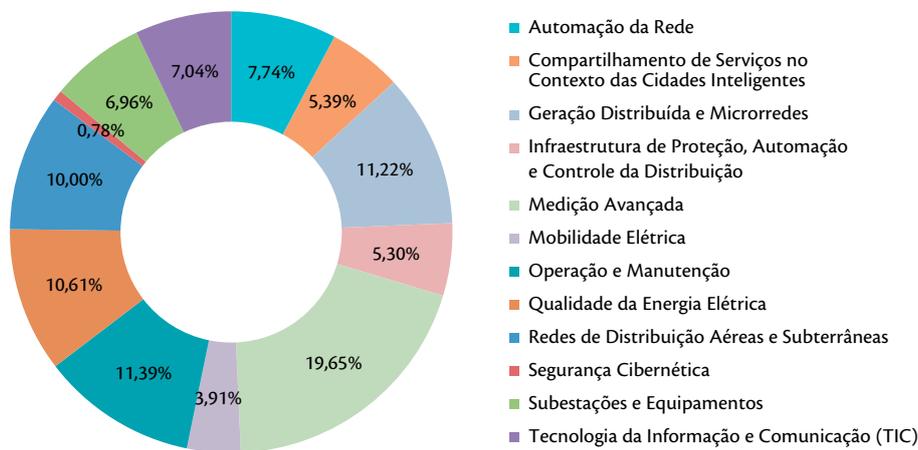


Gráfico 47 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.



O Gráfico 48 apresenta a distribuição percentual da capacidade dos laboratórios que foram classificados para as 12 macrotemáticas do grupo temático, em termos de cadeia de inovação. As classificações foram feitas a partir de uma pesquisa de campo.

É interessante notar que, com exceção da macrotemática Subestações e Equipamentos, todas as outras possuem laboratórios que têm a capacidade de inserção de produtos no mercado. Também se nota que, para quase todas as macrotemáticas, as etapas de pesquisa básica dirigida e pesquisa aplicada podem ser desenvolvidas, de forma geral, em aproximadamente 50% dos laboratórios, com a maior discrepância em relação a esse valor para a macrotemática Segurança Cibernética, que apresenta maior percentual de laboratórios que podem desenvolver outras etapas mais avançadas da cadeia de inovação.

De forma geral, as macrotemáticas apresentaram distribuições percentuais em relação às etapas da cadeia de inovação parecidas, mais uniformes, com exceção da macrotemática Segurança Cibernética. Pode-se inferir da análise que os laboratórios do setor de energia elétrica referentes ao tema de distribuição de energia elétrica têm buscado desenvolver a PD&I com o intuito de alcançar etapas mais avançadas da cadeia de inovação e produtos de inovação na cadeia produtiva nacional.

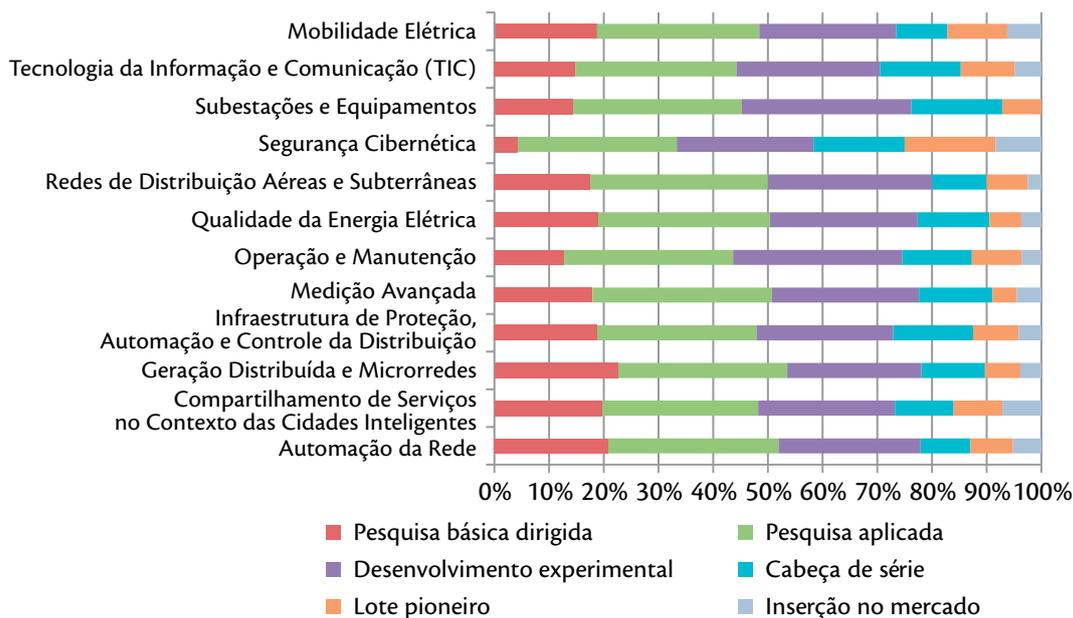


Gráfico 48 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu

Apesar de haver grande número de Programas de Pós-Graduação (PPGs) contabilizados no grupo, há grande variabilidade de PPGs quando analisados por macrotemática. O Gráfico 49 apresenta essas quantidades. É importante salientar que um mesmo PPG pode ser associado a mais de uma macrotemática, portanto contabilizado mais de uma vez para essa análise. Dessa forma, a soma das quantidades apresentadas a seguir é maior que o número total de PPGs do grupo.

A distribuição de PPGs no país varia significativamente de acordo com cada macrotemática analisada no grupo temático. Nesse intuito, a Tabela 42 ordena as cinco UFs com maior número de programas para cada macrotemática, além de apresentar a proporção que cada UF listada representa do total de PPGs associados a cada macrotemática.

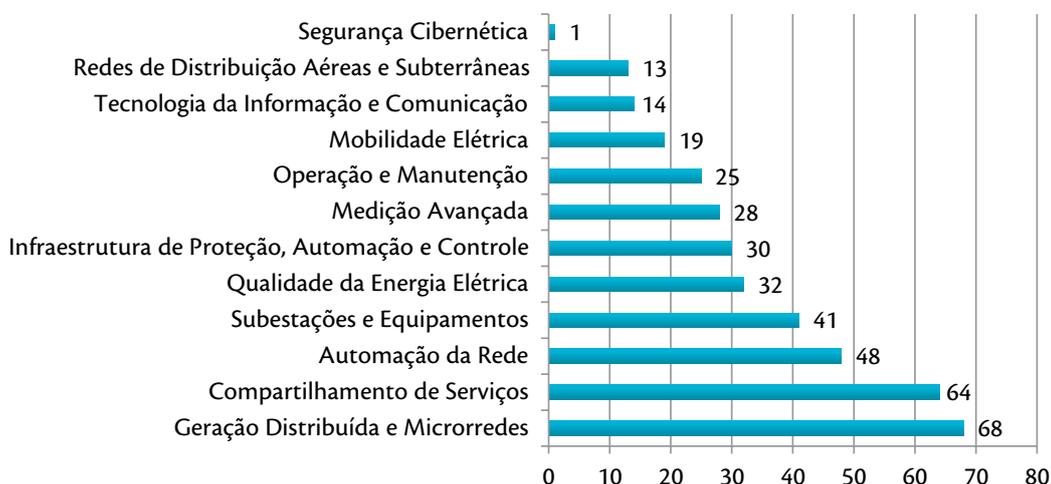


Gráfico 49 - Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 42 - Ranking das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica (%)

	1º	2º	3º	4º	5º
Medição Avançada	SC (21)	SP (18)	MG (11)	PB (11)	PE (11)
Automação da Rede	RS (15)	SP (15)	MG (13)	PB (10)	RJ (8)
Compartilhamento de Serviços	RJ (22)	SP (19)	BA (9)	MG (9)	RS (9)
Segurança Cibernética	RS (100)				
Tecnologia da Informação e Comunicação	SP (29)	RJ (14)	CE (7)	MG (7)	PB (7)
Operação e Manutenção	MG (16)	PB (16)	PR (16)	RS (12)	SP (8)
Subestações e Equipamentos	MG (20)	RS (17)	SC (17)	SP (12)	PE (7)
Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle	RS (17)	MG (13)	RJ (13)	SP (10)	PB (7)
Mobilidade Elétrica	SC (26)	SP (26)	GO (11)	RJ (11)	RS (11)
Geração Distribuída e Microrredes	SP (24)	MG (16)	PR (16)	RS (9)	PB (7)
Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas	MG (46)	SP (23)	RS (15)	PA (8)	PR (8)
Qualidade da Energia Elétrica	MG (19)	SP (16)	RS (13)	PR (9)	RN (3)

Fonte: Elaboração própria.

Como esperado, os estados da região Sudeste e Sul detêm proporção significativa de boa parte dos PPGs associados a cada macrotemática. No entanto alguns estados da região Nordeste destacam-se, como os estados da Paraíba e Pernambuco.

O Gráfico 50 apresenta a quantidade de instituições por categoria e por macrotemática que financiaram projetos de pesquisas realizados nos PPGs contabilizados. Vale ressaltar que os valores apresentados por categorias não somam a mesma quantidade que a soma dos valores apresentados por macrotemática. Isso se deve ao fato de que uma mesma instituição financiadora pode estar associada a mais de uma macrotemática se a mesma estiver financiando projetos em macrotemáticas diferentes. Portanto, a soma dos valores por macrotemática é maior que a soma dos valores por categoria.

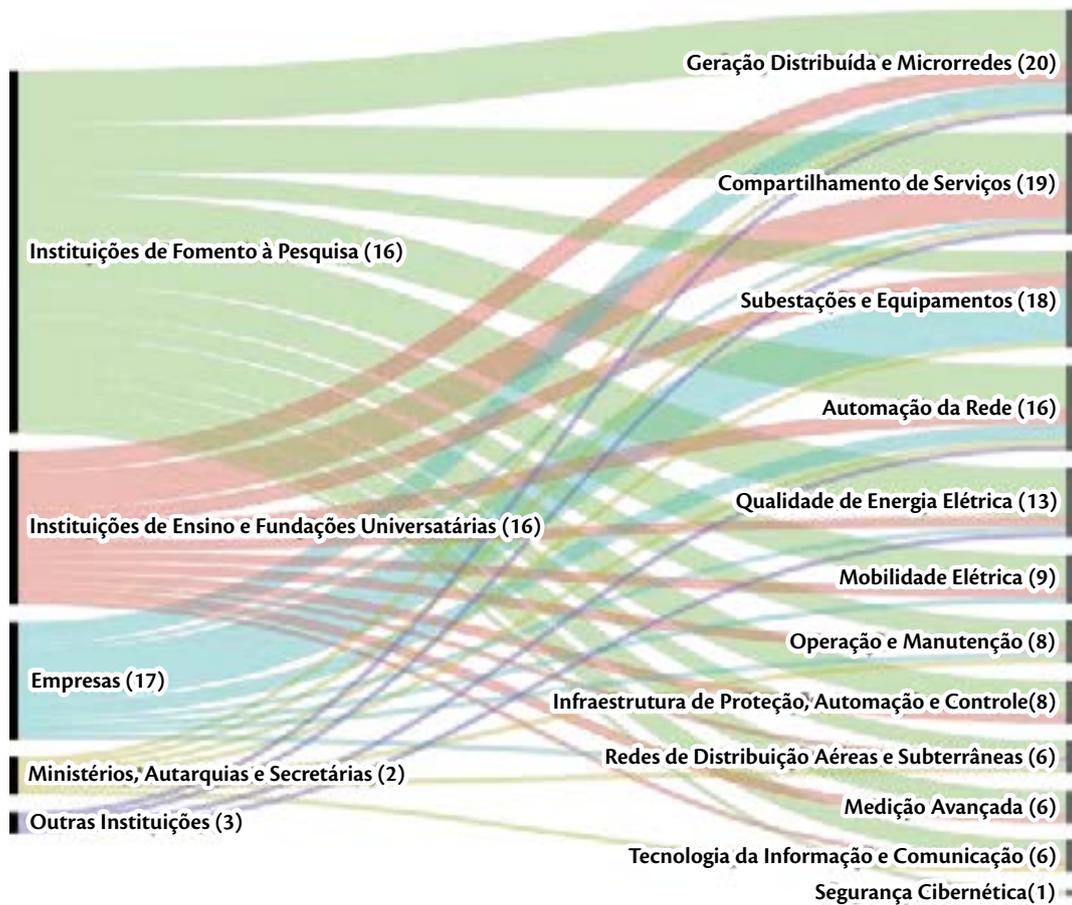


Gráfico 50 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica

Fonte: Elaboração própria.

As instituições financiadoras somam um total de 54 instituições, das mais variadas categorias. Como é de se esperar, as instituições de fomento à pesquisa, constituídas por CNPq, Capes, Finep e as FAPs estaduais, são as que mais financiam projetos nas macrotemáticas no grupo. Ainda que haja um menor número de distintas instituições dessa natureza do que instituições de ensino e fundações universitárias, estas financiam projetos em menos macrotemáticas.



Mecanismos de Fomento

Conforme descrito na metodologia, nesta seção, faz-se uma análise acerca de projetos de P&D relativos ao GT Distribuição de Energia Elétrica financiados por quatro distintas agências de fomento: Aneel, CNPq, Finep e BNDES Funtec. É importante ressaltar que os projetos analisados do CNPq e Finep são apenas aqueles cujos recursos foram oriundos do FNDCT. Além disso, os dados obtidos de projetos da Aneel são aqueles cujo data de início compreende-se entre os anos de 2008 e 2016, enquanto os dos projetos do CNPq e Finep estão entre 2007 e 2015.

A Tabela 43 apresenta as principais estatísticas descritivas dos projetos analisados por cada agência de fomento no período de 2007 a 2016.

Tabela 43 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Distribuição de Energia Elétrica por agência de fomento – 2007-2016

	Aneel	CNPq	Finep	BNDES Funtec
Quantidade de projetos	1050	168	57	4
Valor total dos projetos (R\$ mil)	3.342.277,93	30.748,99	180.650,90	41.246,25
Valor médio (R\$ mil)	3.183,12	183,03	3.169,31	10.311,56
Valor mínimo (R\$ mil)	21,26	6,04	148,88	5.950,50
Quartil inferior dos valores (R\$ mil)	1.075,50	27,14	781,62	6.616,86
Mediana dos valores (R\$ mil)	1.683,48	65,49	1.576,43	7.924,36
Quartil superior dos valores (R\$ mil)	3.008,24	301,04	3.319,66	11.619,06
Valor máximo (R\$ mil)	121.966,89	1.764,99	28.342,31	19.447,03

Obs.: valores atualizados pelo IPCA em 31 dez. 2016.

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se um montante expressivo de investimento em projetos relativos ao grupo temático no período considerado. O valor total dos projetos no âmbito do Programa de P&D regulado pela Aneel superou o montante de R\$3,34 bilhões em valor corrente.

Os valores dos projetos financiados pelo CNPq são, naturalmente, baixos quando comparados aos dos projetos das outras agências de fomento. Por sua vez, há menor quantidade de projetos financiados pela Finep em comparação com o CNPq, porém projetos com valores consideravelmente maiores. O valor médio dos projetos financiados pela Finep é quase seis vezes maior que o valor médio dos projetos financiados pelo CNPq. Destaca-se que há uma proporção consideravelmente maior de projetos desenvolvidos por empresas, por meio do instrumento de subvenção econômica, financiados pela Finep do que pelo CNPq. Este se caracteriza por financiar projetos quase que, exclusivamente, demandados por universidades e/ou ICTs.

Finalmente, nota-se que o BNDES Funtec apoiou poucos projetos em relação ao grupo no período. No entanto os projetos têm um valor médio muito alto se comparado com o valor médio dos projetos financiados pelas outras agências de fomento. Esse valor é mais que o triplo do valor médio dos projetos financiados pela Aneel.

Ao considerar os projetos das quatro agências de fomento, têm, no Gráfico 51, as proporções entre valores investidos por cada agência em cada macrotemática.

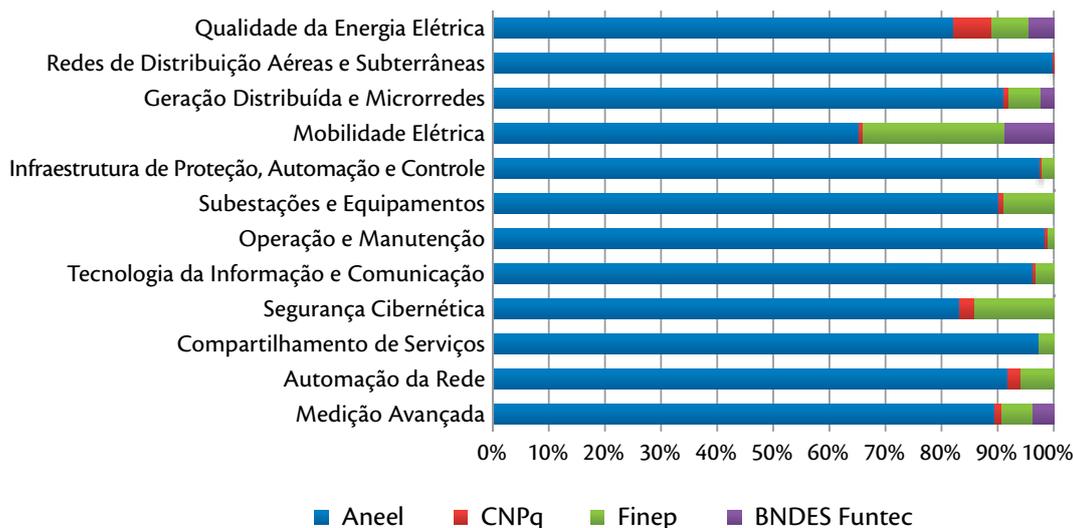


Gráfico 51 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)

Fonte: Elaboração própria.



5.2.5. Planejamento Estratégico

A Tabela 44 apresenta os indicadores informados pela Governança do SEB a respeito da prioridade em relação às políticas de médio prazo (2026) e longo prazo (2050).

Nota-se que nenhuma macrotemática apresenta baixa prioridade, o que mostra a importância dos sistemas de distribuição de energia elétrica no contexto geral do SEB, reconhecido pela Governança.

Tabela 44 - Priorização das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica no contexto do planejamento estratégico

	Política de médio prazo (2026)	Política de longo prazo (2050)
Medição Avançada	Alta prioridade	Média prioridade
Automação da Rede	Alta prioridade	Alta prioridade
Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes	Alta prioridade	Alta prioridade
Segurança Cibernética	Média prioridade	Alta prioridade
Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)	Alta prioridade	Alta prioridade
Operação e Manutenção	Média prioridade	Alta prioridade
Subestações e Equipamentos	Média prioridade	Média prioridade
Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição	Média prioridade	Alta prioridade
Mobilidade Elétrica	Alta prioridade	Alta prioridade
Geração Distribuída e Microrredes	Alta prioridade	Alta prioridade
Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas	Média prioridade	Alta prioridade
Qualidade da Energia Elétrica	Alta prioridade	Alta prioridade

Fonte: Elaboração própria.

5.3. Construção de Futuro

5.3.1. Visão de Futuro

Ao considerar a situação da infraestrutura de CT&I do SEB, apresentada por meio dos indicadores levantados na etapa de Diagnóstico, foram identificadas as competências nacionais e definidas as oportunidades e diretrizes de desenvolvimento tecnológico, que subsidiarão a formação das redes elétricas do futuro. Nesse sentido, é destacado o papel do advento das REIs e de tendências disruptivas associadas como GD, medição avançada, crescentes níveis de monitoramento, sensoriamento e automação da rede, maior fluxo de dados e grande volume de informações no sistema, que corroboram para uma mudança significativa de paradigma tecnológico no setor de Distribuição.

Resultados de análises deste estudo, corroboradas pela EPE e pelo MME, indicam, por exemplo, que 10% do consumo de energia elétrica será suprido por GD até 2030. Para o mesmo ano, espera-se um resultado significativo da inserção de veículos elétricos no Brasil, e que 21% dos consumidores sejam atendidos por medidores inteligentes, com as devidas funcionalidades e sistemas de comunicação associados.

Para subsidiar tais mudanças, ter-se-ão, também, níveis avançados de automação, apoiando em tempo real os sistemas inteligentes de operação e manutenção, bem como o gerenciamento do desempenho das redes, de modo a garantir a integração e a interoperabilidade dessas tecnologias e maximizar seus benefícios. O monitoramento *on-line* da rede, a transmissão dos dados gerados pela medição avançada, em tempo real, e o maior sensoriamento e automação do sistema de distribuição, por sua vez, demandarão uma robusta infraestrutura de TIC, bem como o rápido tratamento desses dados para geração de informações valiosas para operação e manutenção da rede, assim como a monetização de novos serviços.

Por conseguinte, para o período considerado, projeta-se uma digitalização da rede elétrica em larga escala, com forte migração da rede de comunicação legada para a rede de pacotes (IP), capacidade para absorção de novos protocolos de comunicação, como *Machine-to-Machine* (M2M), rápido processamento de um grande volume de dados (*big data*) e implementação de técnicas de Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e computação distribuída em nuvem (*Cloud Computing*). Em contrapartida, a elevada automatização e informatização das redes de distribuição podem aumentar sua vulnerabilidade a ataques cibernéticos, tornando imprescindíveis os esforços de segurança cibernética, para maior controle de segurança, confiança e privacidade do sistema. Destarte, prevê-se introdução



do controle regulatório de segurança cibernética aos componentes críticos da infraestrutura do setor elétrico, com definição de parâmetros técnicos e exigência de um patamar mínimo de requisitos.

Esses aspectos, em conjunto com demais tecnologias, exigirão ajustes significativos e criarão oportunidades para novos modelos de negócios das distribuidoras. O grande volume de dados provenientes das Redes Inteligentes e das funcionalidades associadas possibilitará às concessionárias a comercialização de uma gama de novos produtos e serviços customizados para além do mercado regulado, como consultorias em eficiência energética, diagnósticos e perfis de consumo, resposta à demanda. Ademais, com o aumento da penetração de GD e dos prossumidores, a infraestrutura oferecida pela concessionária pode vir a ser mais importante do que a venda de energia em si para o negócio de distribuição, necessitando de mudanças regulatórias e tarifárias.

Paralelamente, cresce também o nível de exigência dos consumidores em relação à resiliência da rede, à qualidade da energia entregue e à flexibilização do mercado. Assim, juntamente com as novas tecnologias, a maior atuação dos consumidores e a necessidade, por parte das distribuidoras, de cativá-los como clientes caracterizam importante driver do setor, demandando a atualização dos indicadores de qualidade e da relação cliente/concessionária.

Com a adequação dos atuais e a definição de novos indicadores para os fenômenos da qualidade da rede do futuro e com limites mais rigorosos e condizentes à expectativa do consumidor, verifica-se a necessidade de equipamentos, ferramentas, algoritmos, metodologias e processos que ensejem maior robustez à rede, bem como seletividade e rapidez na eliminação de faltas, exigindo o fortalecimento da cadeia produtiva nacional. No que diz respeito especificamente aos sistemas de proteção, enfatiza-se, ainda, que a inovadora bidirecionalidade dos fluxos de potência e sua susceptibilidade às variações de despacho das novas fontes de energia configuram importante desafio a ser superado. Nesse contexto, é destacado o papel de Dispositivos Eletrônicos Inteligentes, em inglês, *Intelligent Electronic Devices (IEDs)*.

Adicionalmente, o crescimento populacional esperado para os próximos anos, o processo de conturbação dos densos centros urbanos e o maior rigor ambiental atuarão no sistema de distribuição, exigindo subestações e equipamentos compactos, integrados com o meio urbano, de rápida instalação e com reduzido custo de operação e manutenção, bem como a renovação dos métodos e técnicas de planejamento, expansão, construção e manutenção das redes aéreas e subterrâneas.

Associado ao compromisso com a eficiência e a segurança energética, o aumento dos índices de urbanização requisitará também maior interação e integração entre os agentes e serviços para melhor aproveitamento dos espaços e melhor eficiência operacional e energética. Nesse cenário, torna-se

fundamental o desenvolvimento, de maneira integrada e interoperável, das tecnologias supracitadas e de novos modelos de negócio, para o compartilhamento de serviços e infraestruturas, ensejando a formação do ecossistema de cidades inteligentes.

Dessa forma, o grupo de Distribuição, por meio do aporte à PD&I, visa a desenvolver as tecnologias, as ferramentas, as metodologias, os algoritmos e os processos necessários para a formação de redes e cidades inteligentes e a consequente criação de um novo modelo de prestação dos serviços de energia elétrica. Objetivam-se redes resilientes, compactas e eficientes, dotadas de uma robusta infraestrutura de TIC e equipamentos de alto nível, com segurança cibernética e elevado grau de sensoriamento, monitoramento e automação para gerenciamento e operação inteligentes de um sistema com múltiplas fontes e transferência instantânea e bidirecional de dados e informações. Em vista disso, a Tabela 45 resume os objetivos gerais de cada macrotemática, que corroborarão e suportarão tal propósito.

Tabela 45 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática do grupo de Distribuição

Macrotemática	Objetivo geral
	<p>Medição Avançada – prover ferramentas de eficiência energética, de eficiência comercial e de eficiência operativa para o sistema elétrico. Isto é, corroborar para a redução da inadimplência, de perdas elétricas (técnicas e não técnicas) e dos custos de leituras e para melhorar a identificação de faltas, o planejamento e a gestão energética. A tecnologia deve, também, alavancar oportunidades de novos negócios, além do mercado cativo.</p>
	<p>Automação da Rede – desenvolver metodologias e algoritmos que contribuam para mitigar o impacto de distúrbios da qualidade da energia, com melhora dos indicadores técnicos e redução dos custos operacionais. Visa-se, também, ao aumento da capacidade de supervisão, monitoração e atuação remota das redes de distribuição, para maior agilidade no atendimento e otimização da operação e do gerenciamento da rede, dotada de recursos energéticos distribuídos.</p>
	<p>Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes – promover o compartilhamento das infraestruturas de medição para os serviços de energia elétrica, geração distribuída, sistemas de armazenamento, veículos elétricos, água e gás, com garantia de autenticidade e integridade da informação de medição, de modo a ensejar a formação, com segurança cibernética, do ecossistema das cidades inteligentes.</p>
	<p>Segurança Cibernética – garantir a segurança cibernética do setor elétrico, e seus elementos críticos, contra as crescentes ameaças e vulnerabilidades.</p>
	<p>Tecnologia da Informação e Comunicação – modernizar a infraestrutura da rede elétrica de maneira a permitir a inserção/ desenvolvimento de novas tecnologias, tais como medição inteligente, geração distribuída, monitoração <i>on-line</i> da qualidade de serviço, sensoriamento de dispositivos inteligentes (Internet das Coisas), segurança da informação, processamento de grande volume de dados, entre outras.</p>
	<p>Operação e Manutenção – garantir a melhoria da qualidade do serviço e do produto frente às novas exigências do mercado; o aumento da segurança, a fim de minimizar os acidentes (com colaboradores e sociedade); e a adequação das funcionalidades dos sistemas de operação e manutenção para atender às maiores exigências ambientais e às novas demandas do setor elétrico, tais como inserção de REI, GD, Eficiência Energética, Veículos Elétricos, Armazenamento e a Internet das Coisas (IoT).</p>



Macrotemática	Objetivo geral
	<p>Subestações e Equipamentos – desenvolver subestações inteligentes, compactas, modulares, de instalação rápida e nas proximidades de centros de carga, com alto índice de confiabilidade e flexibilidade, com equipamentos autodiagnosticáveis, dotada de inteligência suficiente para gerir o sistema a jusante dentro dos níveis requeridos de qualidade e eficiência, além de possibilitar o fornecimento de informações relevantes para a gestão do sistema de distribuição como um todo.</p>
	<p>Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle – dominar o projeto e a produção dos dispositivos e sistemas necessários para atender às necessidades da rede de distribuição do futuro, em particular às adaptações exigidas pelas tecnologias que retiram o caráter radial da rede. Os sistemas deverão ser capazes de prover informações para outros níveis hierárquicos, levando em consideração a introdução de GD, Virtual Power Plants (VPP) e mesmo alterações de concepções da operação da rede.</p>
	<p>Mobilidade Elétrica – planejar e preparar o setor de distribuição de energia elétrica brasileiro para a entrada de soluções de mobilidade elétrica, assim como das modificações que ocorrerão no perfil de consumo de energia elétrica, fomentando o desenvolvimento, em âmbito nacional, de infraestruturas de recarga de baterias de veículos elétricos, com tecnologias por fio e sem fio, sistemas de recarga inteligentes integrados à operação da rede elétrica, sistemas para transferência de energia das baterias à rede e estratégias para mitigação dos impactos na rede de distribuição.</p>
	<p>Geração Distribuída e Microrredes – fornecer ferramentas de análises e definir requisitos técnicos para os equipamentos e os procedimentos de operação e controle, de modo a melhor representar os benefícios considerando a adoção, em larga escala, da geração distribuída. De modo geral, espera-se que os sistemas sejam capazes de operarem de maneira conjunta e complementar, para que a operação e a comunicação centralizada e coordenada dos sistemas de distribuição possam ser implementada, de maneira completa, até 2050.</p>
	<p>Redes de Distribuição Áreas e Subterrâneas – desenvolver ferramentas, sistemas e processos que ensejem redução contínua dos custos praticados nas diversas fases da cadeia produtiva de uma distribuidora, as quais incluem planejamento, gestão, projeto, construção, desempenho da rede, confiabilidade das redes, focada em taxas de falhas, e descarte. Tais etapas, integradas de maneira otimizada, deverão buscar melhoria contínua, e constante, nos níveis de segurança, qualidade do produto e do serviço.</p>
	<p>Qualidade da Energia Elétrica – melhorar significativamente a qualidade da energia no Brasil, com participação do consumidor como agente ativo do setor, por meio do aprimoramento: dos mecanismos de gestão e controle, do ponto de vista técnico e econômico; da definição clara do ponto de equilíbrio entre a qualidade esperada pelos consumidores e a qualidade oferecida pelas distribuidoras; e da transformação dos processos de relacionamento e engajamento dos usuários da rede, de modo a prover mais e melhores informações, levando a ser um participante ativo da gestão da rede.</p>

Fonte: Elaboração própria.

5.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas

Ao considerar o aporte da PD&I para que se alcancem esses objetivos, foi prospectada a evolução de maturidade tecnológica das rotas consideradas no projeto. O Gráfico 52 apresenta, para cada macrotemática, a porcentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta para os anos de referência (2017, 2020, 2025, 2030, 2040 e 2050).

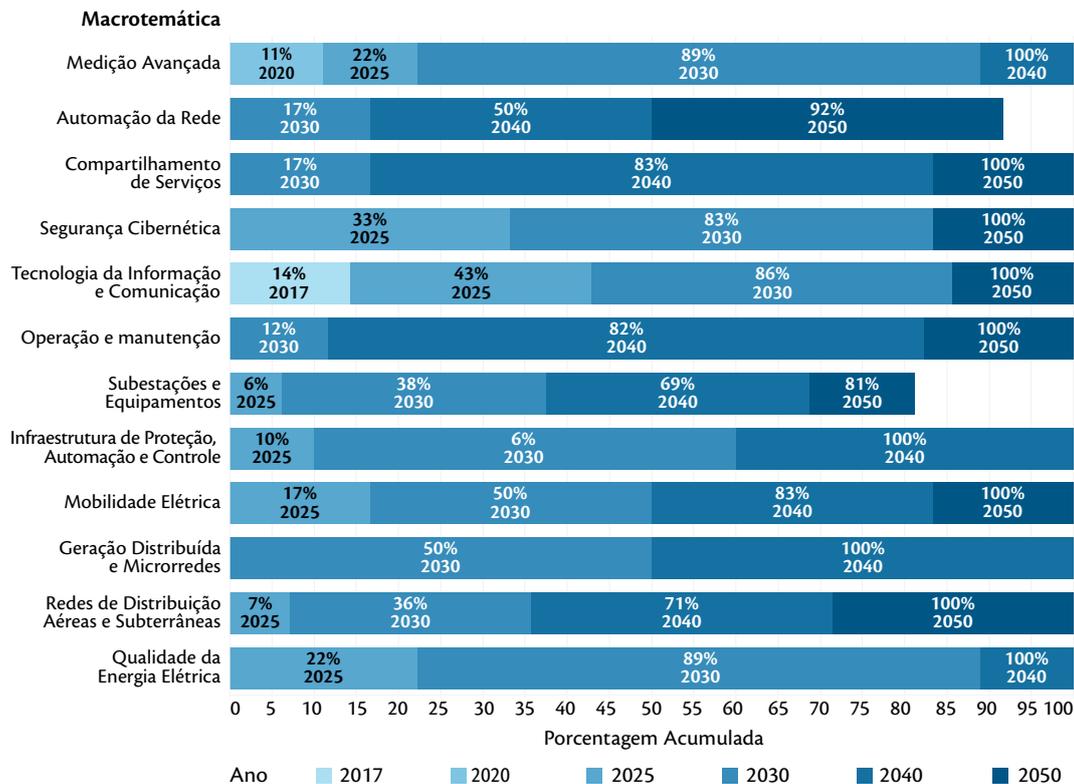


Gráfico 52 - Percentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta por macrotemática para o grupo de Distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução tecnológica se dê tal qual apresentado acima, foram identificados fatores condicionantes para o desenvolvimento dos temas considerados. Nesse sentido, destaca-se que é imprescindível maior interação da Academia com a Indústria, fomento de maior infraestrutura laboratorial, investimento em capacitação e formação profissional, considerando a reformulação de cursos e currículos para melhor adequação às exigências do mercado e fortalecimento da cadeia produtiva nacional.



5.3.3. Priorização das rotas

Considerando o retrato da cadeia de CT&I do setor, os objetivos definidos para o desenvolvimento de PD&I, a evolução da maturidade das tecnologias consideradas, a interdependência entre rotas e a perspectiva de retorno tecnológico e financeiro, foram identificadas as rotas prioritárias para desenvolvimento e investimento no contexto de cada macrotemática. Os tópicos priorizados, para cada macrotemática, são elencados na Tabela 46.

Tabela 46 - Tópicos priorizados para cada macrotemática do grupo de Distribuição

Macrotemática	Prioridade
Medição Avançada	Normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada. Ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas.
Automação da Rede	Metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas. Metodologias para a localização de faltas.
Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes	Integração de tecnologias e sistemas. Métodos e ferramentas para interoperabilidade entre sistemas.
Segurança Cibernética	Tecnologias de proteção, prevenção e detecção de intrusão. Modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas.
Tecnologia da Informação e Comunicação	Infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico. Definição de requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP).
Operação e Manutenção	Sistemas de operação considerando inserção massiva de GD. Ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança.
Subestações e Equipamentos	Desenvolvimento de modelos de vida útil de ativos. Desenvolvimento e aplicação de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de Manutenção Centrada na Condição dos equipamentos.
Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle	Dispositivos e funções de proteção, automação e controle para GD, VPP e Microrredes. Desenvolvimento de Funções e Protótipos de Proteção.
Mobilidade Elétrica	Estratégias de prevenção de impactos na rede de distribuição. Infraestrutura de recarga de veículos elétricos por fio.
Geração Distribuída e Microrredes	Identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída. Desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos.
Redes de Distribuição Áreas e Subterrâneas	Metodologias e Técnicas de Planejamento e Expansão de Redes de Distribuição. Técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede.
Qualidade da Energia Elétrica	Planejamento e gestão da confiabilidade; e Modelos econômicos e regulatórios da qualidade.

Fonte: Elaboração própria.

5.4. Considerações Finais

De forma geral, verifica-se que o estado da arte do GT Distribuição de Energia Elétrica segue as tendências internacionais, com maior volume de publicações nas áreas de qualidade da energia elétrica e geração distribuída. Tal predominância se explica uma vez que ambas as macrotemáticas são, e continuarão sendo, grandes direcionadoras e motivadoras das mudanças pelas quais a infraestrutura e os modelos de negócio do setor de distribuição devem passar. Não obstante, a produção nacional é significativamente inferior à internacional, indicando que a comunidade científica brasileira, ainda, precisa se fortalecer para elevar o país ao nível mundial.

Ainda no que tange à produção científica, é necessário ressaltar o crescimento no número de artigos publicados sobre a macrotemática Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), que até o início da década não apresentava participação na produção científica. Essa evolução é imprescindível para viabilizar a inserção das funcionalidades e tecnologias das REIs, que exigem robusta infraestrutura de comunicação e rápido tratamento de dados. Destaca-se, ademais, que esta foi a macrotemática que apresentou quantidade expressiva de registro de patentes no período considerado pelo estudo, ratificando que o setor de CT&I brasileiro se prepara para o desenvolvimento das REIs.

Em relação às patentes, é necessário reconhecer, contudo, que a quantidade de depósitos vem sofrendo diminuição nos últimos anos, o que evidencia que o mercado e a indústria de inovação têm de se fortalecer, com mais opções de financiamento à pesquisa. Notam-se, outrossim, números muito inferiores àqueles de produção científica, apontando uma deficiência na integração da Academia com o Mercado e a Indústria, a qual é extremamente necessária para que as pesquisas desenvolvidas se traduzam em produtos inovadores e fortalecimento da cadeia produtiva nacional. Dessa forma, a falta de integração é apontada como importante fator limitador e desafio a ser superado com urgência para o desenvolvimento das rotas tecnológicas tal qual prospectado. Essa discrepância evidencia, também, a necessidade de reformulação de cursos e currículos para melhor preparar os profissionais da área às exigências do mercado.

Hoje, no Brasil, destacam-se, na produção de CT&I, os assuntos trabalhados pelas macrotemáticas Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição, Operação e Manutenção, Subestações e Equipamentos, Geração Distribuída e Microrredes e Redes de Distribuição Aéreas e Subterrâneas. Na estrutura de CT&I, destacam-se as macrotemáticas Operação e Manutenção, Automação da Rede e Geração Distribuída e Microrredes.

É de suma importância considerar que os sistemas de distribuição de energia elétrica sofrerão impactos em termos de mudanças de marcos regulatórios, gerenciamento pelo lado da demanda de energia



elétrica, crescimento e ganho de robustez quanto à cadeia produtiva nacional, modelos de negócios, tarifas, de impactos das tecnologias, de capacitação dos recursos humanos, de normalização e regulamentação, em termos de expansão e operação dos sistemas elétricos de potência, na qualidade comercial, dos serviços e dos produtos, na análise de grande quantidade de dados, desenvolvendo também áreas que serão essenciais no contexto do grupo temático para implementação do conceito das cidades inteligentes e contribuirão, de forma considerável, no desenvolvimento dos sistemas de distribuição de energia elétrica a médio e longo prazo.

A necessidade de acelerar os desenvolvimentos no setor de distribuição ganha relevância adicional quando se observa o crescimento contínuo da penetração de recursos energéticos distribuídos – em geral de comportamento intermitente –, a maior exigência e rigidez em relação aos índices técnicos de qualidade da energia, o aumento projetado da demanda e o processo de conurbação urbana, os quais exigirão ferramentas e técnicas de controle avançadas, gerenciamento e operação inteligentes da rede elétrica, uma rede mais robusta e resiliente, com comunicação bidirecional e instantânea de dados e informações e melhor aproveitamento dos espaços, com compactação de equipamentos e subestações e compartilhamento de serviços.

Em suma, as tendências de evolução do sistema demandarão investimentos significativos em PD&I nas macrotemáticas do grupo de Distribuição, para os quais se esperam resultados significativos, principalmente, a partir da década de 2040. Para tanto, ressalva-se que devem ser superadas as deficiências de CT&I supracitadas.



Capítulo 6



Capítulo 6

Grupo Temático: Eficiência Energética

6.1. Conceito do Grupo

Para o GT Eficiência Energética, serão apresentados os resultados da prospecção tecnológica relacionados a cada um dos indicadores trabalhados na etapa Diagnóstico e para as questões de desenvolvimento trabalhadas na etapa Construção de Futuro, objetivando retratar o panorama do Setor de Energia Elétrica sob a ótica dos indicadores de CT&I.

O grupo Eficiência Energética contempla linhas de pesquisa com foco no aumento da eficiência energética por meio do aprimoramento de processos já existentes e com desenvolvimento de novas tecnologias, objetivando melhor *performance* pelo lado do consumo. São abordadas tecnologias que buscam a melhoria de desempenho e integração das formas de consumo de energia elétrica no contexto de edificações, sistemas de iluminação, saneamento e indústria.

6.1.1. Conceitos das macrotemáticas

As macrotemáticas relativas ao grupo Eficiência Energética são conceituadas a seguir.

Sistemas de Iluminação Eficientes

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à eficiência energética no Setor de Iluminação. São apresentados os seguintes pontos prioritários para P&D: tecnologias de iluminação semicondutora, fabricação de semicondutores, sensores e integração de sistemas inteligentes, sistemas de controle, gestão e monitoramento para iluminação.

Edificações Eficientes

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à Eficiência Energética de Edificações. São apresentados os seguintes pontos prioritários para P&D: arquitetura bioclimática, projetos eficientes integrados, integração do usuário, tecnologias ativas, ambiente urbano, caracterização, certificação de edificações eficientes, materiais, componentes e sistemas construtivos avançados.

Indústria

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à eficiência energética no setor da indústria. As tecnologias concentram-se nos meios e dispositivos de integração de sistemas consumidores de energia e de sistemas promotores de eficiência energética. Também são considerados os sistemas de operação e manutenção, além de dispositivos, como motores, caldeiras, sistemas de recuperação de calor, entre outros, que se destacam como pontos de P&D.

Saneamento

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à eficiência energética no Saneamento. São apresentados os seguintes pontos prioritários para P&D: reúso da água, medição inteligente, gestão de ativos, geração de energia e tecnologias eficientes no tratamento de água e esgoto.



6.2. Diagnóstico

Conforme mencionado, o diagnóstico do setor elétrico traz subsídios à formulação das diretrizes, ou políticas, de desenvolvimento das tecnologias de transmissão de energia elétrica no Brasil. Nesse contexto, foram consideradas as dimensões Socioambiental, Produção de CT&I, Estrutura de CT&I e Indústria e Mercado do setor elétrico brasileiro.

6.2.1. Socioambiental

A Dimensão Socioambiental caracteriza o impacto que as tecnologias futuras de transmissão de energia elétrica possuirão sobre o meio ambiente e a sociedade. Para tanto, será considerada a influência da operação dessas tecnologias na qualidade do ar, da água, do nível de ruído, da temperatura local e na fertilidade do solo, bem como o impacto dessas tecnologias no contexto social (produção de empregos e geração de recursos humanos). Nessa caracterização, não foi levado em conta o impacto do ciclo de vida dessas tecnologias.

Ao contrário dos grupos temáticos relacionados à geração, à transmissão e à distribuição de energia elétrica, assinalou-se que as tecnologias associadas ao GT Eficiência Energética não apresentam impacto ambiental negativo. Os destaques do grupo são as macrotemáticas Edificações Eficientes e Indústria, as quais foram atribuídas um impacto ambiental positivo.

Quanto à poluição do ar, os especialistas apontaram que há impacto positivo causado pelas tecnologias associadas às macrotemáticas Edificações Eficientes e Indústria. No caso da primeira, é considerada pela Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency, IEA*) como uma forma importante de redução na utilização de combustíveis fósseis e em estratégias de combate às mudanças climáticas. De forma semelhante, o processo industrial eficiente utiliza menor quantidade de energia em seus processos e, conseqüentemente, reduz a queima de combustíveis fósseis.

A análise da Dimensão Social visa a indicar a expectativa que se tem do impacto de novas tecnologias na geração de novos empregos diretos e indiretos, pela perspectiva do número de empregos gerados, da remuneração e da qualificação majoritariamente exigida para os novos postos de trabalho. Dessa forma, a Tabela 47 apresenta os indicadores dessa dimensão para o GT Eficiência Energética.

Tabela 47 - Indicadores de Dimensão Social do GT Eficiência Energética

	Geração de empregos	Remuneração	Qualificação
Sistemas de Iluminação Eficientes	3	1	3
Edificações Eficientes	2	3	3
Indústria	2	2	3
Saneamento	1	2	3

Legenda: Geração de Empregos: (1) Expectativa de baixa geração de empregos diretos e indiretos; (2) Expectativa de média geração de empregos diretos e indiretos; (3) Expectativa de alta geração de empregos diretos e indiretos. **Remuneração:** (1) Expectativa de geração de empregos de baixa remuneração; (2) Expectativa de geração de empregos de média remuneração; (3) Expectativa de geração de empregos de alta remuneração. **Qualificação:** (1) Expectativa de geração de empregos que demandem ensino médio e/ou curso técnico; (2) Expectativa de geração de empregos que demandem graduação e/ou especialização; (3) Expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado.

Fonte: Elaboração própria.

Há a expectativa de média geração de empregos diretos e indiretos, a partir dos resultados da PD&I de Edificações Eficientes e Indústria. Adicionalmente, as outras duas macrotemáticas apresentaram expectativa de alta geração de empregos no SEB e na cadeia produtiva dessas áreas. Quanto à remuneração, há expectativa de geração de empregos de alta remuneração em Edificações Eficientes. Isso se deve, em parte, pelo fato de que existem, proporcionalmente, mais profissionais com doutorado e/ou mestrado nessas macrotemáticas do que em relação às outras macrotemáticas.

6.2.2. Dimensão Mercado e Cadeia Produtiva

A Tabela 48 a seguir apresenta os indicadores da dimensão mercado para o grupo temático. Conforme indica a metodologia, trata-se de indicadores relativos à demanda por tecnologias associadas ao grupo, além da análise do impacto do marco regulatório do setor para o desenvolvimento das mesmas.



Tabela 48 - Indicadores de Dimensão Mercado do GT Eficiência Energética

	Demanda atual no Brasil	Demanda atual no mundo	Demanda futura no Brasil	Demanda futura no mundo	Marco regulatório do SEB
Sistemas de Iluminação Eficientes	3	3	3	3	3
Edificações Eficientes	2	3	3	3	3
Indústria	3	3	3	3	2
Saneamento	3	3	3	3	3

Legenda: Demanda atual/futura no Brasil/mundo: (1) Inexistente; (2) Baixa demanda; (3) Alta Demanda. Marco Regulatório do SEB: (1) Não favorável; (2) Pouco favorável; (3) Favorável; (4) Muito favorável.

Fonte: Elaboração própria.

No geral, a demanda por tecnologias associadas ao GT Eficiência Energética é alta, o que configura um mercado bem estabelecido dentro do país para o investimento nessas tecnologias. Apenas para macrotemática Edificações Eficientes, apontou-se baixa demanda atual pelas tecnologias, no Brasil.

No que tange às tecnologias envolvendo a macrotemática Indústria, a demanda alta é consequência do alto dispêndio com energia elétrica das indústrias eletrointensivas, que compõem grande parcela do setor industrial nacional. Considerando que o setor industrial é o setor econômico que mais demanda energia elétrica no país, é natural que medidas de redução de consumo sejam consideradas. A eficiência de processos industriais e a redução de custos são altamente relevantes para manutenção da competitividade das indústrias. Por exemplo, pode-se notar o grande número de indústrias com tecnologia de cogeração de energia no país atualmente, principalmente indústrias do setor sucroenergético.

Em relação à macrotemática Saneamento, a demanda surge em parte pelo potencial de geração de energia elétrica por gaseificação de resíduos nas estações de tratamento de água e esgoto. Além disso, o setor de saneamento demanda muita energia elétrica para funcionamento de bombas e motores elétricos. A potencial redução de custo com energia gera, naturalmente, alta demanda por processos e tecnologias mais eficientes.

A partir dos resultados obtidos e apresentado na Tabela 49, pode-se verificar que as macrotemáticas Sistema de Iluminação Eficientes e Indústria apresentam uma cadeia produtiva nacional ainda com médio grau de estruturação, porém, para a parte de iluminação, observa-se uma baixa oferta de serviços técnicos que dizem respeito tanto às tecnologias disponíveis quanto ao RH específico para

atender à demanda da cadeia. Para as demais macrotemáticas, também existe essa dificuldade quanto aos serviços técnicos, mas um pouco mais amenizada.

Em geral, para as quatro macrotemáticas, as cadeias produtivas apresentam sinergia com outras cadeias produtivas nacionais, quer seja nos insumos utilizados ou nos bens e serviços ofertados, mas ainda há especificidades da cadeia que são relevantes e dificultam a sua sinergia com outras cadeias produtivas nacionais. Também quanto ao aspecto da logística, ainda se mostram com um nível médio de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva, além de apresentarem alta importância em se estabelecer normas e regulações específicas para desenvolvimento da cadeia produtiva de cada macrotemática.

Tabela 49 - Indicadores de cadeia produtiva do GT Eficiência Energética

	Grau de estruturação	Acesso aos insumos	Itens manufaturados	Serviços técnicos	Dificuldade futura	Infraestrutura de logística	Sinergia	Normas	Regulações
Sistemas de Iluminação Eficientes	3	2	2	1	3	2	2	3	3
Edificações Eficientes	2	3	3	2	3	2	2	3	3
Indústria	3	2	2	2	2	2	2	3	3
Saneamento	2	2	3	2	3	2	2	3	3

Legenda: **Grau de estruturação:** (1) Grau de estruturação inexistente da cadeia produtiva nacional; (2) Baixo grau de estruturação da cadeia produtiva nacional; (3) Médio grau de estruturação da cadeia produtiva nacional; (4) Alto grau de estruturação da cadeia produtiva nacional. **Acesso aos insumos:** (1) Não há disponibilidade de insumos em território nacional para atender às necessidades atuais da cadeia produtiva; (2) Existe disponibilidade de insumos, mas seu acesso/obtenção é difícil; (3) Existe disponibilidade de insumos e seu acesso/obtenção é fácil. **Itens manufaturados:** (1) Baixa capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (2) Média capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (3) Média-alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional; (4) Alta capacidade de fornecimento de itens manufaturados da cadeia produtiva nacional. **Serviços técnicos:** (1) Baixo nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (2) Médio nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional; (3) Alto nível de oferta de serviços técnicos (RH e tecnologias de serviços e operações) dedicados à cadeia produtiva nacional. **Dificuldade futura:** (1) Alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (2) Média-alta dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (3) Média-baixa dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro; (4) Baixa dificuldade para se estabelecer uma cadeia produtiva considerando o contexto de mercado futuro. **Infraestrutura de logística:** (1) Baixo nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; (2) Médio nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para



atender à cadeia produtiva; (3) Alto nível de desenvolvimento da infraestrutura de logística no Brasil para atender à cadeia produtiva; **Sinergia:** (1) Não existem sinergias com outras cadeias produtivas nacionais, pois os insumos, bens e serviços são muito específicos à cadeia produtiva; (2) Existe sinergia com outras cadeias produtivas nacionais quer seja nos insumos utilizados ou nos bens e serviços ofertados, mas ainda há especificidades da cadeia que são relevantes e dificultam a sua sinergia com outras cadeias produtivas nacionais; (3) Existem sinergias relevantes com outras cadeias produtivas nacionais, pois os materiais, os bens e os serviços utilizados não são específicos à cadeia produtiva. **Normas:** (1) Baixa importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem normas específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local. **Regulações:** (1) Baixa importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (2) Média importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; (3) Alta importância de se estabelecerem regulações específicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local.

Fonte: Elaboração própria.

6.2.3. Produção de CT&I

Artigos

O levantamento da produção de artigos científicos foi realizado por meio das bases de dados *Scopus e Web of Science*, conforme descrito na metodologia. Foram utilizados termos de busca para selecionar toda a produção correlacionada às temáticas de interesse para o grupo de Eficiência Energética. O Gráfico 53 ilustra a participação de artigos científicos no contexto mundial e brasileiro. Nota-se uma disparidade entre os percentuais de cada macrotemática nesses contextos. A tendência mundial está voltada para Edificações Eficientes e Sistemas de Iluminação Eficientes, com uma contribuição diminuta para Saneamento. Já no contexto brasileiro, destaca-se Indústria, seguida de Edificações Eficientes. Embora a macrotemática Saneamento também tenha sido a detentora do menor percentual, este valor é significativamente superior à tendência apresentada no âmbito mundial.

A quantidade de artigos científicos de Indústria equivale a quase metade da produção brasileira para o grupo de Eficiência Energética. No entanto isso não implica afirmar que o Brasil está em um patamar satisfatório em termos de eficiência energética aplicada ao setor industrial. De acordo com o Scorecard de Eficiência Energética Internacional de 2016, publicado pelo *American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)*, o Brasil figura na décima nona posição em termos de eficiência energética no setor industrial, dentre os 23 países selecionados para construção do scorecard. Isso indica que, embora se tenha elevado empenho em pesquisas científicas acerca dessa temática, o conhecimento gerado não está sendo aplicado na indústria propriamente dita. Tais fatos sugerem que a Academia e a Cadeia Produtiva pouco interagem, dificultando o progresso em termos de eficiência energética tanto na indústria quanto nos demais setores.

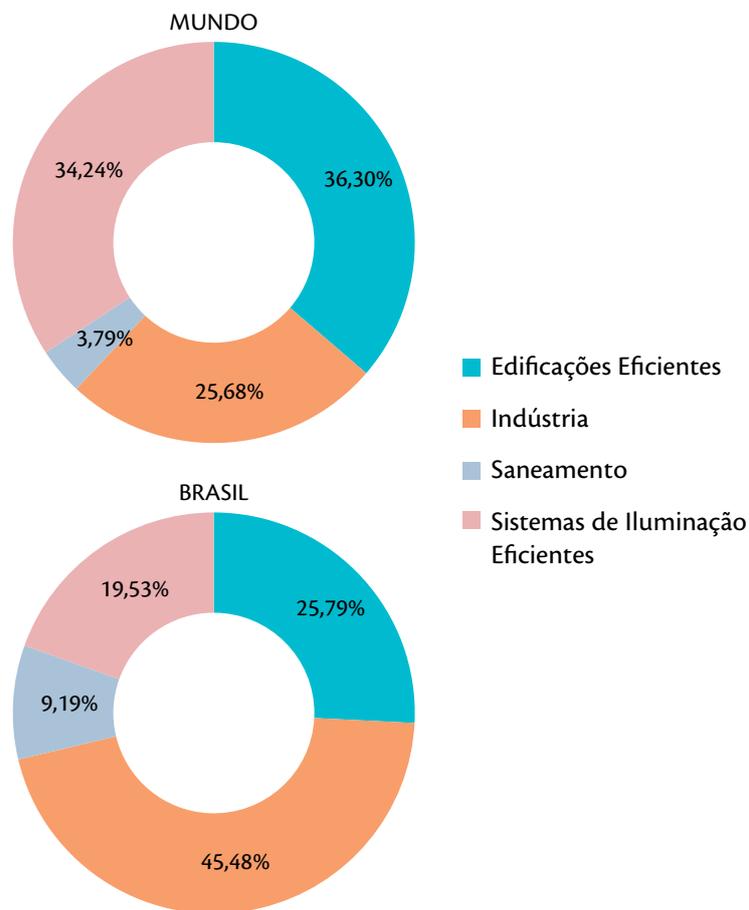


Gráfico 53 - Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

No tocante a cada macrotemática, a Tabela 50 mostra o *ranking* de países com as maiores produções científicas. A China e os Estados Unidos são os países que dominam a produção científica total e, conseqüentemente, alternam-se entre primeiro e segundo colocados em todas as macrotemáticas, exceto em Sistemas de Iluminação Eficientes. O Brasil tem participação mais significativa em Indústria e Saneamento, ocupando a quarta e terceira colocações respectivamente. Esses resultados mostram-se em conformidade com os percentuais apresentados no Gráfico 53, em que o Brasil apresenta maior participação em Indústria e Saneamento, se comparado a tendência mundial.



Tabela 50 - Ranking, por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Eficiência Energética

	1º	2º	3º	4º	5º	Colocação Brasil
Sistemas de Iluminação Eficientes	China	Coreia do Sul	Estados Unidos	Taiwan	Japão	14º
Edificações Eficientes	Estados Unidos	China	Itália	Alemanha	França	16º
Indústria	Estados Unidos	China	Itália	Brasil	Canadá	
Saneamento	China	Estados Unidos	Brasil	Índia	Japão	

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 54 apresenta a evolução da produção científica de artigos no contexto brasileiro por macrotemática. O eixo das abcissas corresponde ao ano, o eixo das ordenadas ao *ranking* e a espessura de cada linha à quantidade de artigos publicados. Nota-se uma distinção entre o perfil de publicações brasileiro comparado ao perfil mundial. A macrotemática Indústria ocupa a primeira colocação durante todo o intervalo considerado nesse estudo, enquanto Saneamento figurou na última colocação no mesmo período. Um dos motivos para que a Indústria esteja na primeira colocação pode estar relacionado ao art. 5º da Lei nº 9.991/2000, que esclarece as formas com as quais os recursos da mencionada lei devem ser aplicados. O parágrafo único do referido dispositivo ordena que esses investimentos em eficiência energética “deverão priorizar iniciativas e produtos da indústria nacional, conforme regulamentação a ser definida pela Aneel”. Ou seja, existe claro incentivo para que se desenvolva na indústria dispositivos ou mecanismos que otimizem o uso da energia elétrica nesse setor.

Os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais destacam-se em relação aos demais, concentrando mais de 50% de toda a produção científica levantada para o grupo Eficiência Energética. Em contrapartida, outros estados apresentaram produção diminuta de artigos científicos, são eles Acre, Roraima e Maranhão. Um diferencial para com os demais grupos temáticos foi o estado do Pará, que figurou na quarta colocação dentro das condições estabelecidas nesse estudo, com uma produção científica de 139 artigos correlatos ao grupo Eficiência Energética.

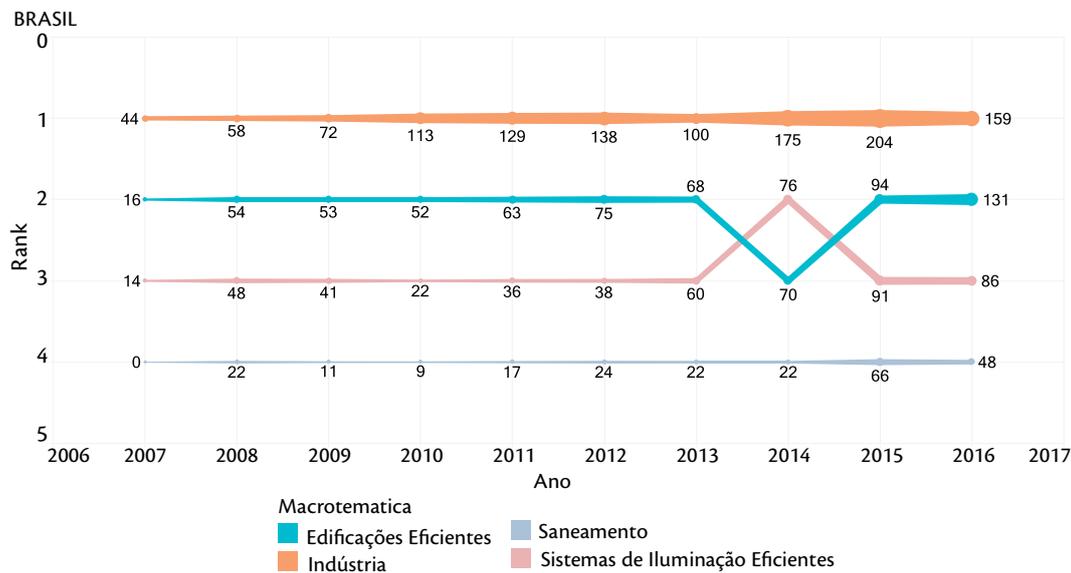


Gráfico 54 - Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Produção Complementar

A pesquisa e o desenvolvimento não estão restritos aos centros de pesquisa especializados e aos laboratórios de instituições de ensino e pesquisa federais. A partir da Lei nº 9.991/2000, a P&D foi incorporada às responsabilidades das empresas do setor elétrico. Como consequência, os estudos estenderam-se aos interesses da cadeia produtiva dedicada ao setor elétrico. Nesse contexto, o Gráfico 55 caracteriza a produção complementar apresentada em eventos por macrotemática do GT Eficiência Energética.

Conforme descrito na metodologia, os dados são relativos ao período compreendido entre 2007 e 2016 e dizem respeito ao Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (Citene), Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Sendi) e ao Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE), os quais fazem parte dos principais eventos do setor elétrico nacional. É válido salientar que não houve produção em Eficiência Energética no Sepope, sendo este evento contemplado nos demais grupos temáticos.



Quando observada a quantidade de artigos publicados sobre as macrotemáticas por eventos, nota-se que as publicações de Sistemas de Iluminação Eficientes concentram-se no Sendi. Por outro lado, os assuntos correlatos à macrotemática Indústria são mais abordados no SNPTEE, enquanto que, em Edificações Eficientes, a maioria das publicações ocorreu em eventos do Sendi. A macrotemática Saneamento apresentou pouca participação frente às demais, com apenas 3,3% das publicações complementares nos eventos supracitados.

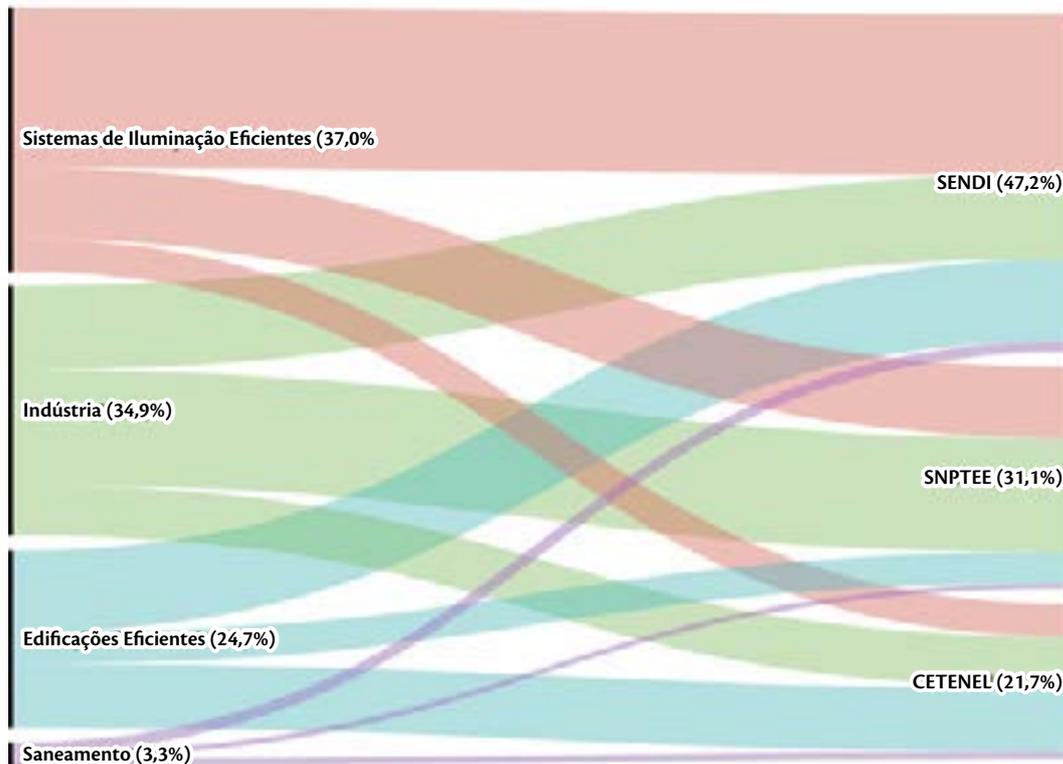


Gráfico 55 - Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Projetos Aneel

Conforme estabelecido no manual do programa de pesquisa e desenvolvimento regulado pela Aneel, os projetos elaborados pelas empresas do setor elétrico deverão, tal qual estabelece a Lei nº 9.991/2000, “estar pautados pela busca de inovações para fazer frente aos desafios tecnológicos e de mercado das empresas de energia elétrica. O projeto de P&D no setor de energia elétrica deve ser original e inovador. No entanto, diferentemente da pesquisa acadêmica pura que se caracteriza pela liberdade de investigação, deverá ter metas e resultados previstos”.

A maior parte dos investimentos em ações de Eficiência Energética foram realizados no contexto de Edificações Inteligentes e Indústria. Embora o montante investido nessas macrotemáticas tenha alcançado a ordem de 140 milhões de reais, aproximadamente, a maior parte dos projetos foi caracterizada como pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental (ver Gráfico 57).

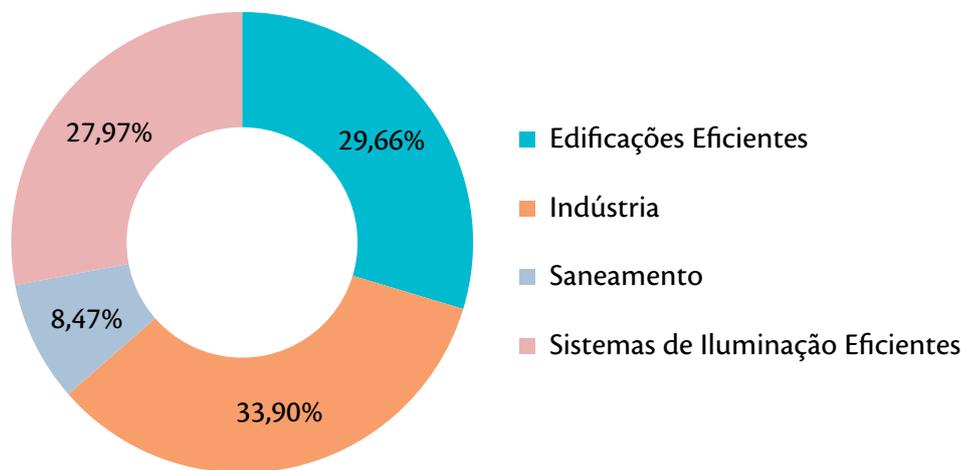


Gráfico 56 - Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Os projetos com maior projeção na cadeia de inovação dizem respeito às macrotemáticas Sistemas de Iluminação Eficientes e Edificações Eficientes (ver Gráfico 57). O passo seguinte à geração do lote pioneiro é a inserção do projeto no mercado (inovação de fato). A parceria entre o setor elétrico e a cadeia produtiva é uma questão-chave para a inovação. Nesse sentido, infere-se que, além do apoio da CT&I, o setor deve promover políticas que tragam os interesses da cadeia produtiva a uma proximidade de mercado eficaz, junto às empresas do setor elétrico.



Em especial à macrotemática Saneamento, a política de incentivo às ações de eficiência nessa área deveria privilegiar os interesses públicos e das empresas do setor elétrico, em uma parceria público-privada, com foco no desenvolvimento social e de mercado para a indústria e empresas do setor.

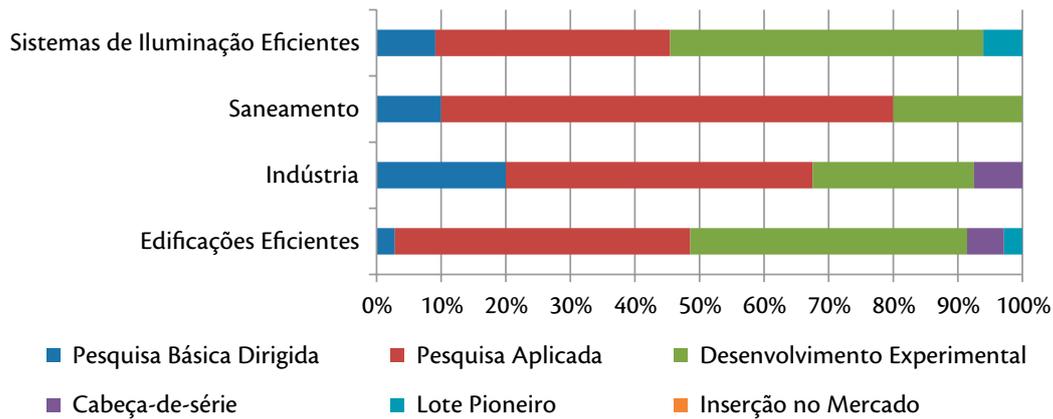


Gráfico 57 - Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Patentes

Acerca do Gráfico 58 e do Gráfico 59, verifica-se um alinhamento em termos das proporções das patentes nas macrotemáticas tanto a nível internacional quanto nacional. O destaque para as patentes em eficiência energética encontra-se nos domínios tecnológicos da indústria. Este movimento pode ser explicado pelo fato de a indústria ser um dos principais atores que buscam a eficiência energética em suas atividades para ampliação de seu capital e também para redução de custo de suas operações.

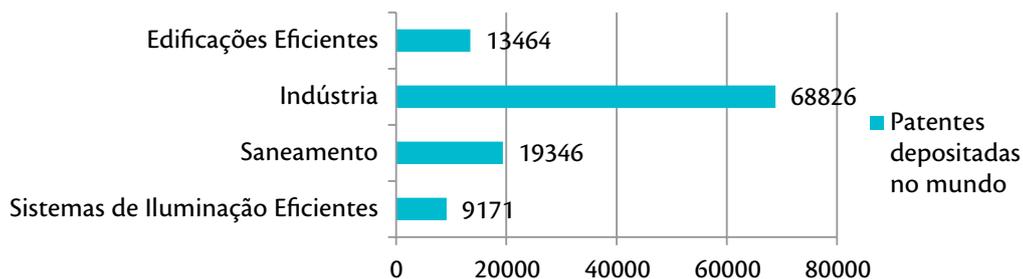


Gráfico 58 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

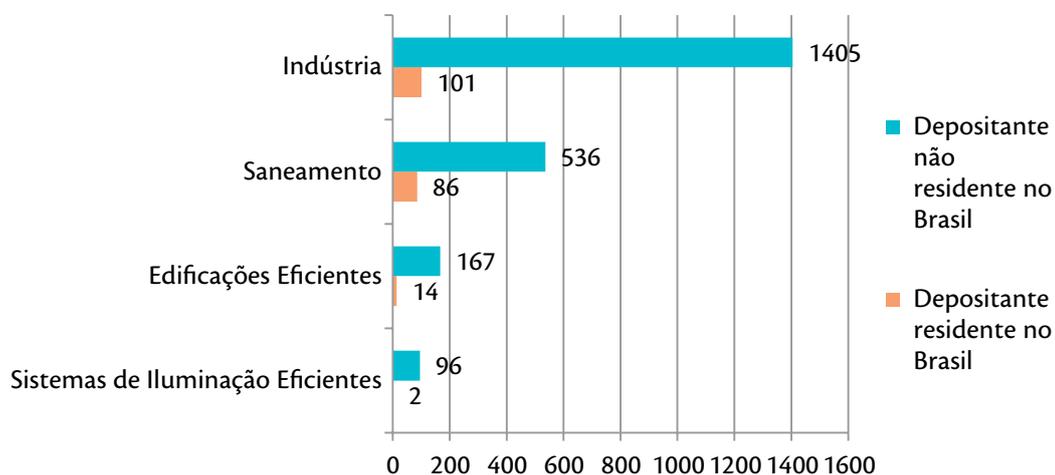


Gráfico 59 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Para Salazar (2012), a eficiência energética vem se destacando nos últimos anos no Brasil e no mundo em função dos impactos ambientais que o uso intensivo de energia gera ao meio ambiente e pelo fato de a oferta de energia (principalmente aquelas advindas de fontes não renováveis) estar se tornando cada vez mais escassa.

Prova disso são as pistas que comprovam a busca pela eficiência energética na indústria brasileira, traduzidas em diversas iniciativas em curso. Uma delas de grande envergadura, refere-se ao Programa



de Eficiência Energética (PEE), regulado pela Aneel e que figura-se como um dos principais mecanismos de atuação e regulação do país nessa área. Nessa medida, todas as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica com operações no Brasil devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional em iniciativas de eficiência energética.

Ações informativas também estão ocorrendo no âmbito industrial, como aquelas que vêm sendo desempenhadas pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI), juntamente às Federações de Indústrias. Estas estão divulgando uma série de sugestões práticas para a rotina organizacional das indústrias, com o objetivo de promover e difundir o uso eficiente de energia (CNI, 2014).

6.2.4. Estrutura de CT&I

Recursos Humanos

Profissionais relacionados às macrotemáticas do grupo de Eficiência Energética foram selecionados a partir da base de currículos *Lattes*. As baixas nessa base de dados foram realizadas por meio de termos de busca correlatos à temática em questão. O Gráfico 6o elucida o número total de profissionais distribuídos no território nacional.

O estado de São Paulo destaca-se em relação aos demais, concentrando cerca de 23% de todos os profissionais levantados para o grupo de Eficiência Energética. O segundo estado em destaque foi Minas Gerais, seguido pelo Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. Embora o Rio Grande do Sul figure na terceira colocação, com cerca de 10% do total de RH, a região Sudeste concentra 44% dos profissionais envolvidos no grupo temático. Em contrapartida, a região Norte foi a que apresentou o menor número de profissionais. Nota-se também que Acre, Roraima e Amapá foram os estados com menor representatividade para o grupo de Eficiência Energética.

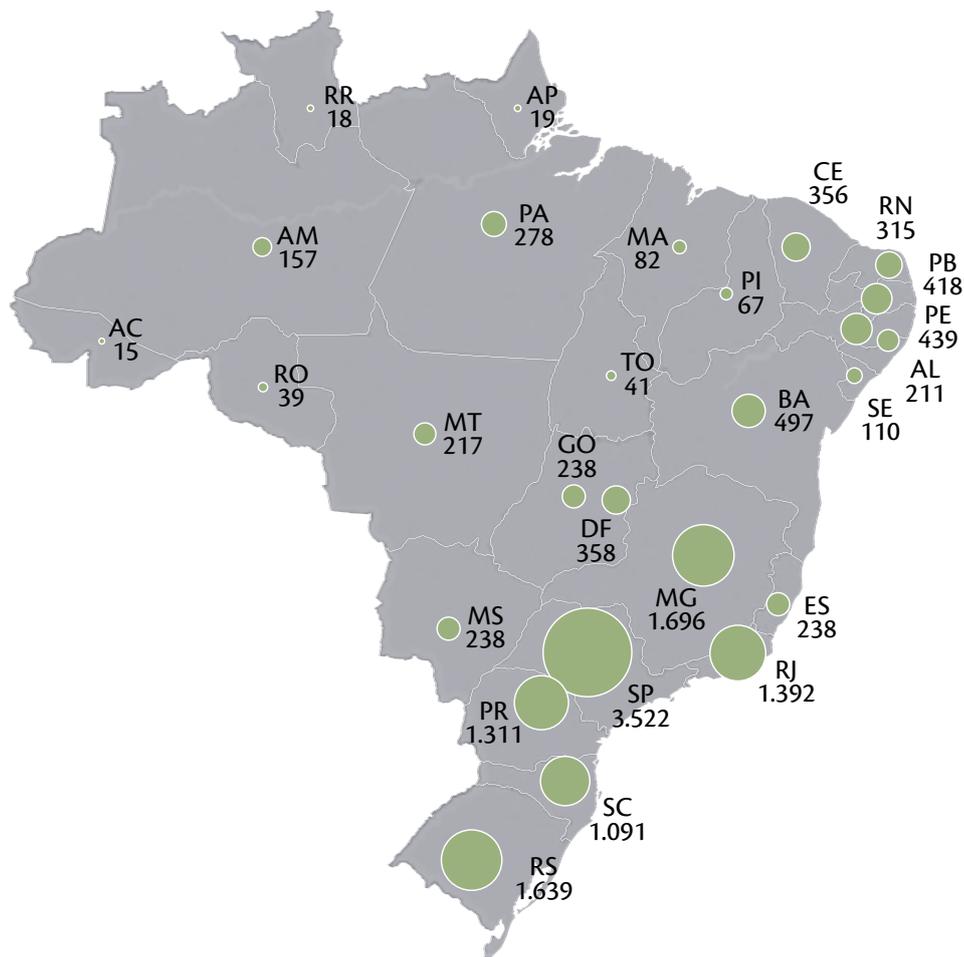


Gráfico 60 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Todos os currículos levantados para o grupo foram classificados por macrotemática mediante termos de busca. O Gráfico 61 ilustra as quantidades de profissionais alocados em cada macrotemática, onde se destacam Sistemas de Iluminação Eficientes e Indústria com 42% e 29% respectivamente. Para Saneamento, a quantidade de profissionais mostrou-se significativamente mais baixa, com 7%, explicitando a necessidade de ampliação dos profissionais atuantes nessa área do conhecimento, tendo em vista o seu potencial para fins energéticos.

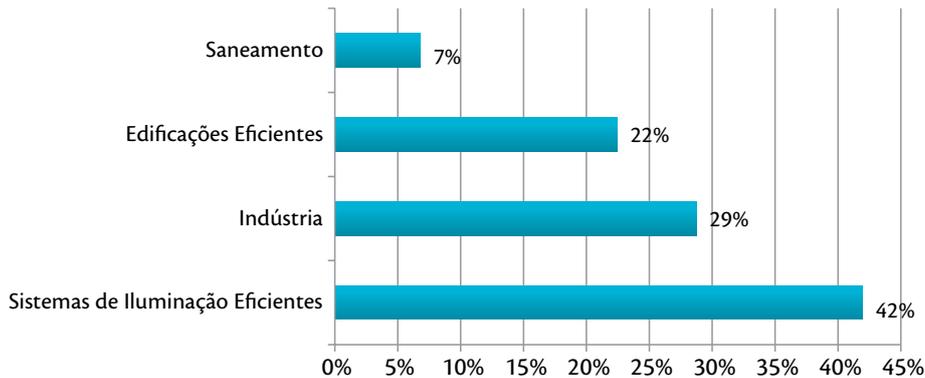


Gráfico 61 - Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

A partir do Gráfico 62, é possível perceber a participação dentro de cada estado, como se comporta a divisão entre os profissionais de cada macrotemática. Em consequência de que grande parte dos profissionais está concentrada em Sistemas de Iluminação Eficientes, observa-se parcela expressiva dessa macrotemática em todos os estados brasileiros.

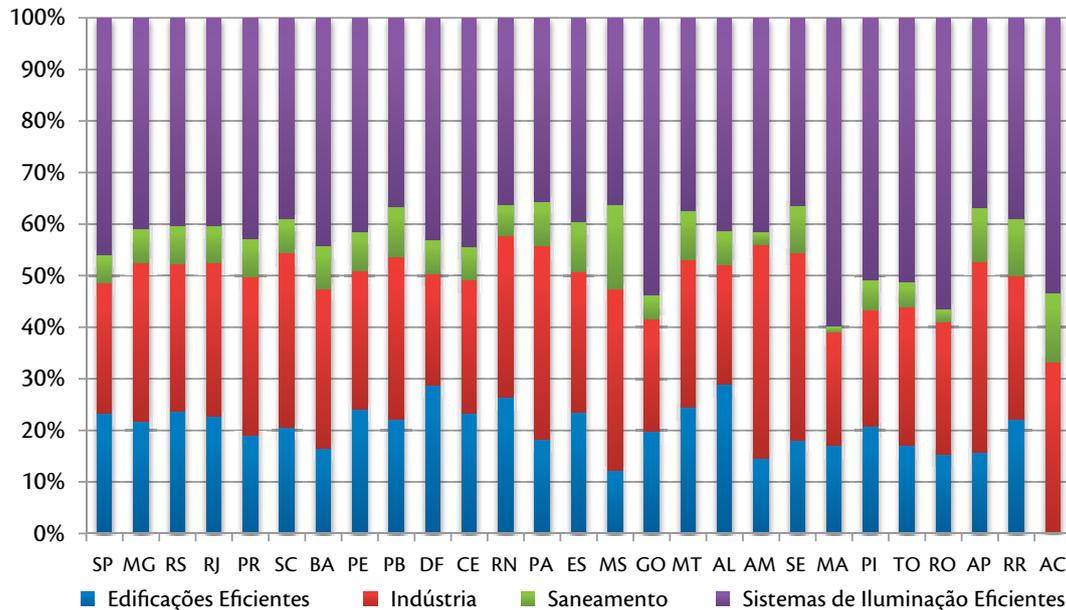


Gráfico 62 - Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Redes Colaborativas

Sistemas de Iluminação Eficientes

A macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes apresentou sete *clusters* principais que caracterizam os profissionais da área, considerando a similaridade dos assuntos tratados nesse âmbito (ver Figura 10). Os *clusters* 01, 02 e 03 apresentam-se próximos devido à força de atração entre eles, indicando assim que tais profissionais abordam temas convergentes. Analogamente, os *clusters* 04, 05 e 06 apresentam forças de atração expressivas, indicando a atuação em áreas do conhecimento correlatas. O *cluster* 07 apresenta-se mais afastado por tratar de temáticas um pouco mais aprofundadas acerca da macrotemática em questão. A caracterização dos *clusters* com base nas palavras-chave identificadas está disposta na Tabela 51 e Tabela 57.

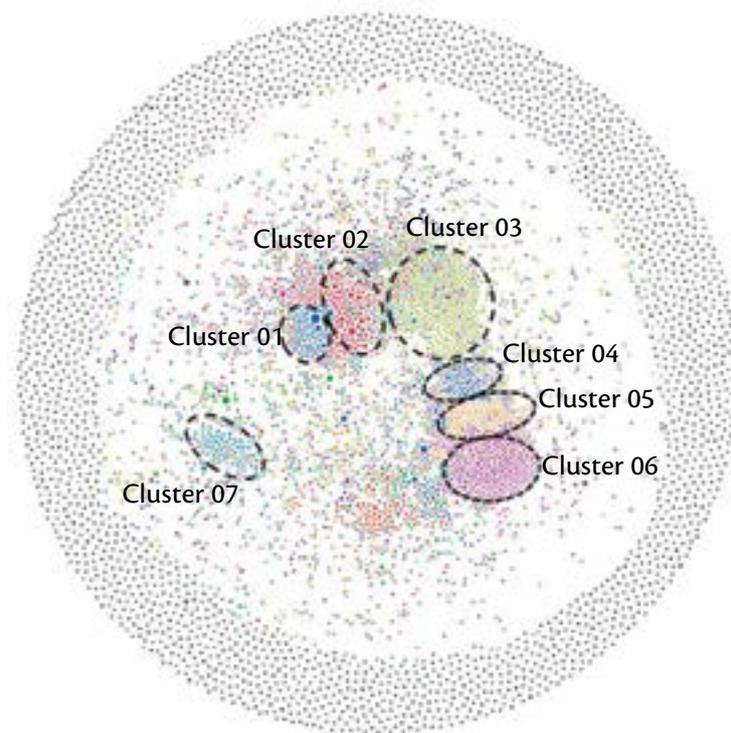


Figura 10 - Identificação dos clusters da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes

Fonte: Elaboração própria.



Os *clusters* 01, 02 e 03 estão voltados, principalmente, para questões ergonômicas e de conforto térmico e luminoso. Por outro lado, os *clusters* 04, 05 e 06 abordam temáticas correlatas a sistemas de automação e controle, conversores e iluminação LED. Analogamente, o *cluster* 07 também apresenta palavras-chave nessa perspectiva, mas com enfoque nas tecnologias LED e OLED.

Tabela 51 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes

<i>Cluster</i> 01	<i>Cluster</i> 02	<i>Cluster</i> 03	<i>Cluster</i> 04
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ergonomia. 2. Conforto. 3. <i>Building design</i>. 4. <i>Ecodesign</i>. 5. Arquitetura. 6. Projeto de iluminação. 7. <i>Design</i> de interiores. 8. <i>Ergodesign</i>. 9. <i>Design</i> de produto. 10. <i>Design</i> sustentável. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualidade. 2. Ergonomia. 3. Conforto térmico. 4. Iluminação. 5. Eficiência energética. 6. Automação. 7. Logística reversa. 8. Sistema de informação. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eficiência energética. 2. Conforto térmico. 3. Iluminação natural. 4. Desempenho térmico. 5. Ventilação natural. 6. Conforto luminoso. 7. LED. 8. Simulação computacional. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eficiência energética. 2. Conservação de energia. 3. Dimensionamento. 4. Energia solar fotovoltaica. 5. Aquecimento solar. 6. Automação. 7. LED.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 52 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes (continuação)

<i>Cluster</i> 05	<i>Cluster</i> 06	<i>Cluster</i> 07
<ol style="list-style-type: none"> 1. Automação. 2. Otimização. 3. Sistemas inteligentes. 4. Sistemas de controle. 5. Iluminação LED. 6. Conversão de energia. 7. Detectores de infravermelho. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eletrônica de potência. 2. Automação. 3. Controle. 4. LED. 5. Microcontrolador. 6. Conversores CC-CC. 7. OLED. 8. Internet das Coisas. 9. LEDs COB. 10. Controle digital. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Quantum dots</i>. 2. Sensores. 3. Materiais. 4. <i>Laser</i>. 5. LED. 6. OLED. 7. Infravermelho. 8. Substratos.

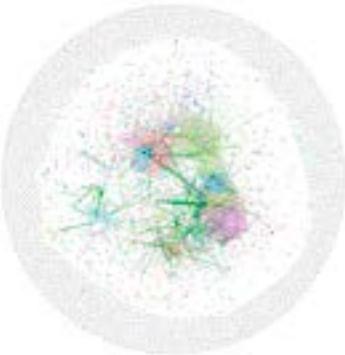
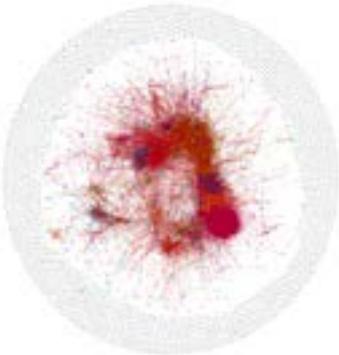
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do grau médio, ao considerar a similaridade semântica e a coautoria na rede colaborativa da macrotemática do GT Eficiência Energética, são apresentados na Tabela 53. As relações de similaridade semântica e coautoria ilustram, de forma mais clara, o relacionamento entre cada constituinte da rede colaborativa para com os demais indivíduos. As arestas verdes indicam uma interação de coautoria, enquanto as arestas vermelhas apontam uma interação de similaridade semântica. A análise direta

do número de colaborações de coautoria ou de similaridade semântica seria sensível na comparação entre redes muito díspares. Ou seja, o fato de uma rede apresentar, visualmente, um aglomerado de arestas relacionadas à coautoria ou à similaridade semântica não acarreta, necessariamente, em uma boa interação da rede de modo geral.

Sendo assim, é preciso adotar um parâmetro para que se possa analisar ou mesmo comparar tais relações de similaridade semântica e coautoria dentro de um universo específico. O indicador utilizado no presente estudo foi o grau médio. O valor resultante deste indicador representa o número de interações (arestas) de similaridade semântica dividido pelo número de pesquisadores de uma rede (nós) e multiplicado por dois. A duplicação é feita para considerar a relação de reciprocidade entre dois pesquisadores. Quanto maior o valor do grau médio, maiores são as interações dentro daquela rede colaborativa.

Tabela 53 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes

	Grau médio de coautoria	Coautoria	Grau médio de similaridade semântica	Similaridade semântica
Sistemas de Iluminação Eficientes	0,44		9,77	

Fonte: Elaboração própria.



A Tabela 54 apresenta as principais palavras-chave nas demais macrotemáticas do grupo Eficiência Energética.

Tabela 54 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* das redes colaborativas do GT Eficiência Energética

Macrotemática 02 Edificações Eficientes	Macrotemática 03 Indústria	Macrotemática 04 Saneamento
Energia renovável. Planejamento urbano. Aquecimento solar. Propriedade dos materiais de construção civil Climatização. Transferência de calor. Desempenho térmico. Isolante térmico. Ventilação natural. Desempenho energético de edificações. Aproveitamento de energia. Alvenaria estrutural. Revestimento.	Consumo de energia. Sistemas térmicos. Motor/gerador. Perdas de energia. Acionamento eletrônico. Acionamento de motores e bombas. Controle inteligente. Planejamento de sistemas. Automação de sistemas. Monitoramento de equipamentos. Controle adaptativo. Eficiência energética. Automação e controle. Integração de sistemas. Transferência de calor. Cogeração. Sistemas de climatização. Monitoramento em tempo real.	Cogeração. Biogás. Balanço de energia. Eficiência no uso da água. Tratamento de efluentes. Lodo de efluentes. Tratamento de resíduos sólidos. Tratamento de esgoto. Águas residuais. Biogás. Aterro sanitário. Metano. Geração de energia elétrica. Aproveitamento do lodo. Epanet. Eficiência hidráulica. Sistema de bombeamento.

Fonte: Elaboração própria.

Infraestrutura de CT&I

A avaliação da Infraestrutura de CT&I foi realizada com base no Diretório dos Grupos de Pesquisa (DGP), por meio do qual foram levantados laboratórios que possuem linhas de pesquisa correlatas ao setor elétrico. Essa base censitária apresenta mais de 37 mil grupos de pesquisa registrados, dos quais cerca de 5% desses registros do DGP desenvolvem projetos de CT&I relacionados ao setor elétrico nacional.

Os grupos correlatos ao setor elétrico foram devidamente classificados, levando-se em conta a aderência das suas linhas de pesquisa frente às macrotemáticas de cada grupo temático deste estudo. Foram identificados 479 laboratórios para o grupo Eficiência Energética, os quais estão distribuídos por macrotemática (vide Gráfico 63). Vale ressaltar que um laboratório pode desenvolver projetos de CT&I correlacionados a mais de uma macrotemática.

A macrotemática Indústria apresentou a maior produção científica para o grupo Eficiência Energética, conforme elucidado anteriormente no tópico de Produção de CT&I. Esse fato pode estar intimamente ligado à quantidade de laboratórios que essa macrotemática possui, explicitando uma relação direta de proporcionalidade entre a produção científica e a infraestrutura de CT&I. Os demais grupos temáticos apresentaram uma tendência similar à produção científica, em que apenas Sistemas de Iluminação Eficientes apresentou percentual um pouco menor, se comparado com a produção de CT&I dessa macrotemática.

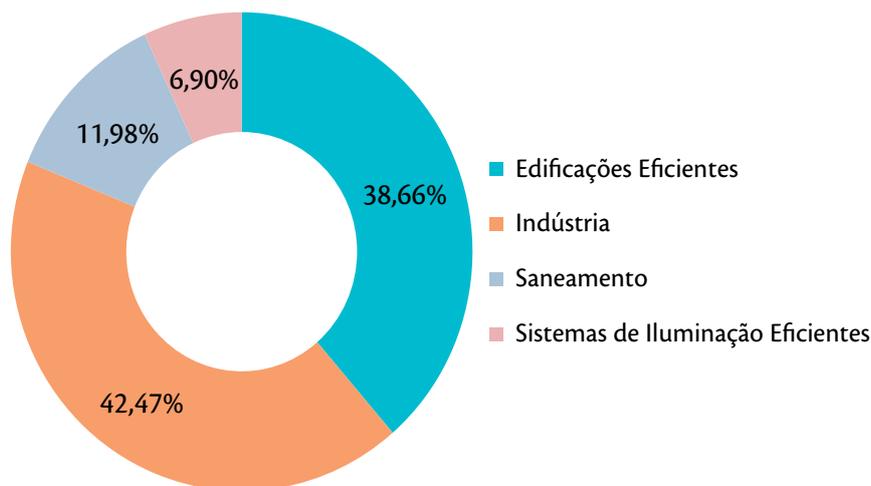


Gráfico 63 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

As informações obtidas por meio da base censitária do DGP permitem que se tenha uma visão macro da infraestrutura de CT&I do setor elétrico. No entanto nem todos os laboratórios ou grupos que tenham pesquisas correlatas ao setor elétrico estão registrados no DGP, existindo, ainda, aqueles que detêm seu cadastro desatualizado na base. Visando um diagnóstico das especificidades e da situação atual dos principais laboratórios de pesquisa do setor elétrico, realizou-se uma pesquisa de campo em todas as regiões brasileiras. As pesquisas constituíram-se em entrevistas com líderes de instituições e centros que abrigam os grupos de pesquisa proeminentes do setor elétrico.

Por meio dessa pesquisa de campo, foram consultados 285 laboratórios em mais de 100 instituições brasileiras. Os pesquisadores enquadraram suas respectivas linhas de pesquisa nos grupos temáticos em estudo, explicitando as macrotemáticas e as linhas de PD&I que estão em andamento ou podem



ser desenvolvidas pelo laboratório. Vale salientar que cada laboratório pode estar correlacionado a mais de uma macrotemática.

A base do DGP não possui campos que categorizem os grupos de pesquisa nem tampouco o estágio da cadeia de inovação em que se encontram. Esses parâmetros foram averiguados na pesquisa de campo, pela qual foi possível traçar um perfil dos laboratórios consultados. O grupo de Eficiência Energética apresenta baixa aderência para laboratórios de ensaios, testes e certificações, enquanto a maioria dos laboratórios encontra-se na categoria de grupo de estudo.

No que diz respeito ao estágio da cadeia de inovação, existem seis subdivisões que podem classificar os laboratórios, são elas: pesquisa básica dirigida, pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental, cabeça de série, lote pioneiro e inserção no mercado. O Gráfico 64 explicita que praticamente 80% da infraestrutura de CT&I e laboratórios do GT de Eficiência Energética se encontram nos três primeiros estágios da cadeia de inovação, apresentando, assim, uma atividade ínfima nos demais estágios.

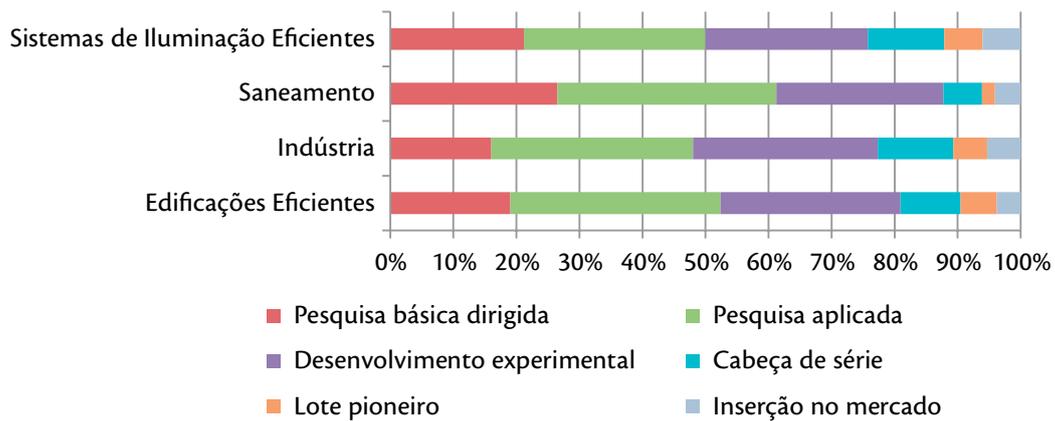


Gráfico 64 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu

No GT Eficiência Energética, contabilizou-se um total de 129 Programas de Pós-Graduação (PPGs), que realizam atualmente atividade de P&D relativo ao grupo.

Quando analisado por cada macrotemática, o número de PPGs contabilizados varia consideravelmente. O Gráfico 65, a seguir, apresenta a quantidade associada a cada macrotemática. Vale ressaltar que um mesmo PPG pode estar associado a mais de uma macrotemática. Portanto, a soma dos valores apresentados é maior que o total de PPGs distintos contabilizados para o grupo temático.

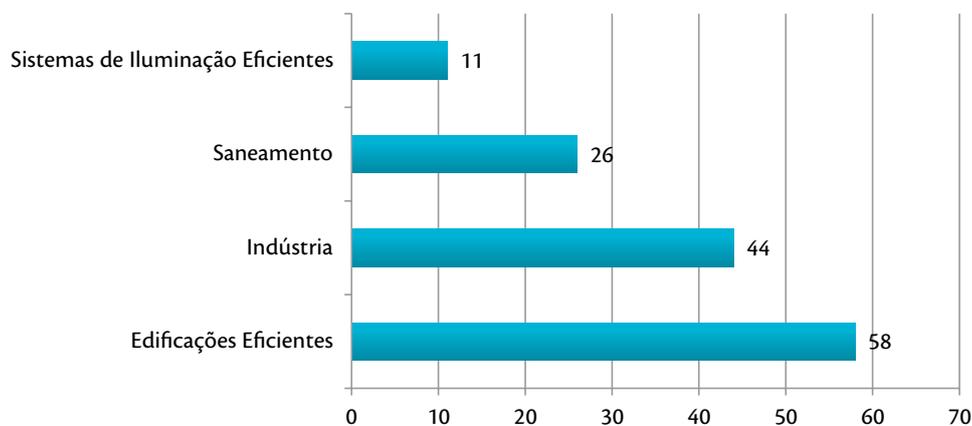


Gráfico 65 - Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

A distribuição de PPGs no país varia significativamente de acordo com cada macrotemática analisada no grupo temático. Nesse intuito, na Tabela 55, são apresentadas as cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática.



Tabela 55 - Ranking das cinco UF's com maior número de PPGs por macrotemática do GT Eficiência Energética (%)

	1º	2º	3º	4º	5º
Sistemas de Iluminação Eficientes	MG (27)	PB (18)	RJ (18)	ES (9)	MS (9)
Edificações Eficientes	MG (16)	PR (12)	SC (12)	SP (12)	RS (7)
Indústria	MG (27)	SP (23)	PR (9)	BA (7)	ES (5)
Saneamento	SP (19)	MG (12)	PB (12)	PR (12)	RJ (12)

Fonte: Elaboração própria.

O estado de Minas Gerais detém o maior número de PPGs nas macrotemáticas com exceção de Saneamento. É interessante notar as proporções significativas de programas do estado da Paraíba nas macrotemáticas Sistemas de Iluminação Eficientes e Saneamento. Também se destaca o estado do Espírito Santo nas macrotemáticas Sistemas de Iluminação Eficientes e Indústria.

O Gráfico 66 apresenta o número de instituições que financiam projetos de pesquisa relativos ao grupo temático. A análise é feita distinguindo-se as instituições por categoria e apresentando em quais macrotemáticas há o interesse das instituições financiadoras. O interessante de se ressaltar a natureza das instituições elencadas é que, por exemplo, muitas empresas financiam projetos de pesquisa com interesses específicos na obtenção de uma nova tecnologia ou capital humano para posterior utilização dos mesmos. De forma distinta, o interesse estratégico do financiamento de instituições de fomento à pesquisa, como CNPq ou Finep, faz parte de uma política nacional de fomento à atividade de CT&I. É importante ressaltar que os valores apresentados por categorias não somam a mesma quantidade que a soma dos valores apresentados por macrotemática. Isso se deve ao fato de que uma mesma instituição financiadora pode estar associada a mais de uma macrotemática se a mesma estiver financiando projetos em macrotemáticas diferentes. Portanto, a soma dos valores por macrotemática é maior que a soma dos valores por categoria.

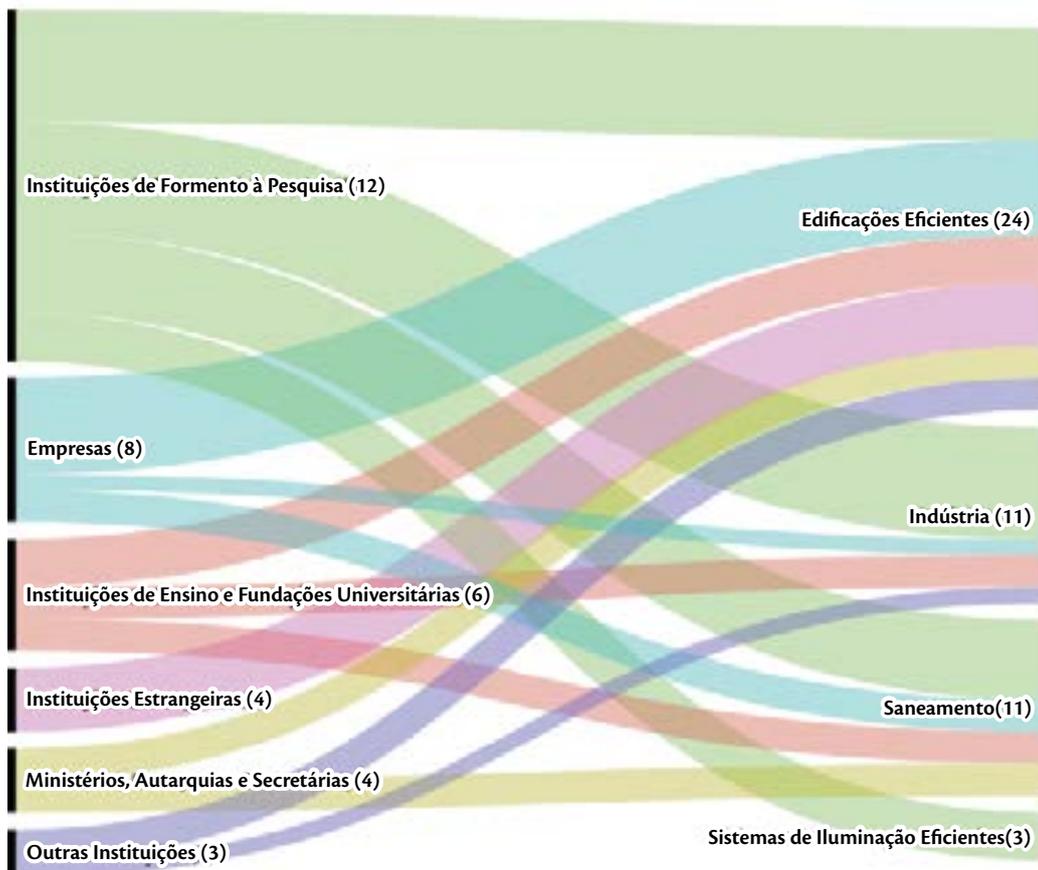


Gráfico 66 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que há um número consideravelmente maior de instituições financiando projetos relativos à macrotemática Edificações Eficientes. Não somente a quantidade de instituições é relevante, mas também o fato de que há instituições de todas as categorias determinadas. Dentre as empresas elencadas, cabe destacar a Eletrobras S.A. e a Baesa – Energética Barra Grande S.A. Além disso, nota-se que há instituições estrangeiras financiando diretamente projetos de pesquisa nas IEs relativa a essa macrotemática. São elas: Departamento de Educação dos Estados Unidos da América, Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico e a Embaixada da República Federal da Alemanha. É importante salientar que empresas e instituições estrangeiras caracterizam-se por financiar um número reduzido de projetos de pesquisa, enquanto as instituições de fomento à pesquisa e instituições de ensino



financiam um número elevado de projetos, majoritariamente por meio de concessão de bolsas de estudos. O total de instituições elencadas é de 37.

Mecanismos de Fomento

Na presente seção, faz-se uma análise acerca de projetos de P&D relativos ao GT Eficiência Energética, financiados por quatro distintas agências de fomento: Aneel, CNPq, Finep e BNDES Funtec. Conforme descrito na metodologia, é importante ressaltar que os projetos analisados do CNPq e Finep são apenas aqueles cujos recursos foram oriundos do FNDCT. Além disso, os dados obtidos de projetos da Aneel são aqueles cujo data de início compreende-se entre os anos de 2008 e 2016, enquanto os dos projetos do CNPq e Finep estão entre 2007 e 2015.

A Tabela 56 apresenta as principais estatísticas descritivas dos projetos analisados por cada agência de fomento no período de 2007 a 2016.

Tabela 56 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Eficiência Energética por agência de fomento – 2007-2016

	Aneel	CNPq	Finep	BNDES Funtec
Quantidade de projetos	110	57	24	5
Valor total dos projetos (R\$ mil)	227.501,18	7.160,92	66.759,66	48.700,09
Valor médio (R\$ mil)	2.068,19	125,63	2.781,65	9.740,02
Valor mínimo (R\$ mil)	224,07	11,79	116,88	3.269,09
Quartil inferior dos valores (R\$ mil)	871,35	36,09	957,40	3.453,00
Mediana dos valores (R\$ mil)	1.414,46	79,93	1.703,72	4.616,79
Quartil superior dos valores (R\$ mil)	2.508,65	160,34	4.055,64	12.693,71
Valor máximo (R\$ mil)	16.461,31	589,73	11.968,14	24.667,50

Obs.: valores atualizados pelo IPCA em 31 dez. 2016.

Fonte: Elaboração própria.

Considerando os projetos das quatro agências de fomento, têm, no Gráfico 67, as proporções entre valores investidos por cada agência em cada macrotemática.

O GT Eficiência Energética é o que possui proporcionalmente menor investimento da Aneel. Como pode ser visto acima, as proporções investidas pela Aneel variam entre 42% e 70% aproximadamente em cada macrotemática. No caso de Saneamento, o BNDES Funtec foi quem investiu maior valor, representando aproximadamente 52% do total da macrotemática. Edificações Eficientes foi a que teve, proporcionalmente, maior investimento da Finep, com aproximadamente 27% do total investido na macrotemática. Nota-se que o CNPq investiu, proporcionalmente, pouco em todas as macrotemáticas.

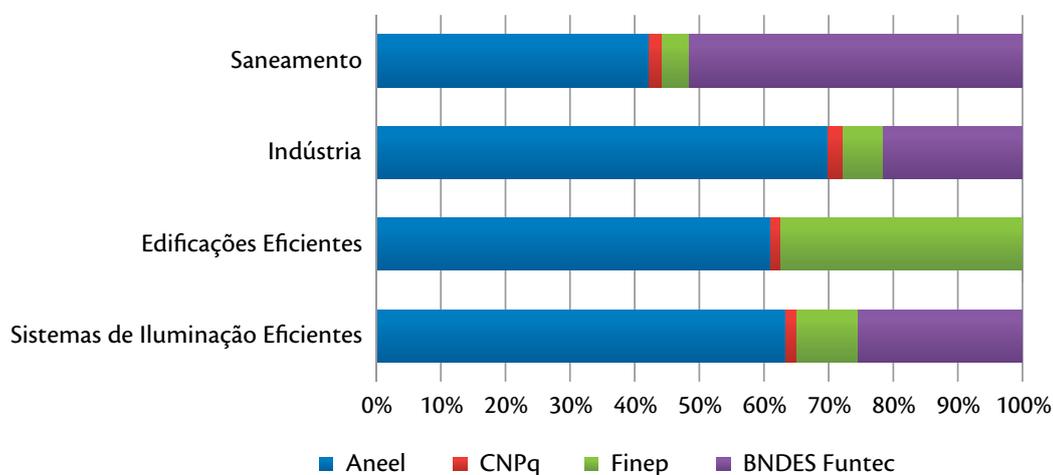


Gráfico 67 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Eficiência Energética e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)

Fonte: Elaboração própria.

O GT Eficiência Energética é o que possui, proporcionalmente, menor investimento da Aneel. Como pode ser visto acima, as proporções investidas pela Aneel variam entre 42% e 70% aproximadamente em cada macrotemática. No caso de Saneamento, o BNDES Funtec foi quem investiu maior valor, representando aproximadamente 52% do total da macrotemática. Edificações Eficientes foi a que teve, proporcionalmente, maior investimento da Finep, com aproximadamente 27% do total investido na macrotemática. Nota-se que o CNPq investiu, proporcionalmente, pouco em todas as macrotemáticas.



6.2.5. Planejamento Estratégico

Os indicadores de política de médio e longo prazo estão elucidados na Tabela 57, eles apresentam as perspectivas apontadas pelos representantes da governança do setor elétrico, como o MME, EPE, CCEE, Aneel e ONS.

As macrotemáticas Sistemas de Iluminação Eficientes e Edificações Eficientes apresentam, segundo os representantes da governança do setor elétrico, uma perspectiva de médio prazo mediana, enquanto, em longo prazo, essa concepção se apresenta com alta prioridade.

A indústria é um dos principais consumidores de energia elétrica, sendo um dos setores prioritários que busca por eficiência energética em suas atividades, com o intuito de, por exemplo, reduzir custos operacionais da produção de modo geral. Somado a isso, existem ainda incentivos por parte do governo que direcionam a aplicação de recursos que desenvolvam dispositivos ou mecanismos que otimizem o uso da energia elétrica no setor industrial, como, por exemplo, o art. 5º da Lei nº 9.991/2000. Sendo assim, existe uma alta prioridade para a macrotemática Indústria tanto a médio quanto a longo prazo no âmbito da eficiência energética.

Há uma perspectiva diminuta de desenvolvimento a médio prazo para Saneamento, embora se tenha elevado potencial energético intrínseco a essa macrotemática. Nesse sentido, a estrutura de CT&I, ainda, está sendo amadurecida para o desenvolvimento de tecnologias que permitam explorar ao máximo os recursos existentes, como, por exemplo, a otimização de processos e métodos de sistemas de água e esgoto para que se atinja um patamar de eficiência satisfatório do ponto de vista operacional. No entanto espera-se que, a longo prazo, as tecnologias correlatas a Saneamento tenham se desenvolvido a ponto de superar as barreiras encontradas na atualidade.

Tabela 57 - Priorização das macrotemáticas do GT Eficiência Energética no contexto do planejamento estratégico

	Política de médio prazo (2026)	Política de longo prazo (2050)
Sistemas de Iluminação Eficientes	Média prioridade	Alta prioridade
Edificações Eficientes	Média prioridade	Alta prioridade
Indústria	Alta prioridade	Alta prioridade
Saneamento	Média prioridade	Alta prioridade

Fonte: Elaboração própria.

6.3. Construção de Futuro

6.3.1. Visão de Futuro

Entende-se por eficiência energética, em termos de conservação de energia, sistema ou processo eficiente que possibilite a redução das perdas e otimize o uso da energia. A eficiência energética relaciona-se à: redução de consumo de energia, conservação do meio ambiente (redução da emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes), segurança energética (redução de dependência de importação de fontes de energia de outros países), redução de custos (tanto para o fornecedor quanto para o usuário final), expansão econômica e criação de empregos (SCHNAPP et al., 2012).

Embora se entenda que o termo “eficiência energética” abranja ações voltadas à mitigação do consumo de energia de forma geral, no contexto deste trabalho, o termo diz respeito à conservação da energia elétrica. A cogeração, portanto, é considerada, neste estudo, desde que aplicada à mitigação do consumo de eletricidade. Além dos processos de cogeração, o uso de fontes, como solar fotovoltaica, biomassa, gás (natural e de síntese), hídrica e eólica de pequeno porte, por exemplo, emergem como meios colaborativos à mitigação do consumo de energia elétrica.

Considerando esses aspectos, é plausível caracterizar as possíveis temáticas em que as ações de eficiência energética fazem sentido neste estudo. São elas: indústria, saneamento, sistemas e iluminação eficiente e edificações eficientes.

No caso da indústria, por exemplo, a aplicação de fontes complementares de geração de energia elétrica e cogeração é uma realidade incipiente no Brasil. Estima-se que, até o ano de 2024, 13.445 GWh de energia elétrica sejam conservados nesse segmento. Isso representa 5,3% da energia total a ser conservada (EPE,2016). Esse quadro poderia ser um pouco mais promissor se fossem aplicadas políticas corretas e eficazes de desenvolvimento de normas, leis, bem como de CT&I e da cadeia produtiva para atenderem à demanda do setor.

Da mesma forma que na indústria, o país precisa desenvolver mecanismos de fomento eficazes para o desenvolvimento de ações de conservação da energia elétrica em todos os segmentos da economia.

Levando em conta o aporte da P&D, via programas como o P&D Aneel, apresenta-se, a seguir, o horizonte mais promissor para as tecnologias de conservação de energia nos segmentos industrial, de saneamento, sistemas de iluminação e edificações.



Tabela 58 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática do grupo de Eficiência Energética

Macrotemática	Objetivo geral
	<p>Sistemas de Iluminação Eficientes – viabilizar a introdução de novas tecnologias para produtos e componentes e estimular novas concepções de projetos que atenderiam ao setor de serviços, permitindo a superação de gaps tecnológicos e de conhecimento e promovendo a sua sinergia com os avanços tecnológicos de outras áreas. A promoção de novas abordagens, que assumem o usuário do serviço como foco principal, resultarão em melhor aproveitamento do potencial do setor para economizar energia, reduzir custos de projeto, produção, instalação, uso, manutenção e desmobilização de sistemas de iluminação e mitigar impactos ambientais associados a essas fases de seu ciclo de vida.</p>
	<p>Edificações Eficientes – otimizar a eficiência energética das edificações, objetivando torná-las sustentáveis energeticamente, mantendo condições adequadas de conforto ambiental, principalmente por meio de estratégias passivas, ativas eficientes e integração de ambas, além da produção de energia in loco a fim de suprir as próprias necessidades e eventualmente do entorno, reduzindo, assim, a demanda global.</p>
	<p>Indústria – inovação para os setores industriais que tenham maior impacto na análise global do fluxo energético. Abordagem estratégica e sistematizada, com métodos específicos para resolução dos problemas e aperfeiçoamento de processos focados na redução dos custos de manufatura, consequentemente melhorando a eficiência no sistema energético do setor, aliado ao aprimoramento dos métodos de cogeração e integração dos sistemas.</p>
	<p>Saneamento – aprimoramento nos serviços de água e esgoto por ser este um mercado com alto impacto na matriz energética nacional, bem como a utilização de insumos desses serviços para produção de energia elétrica. Desenvolvimento e implantação de soluções tecnológicas capazes de promover mudança na forma de operar tais sistemas pelos prestadores de serviço, fortalecimento do ambiente de governança favorável pela via da construção do conhecimento dos stakeholders e adaptação de sistemas de saneamento para atender aos novos padrões de consumo da sociedade, às mudanças climáticas e aos conceitos de cidades resilientes.</p>

Fonte: Elaboração própria.

6.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas

Considerando o aporte da PD&I para que se alcancem esses objetivos, foi prospectada a evolução de maturidade tecnológica das rotas consideradas no projeto. O Gráfico 68 apresenta, para cada macrotemática, a porcentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta para os anos de referência (2017, 2020, 2025, 2030, 2040 e 2050). Referem-se ao grau de maturidade as rotas que foram levantadas, não implicando dizer que outras rotas ou tecnologias possam surgir ao longo do período analisado.

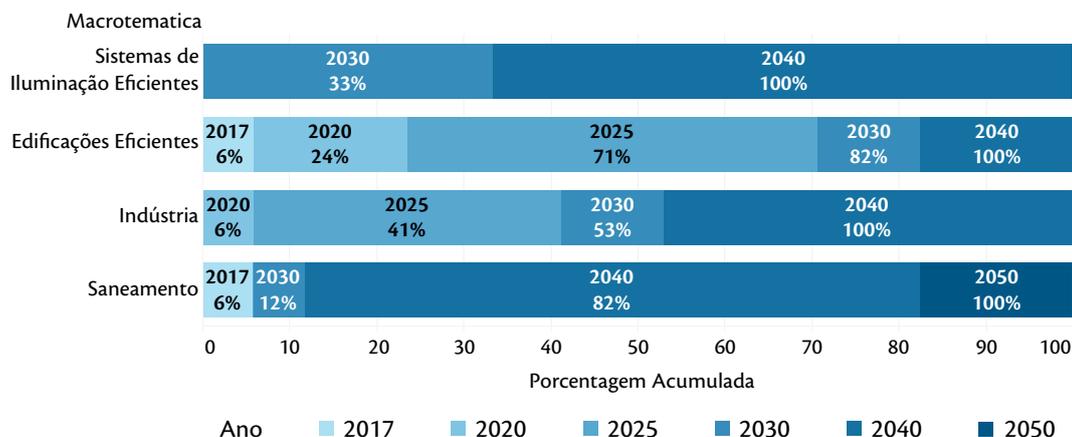


Gráfico 68 - Percentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta por macrotemática, para o grupo de Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução tecnológica ocorra tal qual apresentado acima, foram identificados fatores condicionantes ao desenvolvimento dos temas considerados. Nesse sentido, destaca-se que é imprescindível maior interação da Academia com a Indústria, fomento de maior infraestrutura laboratorial, investimento em capacitação e formação profissional, considerando a reformulação de cursos e currículos para melhor adequação às exigências do mercado e fortalecimento da cadeia produtiva nacional.

6.3.3. Priorização

Considerando o retrato da cadeia de CT&I do setor, os objetivos definidos para o desenvolvimento de PD&I, a evolução da maturidade das tecnologias consideradas, a interdependência entre rotas e a perspectiva de retorno tecnológico e financeiro, foram identificadas as rotas prioritárias para desenvolvimento e investimento no contexto de cada macrotemática. Os tópicos priorizados, para cada macrotemática, são elencados na Tabela 59.



Tabela 59 - Tópicos priorizados, para cada macrotemática, do grupo de Eficiência Energética

Macrotemática	Prioridade
Sistemas de Iluminação Eficientes	Desenvolvimento de modelos analíticos próprios. Desenvolvimento de tecnologias para agregar valor local (cadeia produtiva).
Edificações Eficientes	Metodologia para otimização de bases de dados. Caracterização de materiais
Indústria	Indicadores e <i>benchmark</i> . Padrões, normas e regulamentos
Saneamento	Modelos econômico-financeiros para eficiência energética. Otimização de sistemas de água e de esgoto

Fonte: Elaboração própria.

6.4. Considerações Finais

A eficiência energética tem ganhado notoriedade maior do que um aspecto puramente técnico, sendo considerada a influência dos consumidores, os aspectos comportamentais, as questões ambientais, bem como o levantamento de dados atrelados ao consumo. Apesar dessa dimensão, é notória a deficiência no que tange à estrutura de CT&I, nesse sentido, o Brasil precisa de uma definição em questões regulatórias e tecnológicas, a fim de que se tenha um desenvolvimento pleno e que se alcance um alto grau de maturidade consequentemente os objetivos básicos de um sistema mais eficiente, que é, no mínimo, a redução do consumo de energia elétrica.

As macrotemáticas Sistemas de Iluminação Eficientes, Edificações Eficientes, Indústria e Saneamento têm alto impacto na matriz energética, o que torna o uso eficiente de energia nesses setores fator determinante nos aspectos relacionados à expansão do SEB, tal fato se confirma com a expressiva participação de projetos de edificações eficientes e de eficiência energética na indústria nos Programas de P&D Aneel.

Vale ressaltar que as questões de eficiência são muito específicas e o Brasil tem dado uma atenção especial à indústria, fato ressaltado pela proporção de artigos nesse tema, bem como a quantidade de patentes. De modo geral, a busca por integração de processos, a cogeração, o levantamento de dados, o mapeamento do processo e a interface com usuário são aspectos de grande relevância e que se mostram comum à maioria dos processos.



Capítulo 7



Capítulo 7

Grupo Temático: Assuntos Sistêmicos

7.1. Introdução

O GT Assuntos Sistêmicos contempla questões relacionadas à gestão do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), endereçadas aos aspectos econômicos e institucionais, aos impactos técnico-econômicos e socioambientais da expansão e operação do sistema, de confiabilidade operacional e de impactos das novas tecnologias, além de tópicos transversais e de sistemas de informação sobre a estrutura e o desempenho do SEB.

As macrotemáticas relativas ao GT Assuntos Sistêmicos são sintetizadas a seguir.

7.1.1. Conceitos das Macrotemáticas

Planejamento de CT&I

Aborda as possibilidades de PD&I aplicadas a estudos de identificação, priorização e planejamento de linhas de PD&I e ações de CT&I. Busca estabelecer métodos e modelos para planejamento de CT&I, com vista a qualidade de energia e na inovação operativa e econômica, considerando as propostas de aprimoramento do modelo do setor elétrico em fase de consulta no Ministério de Minas e Energia (MME).

Modelos Econômicos e de Mercado

Abordam as possibilidades de PD&I aplicadas a modelos para análise da evolução do sistema, do desenho de mercado e da avaliação de interações intersetoriais. O desenvolvimento da PD&I, nessa macrotemática, visa a criar métodos de otimização econômica e operacional, com foco na segurança do sistema, em inovações tecnológicas, na saúde econômico-financeira e na inserção social dos agentes.

Demanda por Energia Elétrica

Aborda as possibilidades de PD&I sobre o comportamento do consumo de energia elétrica e sobre a necessidade de gerenciamento pelo lado da demanda, considerando as inovações tecnológicas e a difusão da geração distribuída. Tem como foco a segurança e a economicidade operativa, juntamente com o aperfeiçoamento das estratégias de manutenção dos equipamentos do sistema elétrico.

Modelos de Planejamento da Operação

Abordam as possibilidades de PD&I em relação aos modelos de pré-despacho (dia seguinte), de planejamento de curto prazo (semana seguinte) e de planejamento de médio prazo (mês seguinte), com foco na sustentabilidade, na segurança e na economicidade da operação integrada e evolutiva do SIN.

Modelos de Planejamento da Expansão

Abordam as possibilidades de PD&I associadas ao planejamento da expansão do sistema, em curto e médio prazos (5 a 15 anos) e em longo prazo (acima de 20 anos), com vista a atualizar a modelagem da expansão, em ampliar e incluir novos preceitos técnicos e novas modalidades de formação de preços, de modo a melhor representar as possíveis trajetórias de expansão do SIN.



Modelos Institucionais

Abordam as possibilidades de PD&I aplicadas à modelagem da estrutura de governança setorial, que rege a atuação de agentes do sistema (planejador, regulador, operador) e do mercado (gerador, comercializador, distribuidor, etc.), em todos os níveis de governo responsáveis por políticas públicas, pela regulação e pelo planejamento. Abordam também modelos setoriais, no que tange às melhores formas de integração, nos âmbitos socioambiental e operacional, em conformidade com a governança setorial.

Regulação

Aborda as possibilidades de PD&I aplicadas à análise e síntese de marcos regulatórios voltados ao ordenamento das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, sob os aspectos de coordenação, confiabilidade, concorrência e competitividade entre os agentes que atuam no setor elétrico brasileiro. Visa a induzir, mediante a atuação do órgão regulador, a excelência operativa, dentro do SEB e de suas possíveis interligações internacionais.

Sistemas de Informação e Estatística

Abordam as possibilidades de PD&I aplicadas à estruturação e à gestão de bases de dados do SEB, com foco em segurança cibernética, em metodologias de gestão, em padrões de desenvolvimento de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e estatística aplicada, visando a modernizar os sistemas de operação e controle das redes e fontes energéticas.

Análise dos Impactos das Tecnologias

Aborda as possibilidades de PD&I aplicadas a modelos de avaliação de impactos das tecnologias aplicadas ao setor elétrico, considerando várias dimensões: econômica, social e ambiental. Visa avaliar e mitigar as externalidades associadas à expansão do sistema elétrico, necessária ao atendimento da crescente demanda de energia elétrica.

Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Abordam as possibilidades de PD&I aplicadas a modelos para formulação e avaliação de políticas públicas no âmbito de CT&I voltada aos setores de energia, da indústria e da economia em geral, incluindo aspectos socioambientais e políticas internacionais, entre outras, que favoreçam o desenvolvimento do SEB. Os modelos devem permitir a análise e verificação de políticas públicas, de forma a garantir o desenvolvimento do SEB.

Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

Abordam as possibilidades de PD&I aplicadas aos processos de normatização e adequação às normas, de certificação e garantia de conformidade, qualidade e segurança ao longo da cadeia produtiva do SEB, englobando metrologia, normalização e regulamentação técnica, avaliação de conformidade, governança e vigilância de mercado. Visam a otimizar ferramentas de controle, proteção e medição e busca adequações operativas e financeiras em todo o sistema elétrico.

Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

Aborda as possibilidades de PD&I aplicadas à identificação de perfis de profissionais necessários ao SEB, bem como as metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos, com o objetivo de melhorar a qualificação dos profissionais que atuam nesse setor. Visa, também, otimizar a transferência de conhecimento tecnológico de origem internacional, lastreado em eletrônica de potência aplicada em sistemas de controle, operação, no desenvolvimento de novos equipamentos e na sua integração à operação e manutenção do sistema.



7.2. Diagnóstico

7.2.1. Socioambiental

A questão ambiental é uma dimensão fundamental para definir uma estratégia de futuro, seja de um governo, seja de uma empresa. A preocupação ambiental deve acompanhar o desenvolvimento científico. Todavia definir o impacto de algo que ainda não existe, como é o caso das linhas de PD&I, é muito especulativo. Por outro lado, é possível criar uma régua de comparação com base nas experiências e expectativas de especialistas.

Os indicadores de dimensão ambiental foram criados para analisar os impactos causados no meio ambiente pelas tecnologias associadas às macrotemáticas. Para isso, foram consultados, por meio de um questionário, especialistas do setor em relação aos impactos ambientais em cinco quesitos: poluição do ar, poluição da água, poluição sonora, temperatura global e fertilidade do solo. Como as macrotemáticas do grupo tratam de modelos e conhecimento, em relação à dimensão ambiental, nenhuma das macrotemáticas apresenta impacto nesse quesito. Porém é importante frisar que a macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias considera a questão ambiental como forma de impacto das tecnologias do setor elétrico como um todo, ou seja, considera os modelos de análise dos impactos ambientais das tecnologias prospectadas nos outros grupos temáticos.

Assim como a dimensão ambiental, a preocupação com a Dimensão Social é cada vez maior e a estratégia para o desenvolvimento científico deve estar pautada nessa dimensão. Os indicadores de Dimensão Social buscam mapear o universo das macrotemáticas em relação à expectativa de geração de empregos diretos e indiretos, de remuneração atribuída aos empregos gerados e de qualificação esperada para a ocupação dessas vagas. A Tabela 60 abaixo apresenta a percepção para esses indicadores no GT Assuntos Sistêmicos.

Tabela 60 - Indicadores de Dimensão Social do GT Assuntos Sistêmicos

	Geração de empregos	Remuneração	Qualificação
Planejamento de CT&I	2	3	3
Modelos Econômicos e de Mercado	1	3	3
Demanda por Energia Elétrica	2	3	3
Modelos de Planejamento da Operação	2	3	3
Modelos de Planejamento da Expansão	2	2	3
Modelos Institucionais	3	2	3
Regulação	2	3	3
Sistemas de Informação e Estatística	2	2	3
Análise dos Impactos das Tecnologias	3	2	3
Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	1	2	3
Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	1	2	3
Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	3	1	3

Geração de empregos: (1) Expectativa de baixa geração de empregos diretos e indiretos; (2) Expectativa de média geração de empregos diretos e indiretos; (3) Expectativa de alta geração de empregos diretos e indiretos. **Remuneração:** (1) Expectativa de geração de empregos de baixa remuneração; (2) Expectativa de geração de empregos de média remuneração; (3) Expectativa de geração de empregos de alta remuneração. **Qualificação:** (1) Expectativa de geração de empregos que demandem ensino médio e/ou curso técnico; (2) Expectativa de geração de empregos que demandem graduação e/ou especialização; (3) Expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado.

Fonte: Elaboração própria.

Para as macrotemáticas Políticas Públicas, Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade, e Modelos Econômicos e de Mercado, os resultados apontaram que há uma expectativa baixa de geração de empregos diretos e indiretos. Acredita-se que essa atribuição deve-se ao baixo investimento em infraestrutura de pesquisa ou pela pouca efetividade quanto à ampliação significativa do número de postos de trabalho, no que se refere à relação esperada entre os resultados da PD&I e a ampliação dos postos de trabalho. Em contrapartida, há expectativa de alta geração de empregos para as macrotemáticas Modelos Institucionais, Análise dos Impactos das Tecnologias e Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos. Para o restante das macrotemáticas, há expectativa de média geração de empregos.



Em relação à expectativa de remuneração, as macrotemáticas Planejamento de CT&I, Demanda por Energia Elétrica, Modelos de Planejamento da Operação, Modelos Econômicos e de Mercado e Regulação foram assinaladas que há expectativa de geração de empregos de alta remuneração. Praticamente todo o restante das macrotemáticas foram classificadas com valor 2, indicando uma expectativa de geração de empregos diretos (i.e., empregos no SEB) e indiretos (i.e., outros empregos gerados) de média remuneração. A exceção é a macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos. Isso se deve, em parte, ao alto número de empregos existentes atualmente e, aliado com o fato de haver expectativa de alta geração de empregos, haja um excesso de oferta de mão de obra relativa à macrotemática em questão.

No que tange à qualificação predominante nos empregos gerados, foi indicado para as doze macrotemáticas deste grupo a expectativa de geração de empregos que demandem mestrado e/ou doutorado.

7.2.2. Produção de CT&I

Artigos

São considerados produção científica para fins deste estudo os artigos científicos de publicações nacionais e internacionais revisadas por pares e que representem contribuições originais para a área. Podem ser levantadas as publicações desse tipo em periódicos científicos nacionais e internacionais através do acesso a bases como o *Web Of Science*[™] e à base Scopus. Ambas as bases são reconhecidas por proporcionarem pesquisas confiáveis, integradas e multidisciplinares e de informações influentes e relevantes.

Para fins deste estudo, serão considerados apenas os artigos com índice *Qualis* da Capes superior ou igual a B2 (isto é, A1, A2, B1 e B2), de modo a restringir o foco da pesquisa à produção científica mais qualificada. Foi considerado o período 2006-2015.

Observa-se que a macrotemática Modelos Institucionais é a mais trabalhada em termos de produção científica, tanto no Brasil quanto no mundo. O Brasil apresenta uma participação relativamente maior em Modelos de Planejamento da Expansão, Modelos de Planejamento da Operação e Planejamento de CT&I em comparação com a produção científica mundial. Já a produção científica mundial apresenta uma participação relativamente maior na macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado, em comparação com a composição da produção científica brasileira.

A Tabela 66 apresenta o *ranking* de países na produção científica mundial por macrotemáticas de Assuntos Sistêmicos.

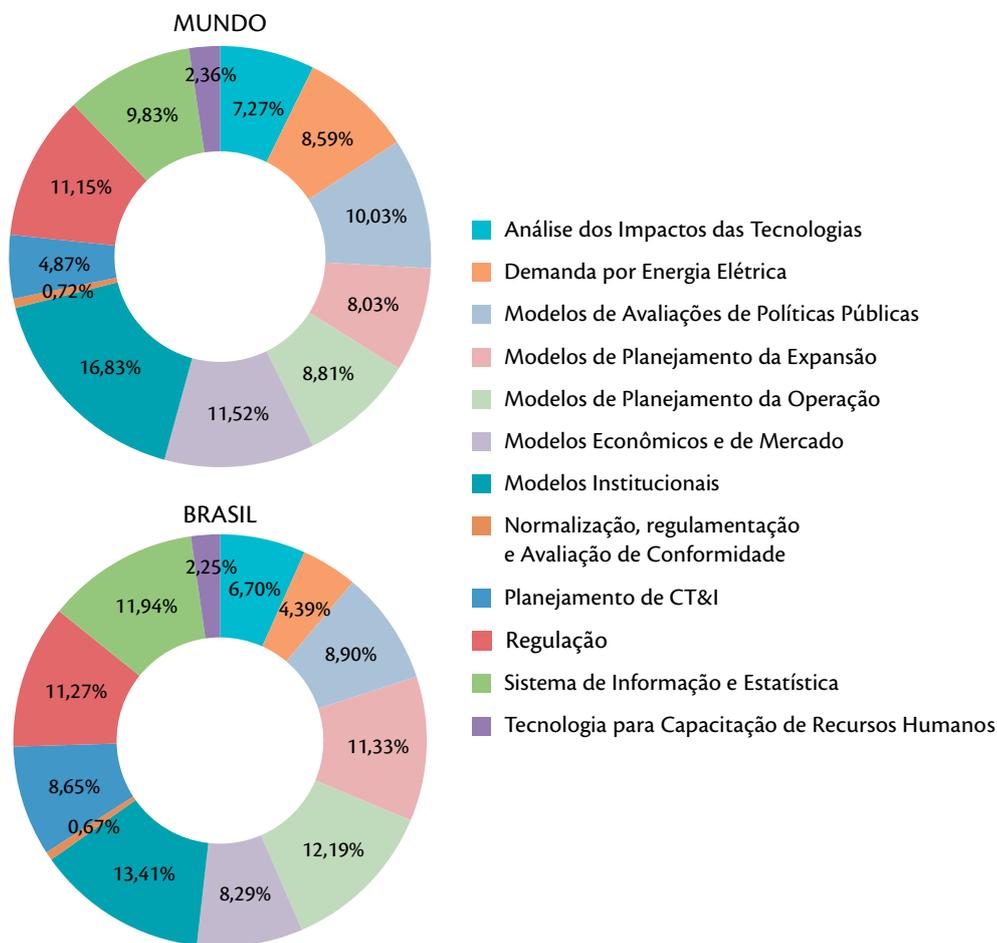


Gráfico 69 - Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 61 - Ranking, por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Assuntos Sistêmicos

	1º	2º	3º	4º	5º	Colocação Brasil
Planejamento de CT&I	EUA	China	Irã	Brasil	Espanha	4º
Modelos Econômicos e de Mercado	EUA	China	Irã	Espanha	Alemanha	15º
Demanda por Energia Elétrica	EUA	China	Irã	Espanha	Alemanha	19º
Modelos de Planejamento da Operação	EUA	China	Irã	Alemanha	Índia	7º
Modelos de Planejamento da Expansão	EUA	China	Irã	Alemanha	Espanha	7º
Modelos Institucionais	EUA	China	Irã	Espanha	Alemanha	13º
Regulação	EUA	China	Irã	Índia	Alemanha	9º
Sistemas de Informação e Estatística	EUA	China	Irã	Espanha	Índia	9º
Análise dos Impactos das Tecnologias	EUA	China	Alemanha	Irã	Espanha	11º
Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	EUA	China	Alemanha	Espanha	Austrália	13º
Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	EUA	China	Irã	Índia	Alemanha	12º
Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	EUA	China	Irã	Espanha	Austrália	12º

Fonte: Elaboração própria.

No *ranking* de países referente à produção científica mundial na área de Assuntos Sistêmicos, o Brasil encontra-se relativamente bem posicionado em algumas macrotemáticas, com destaque para Planejamento de CT&I, Modelos de Planejamento da Expansão, Modelos de Planejamento da Operação, Regulação e Sistemas de Informação e Estatística.

O Gráfico 70 apresenta a evolução da produção científica no Brasil e no mundo por macrotemáticas da área de Assuntos Sistêmicos.

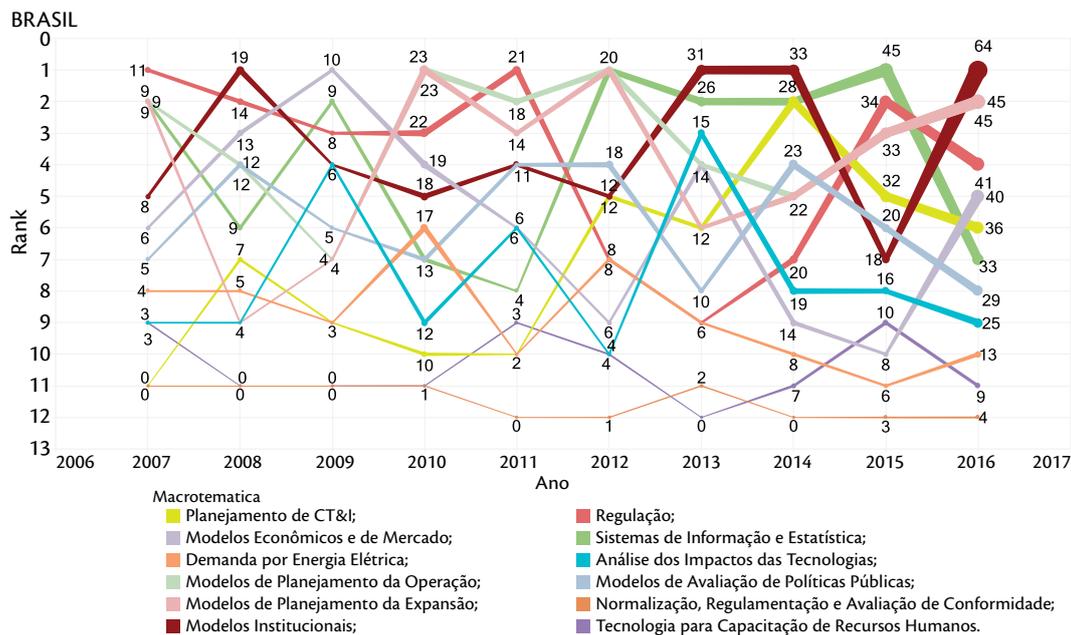


Gráfico 70 - Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

No cenário brasileiro, observa-se uma oscilação forte da composição da produção científica por macrotemáticas na área de Assuntos Sistêmicos. Em 2016, Modelos Institucionais, Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade e Regulação foram as macrotemáticas com maior destaque.

Eventos

Além da produção científica, podem ser considerados, ainda, outros tipos de produção intelectual, como os trabalhos técnicos publicados em eventos do setor promovidos pelas empresas ou por associações e os artigos técnicos correspondentes aos projetos do Programa de P&D Aneel.

As publicações em eventos do setor são, geralmente, menos qualificadas do que as publicações científicas, uma vez que o processo de submissão/aprovação tende a ser menos rigoroso que o da publicação em periódicos revisados por pares. No entanto contém informação relevante no sentido



de que apontam as temáticas de debate nacional de relevância no setor. Muitas empresas preferem publicar em eventos do que em artigos científicos.

A produção complementar foi analisada a partir das bases de dados de três grandes eventos do SEB, onde as empresas do setor costumam publicar: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – Citenel (2005-2015), Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – Sendi (2004-2014), Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE (2005-2015).

Dentre os eventos, o Sendi tem seu foco na distribuição de energia elétrica e, portanto, é esperada maior concentração de artigos nessa área. Por outro lado, o SNPTEE tem sua visão focada na produção e transmissão de energia elétrica. Por fim, o Citenel trata da inovação tecnológica no SEB em geral. É importante ressaltar que o Seminário de Eficiência Energética no Setor Elétrico (Seenel), que ocorre concomitantemente com o Citenel desde 2009, não foi considerado na base de dados de produção complementar utilizada.

O Gráfico 71 apresenta a distribuição da produção complementar em Assuntos Sistêmicos por macrotemáticas e como essa produção se distribui nos eventos do setor elétrico. Observa-se que as macrotemáticas com maior produção complementar são Modelos Econômicos e de Mercado (21,2%), Sistemas de Informação e Estatística (15,7%) e Modelos Institucionais (10,1%). Já os eventos com maior produção complementar são SNPTEE e Sendi.

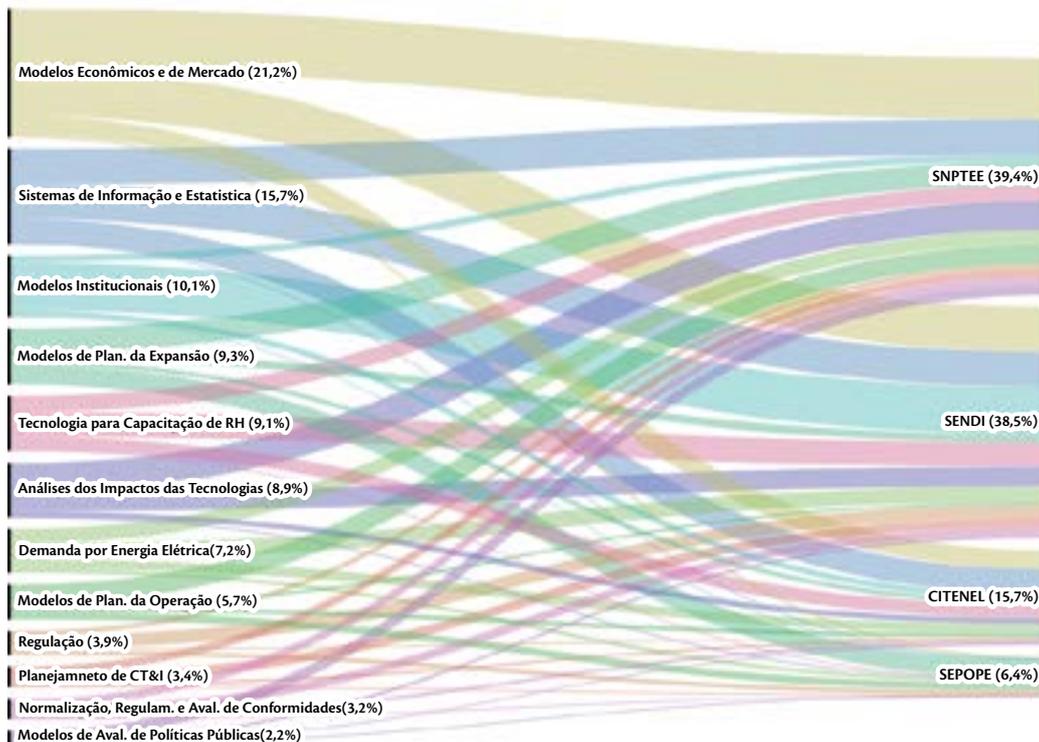


Gráfico 71 - Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

Aneel

O Programa de P&D da Aneel incentiva o desenvolvimento de projetos de P&D no setor de energia elétrica, os quais devem ser originais e inovadores e ter metas e resultados previstos. Portanto é uma base importante a considerar. O Gráfico 72 apresenta o percentual de projetos P&D Aneel por macrotemáticas do grupo de Assuntos Sistêmicos.

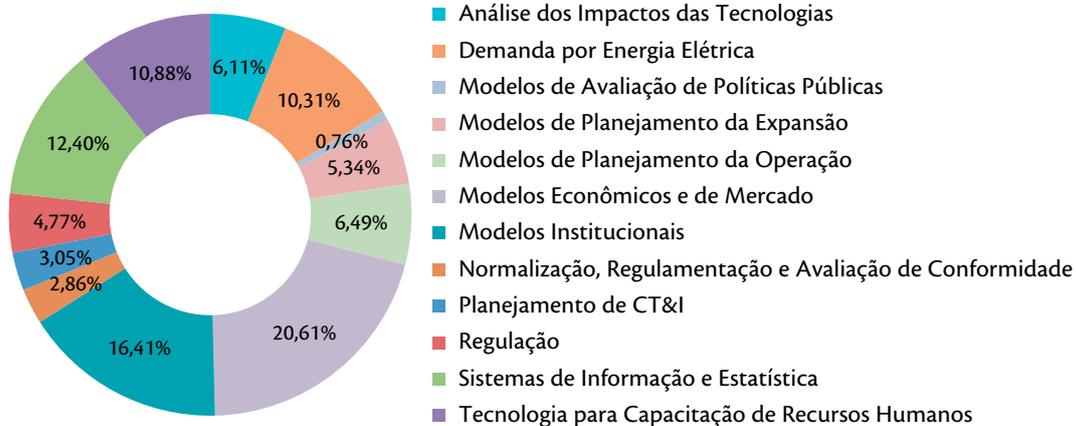


Gráfico 72 - Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que as macrotemáticas de Assuntos Sistêmicos com maior participação em projetos de P&D Aneel são Modelos Econômicos e de Mercado e Modelos Institucionais. Em seguida, destaca-se a participação das macrotemáticas de Sistemas de Informação e Estatística, Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos e Demanda por Energia Elétrica. A macrotemática com menor participação em projetos de P&D Aneel é Modelos de Avaliação de Políticas Públicas.

O Gráfico 73 apresenta o estágio da cadeia de inovação em que se encontram os projetos de P&D de Assuntos Sistêmicos em cada macrotemática do grupo. De forma geral, os projetos estão mais fortemente concentrados na etapa de pesquisa aplicada. Algumas macrotemáticas já apresentam alguns projetos em atividades mais avançadas da cadeia de inovação, como cabeça de série e lote pioneiro. São elas: Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos, Sistemas de Informação e Estatística, Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade e Análise dos Impactos das Tecnologias. Destacam-se as macrotemáticas Sistemas de Informação e Estatística e Demanda por Energia Elétrica, que apresentaram inserção no mercado.

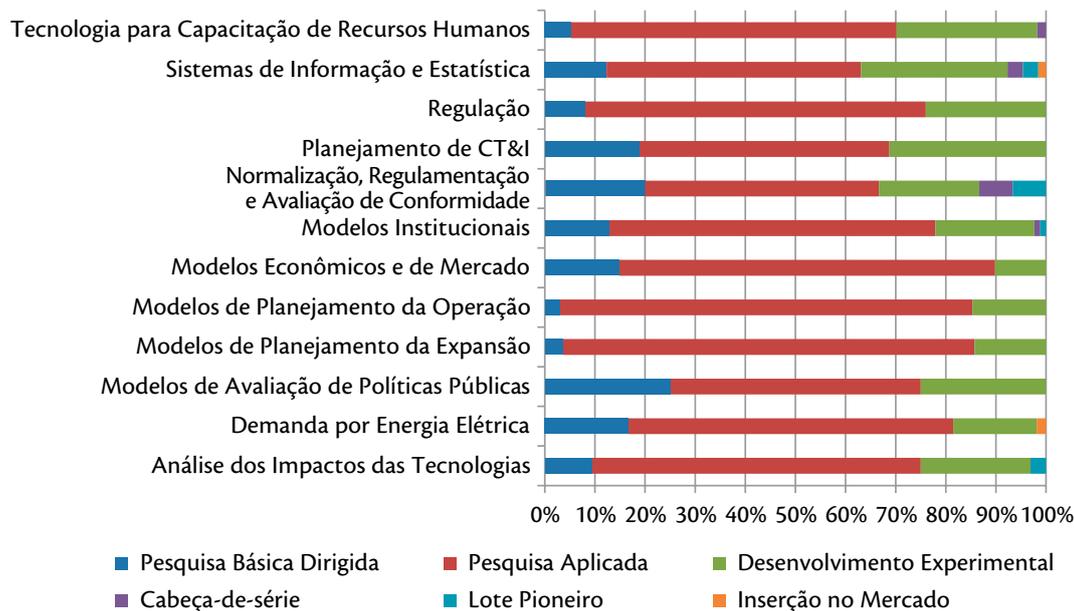


Gráfico 73 - Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

7.2.3. Estrutura de CT&I

Recursos Humanos

Segundo dados coletados na base de currículos *Lattes* de profissionais do SEB e dos participantes de Projetos de P&D da Aneel, os profissionais que formam a base da P&D em áreas do conhecimento ligadas ao GT Assuntos Sistêmicos concentram-se nas regiões Sudeste e Sul do país. Distrito Federal e um conjunto de estados do Nordeste, com destaque para Pernambuco, Bahia e Ceará, apresentam números menores, porém relevantes, de profissionais atuantes nessas áreas. A Figura 11 ilustra esses resultados.

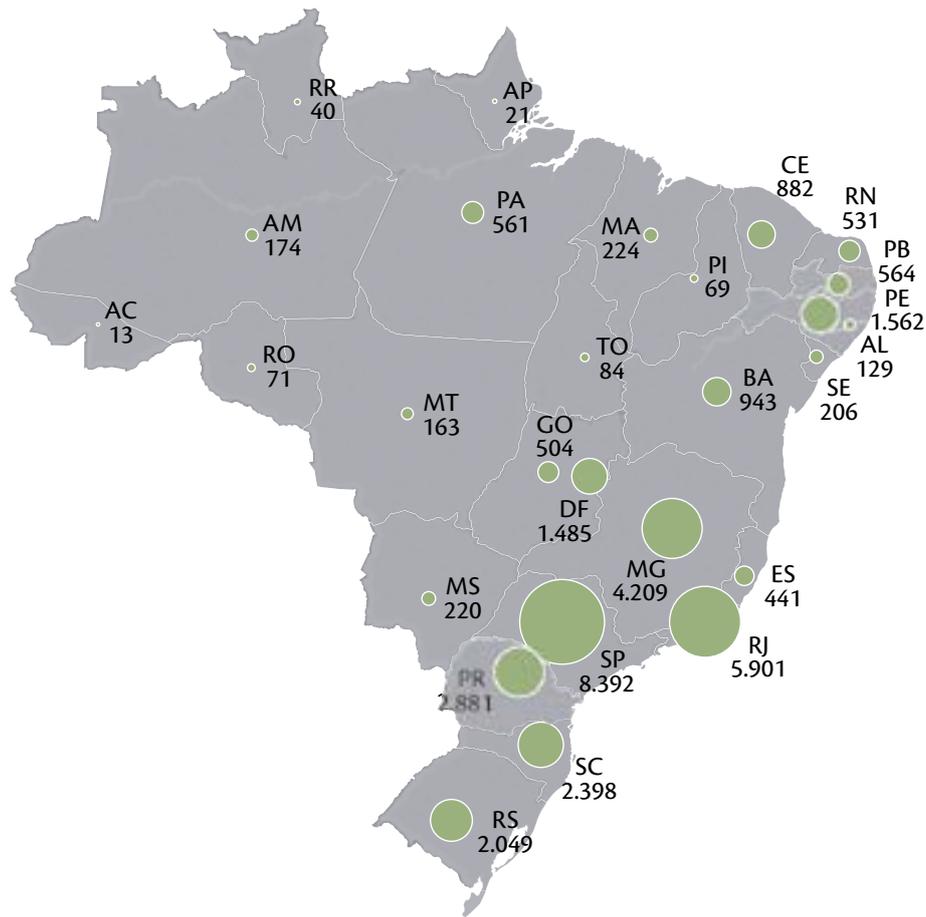


Figura 11 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 74 apresenta a distribuição de profissionais atuantes na área de Assuntos Sistêmicos por macrotemática. O direcionamento de profissionais para as áreas temáticas relacionadas ao funcionamento sistêmico do SEB é bastante equilibrado. Nos demais grupos analisados, sobretudo Geração e Armazenamento e Eficiência Energética, a distribuição de RH por macrotemáticas evidenciou tendências mais claras de concentração em áreas temáticas específicas. Em Assuntos Sistêmicos, os profissionais distribuem-se de maneira mais desconcentrada entre as diversas macrotemáticas.

Tendo em vista esse quadro de distribuição mais equilibrada do RH entre macrotemáticas, pode-se destacar as áreas temáticas de Assuntos Sistêmicos que dispõem de um percentual maior de

profissionais. São elas: Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos (12%), Modelos Institucionais (11%) e Análise dos Impactos das Tecnologias (10%).

O direcionamento de profissionais para diferentes áreas temáticas em Assuntos Sistêmicos deve ser analisado à luz da transição tecnológica por que deve passar o SEB no horizonte de tempo de médio/longo prazo. A inserção crescente de fontes intermitentes na matriz, a aplicação em escala de sistemas de armazenamento de energia, a penetração da geração distribuída e a difusão de Redes Elétricas Inteligentes elevarão o grau de complexidade e incerteza no setor elétrico, demandando novos mecanismos de coordenação, monitoramento e controle. Dessa maneira, a mobilização de recursos humanos em determinadas áreas se torna estratégica.

Em Sistemas de Informação e Estatística, por exemplo, é importante ampliar a rede de profissionais, visando à geração de um sistema integrado de dados reportados em tempo real, que deverão proporcionar os subsídios centrais para a tomada de decisões estratégicas e operacionais no novo contexto de coordenação e operação inteligentes do SEB.

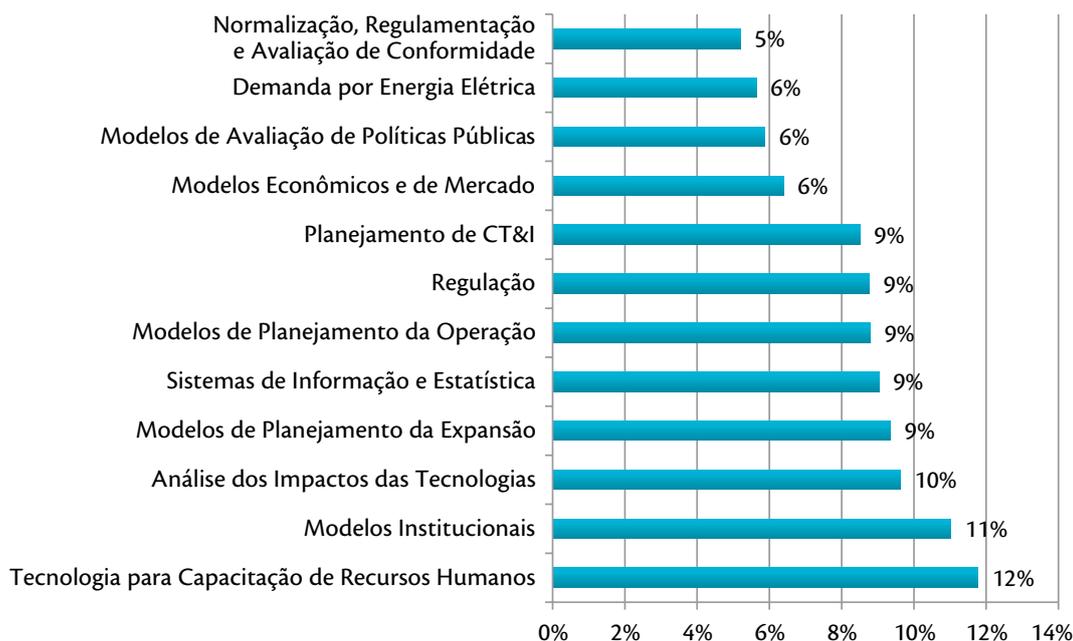


Gráfico 74 - Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.



O Gráfico 75 apresenta a distribuição de profissionais atuantes na área de Assuntos Sistêmicos por macrotemática dentro de cada estado da Federação.

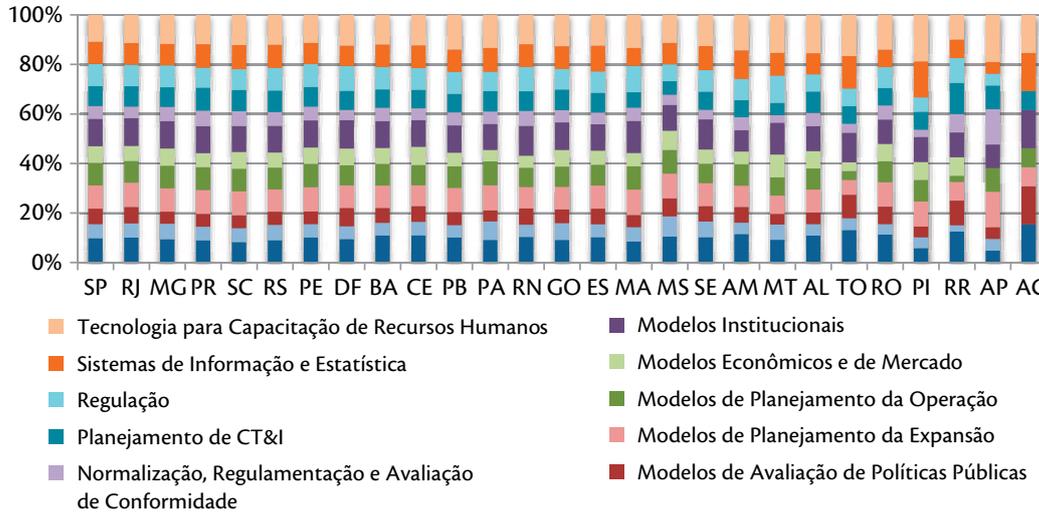


Gráfico 75 - Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

Nos diversos estados do país, verifica-se uma distribuição bastante equilibrada do RH de Assuntos Sistêmicos por macrotemáticas – padrão que se assemelha ao observado na ótica mais agregada do total nacional. Em outros grupos temáticos, como Geração e Armazenamento e Transmissão de Energia Elétrica, são mais bem definidas as áreas temáticas de concentração dos profissionais e/ou as potencialidades em cada estado. Já em Assuntos Sistêmicos, os profissionais distribuem-se de maneira mais desconcentrada entre as macrotemáticas em todos os estados brasileiros.

Esse quadro pode ser explicado a partir de um conjunto de argumentos já apresentados. Em primeiro lugar, a disponibilidade regional de recursos energéticos, tais como hídrico, eólico e solar, são determinantes na localização geográfica dos profissionais de Geração e Armazenamento, mas tem pouca influência sobre a localização dos profissionais que atuam na área de Assuntos Sistêmicos. Isso explica a ausência de padrões de especialização dos estados no âmbito dos temas relativos ao funcionamento sistêmico do SEB, em contraste com padrões de especialização mais evidentes na área de Geração e Armazenamento de Energia.

Em segundo lugar, os demais grupos analisados trabalham mais diretamente com segmentos tecnológicos e soluções de engenharia, que, em alguns casos, podem concorrer entre si ou estar em níveis bastante diferentes de maturidade. Já no grupo de Assuntos Sistêmicos, os temas trabalhados não só se baseiam mais intensamente na capacidade analítica dos recursos humanos, mas também apresentam um grau mais generalizado de complementaridade, já que todos dizem respeito à estratégia mais geral de coordenação, planejamento, operação e monitoramento do SEB. Dessa maneira, justifica-se o direcionamento mais equilibrado dos profissionais de Assuntos Sistêmicos entre macrotemáticas em todos os estados brasileiros.

Redes Colaborativas

Na análise de redes colaborativas para o GT de Assuntos Sistêmicos, foram identificados os principais *clusters* de recursos humanos atuantes nessa área, considerando o número de pesquisadores, representados pelo número de nós, e as palavras-chave trabalhadas por esses pesquisadores. O algoritmo utilizado pelo Gephi para apresentação e organização dos *clusters* tem por influência as forças de atração de similaridade semântica e coautoria entre os nós. Os nós apresentados à região marginal dos *clusters* foram assim dispostos pelo algoritmo por apresentarem pouca ou nenhuma interação com os demais, em termos de similaridade semântica e coautoria. Não obstante, eles não foram desconsiderados na análise, pois abordam tópicos relevantes para o tema.

A macrotemática Planejamento de CT&I apresentou cinco *clusters* principais de profissionais de CT&I, considerando coautorias e similaridade de assuntos tratados nesse âmbito. A disposição desses *clusters* e o seu tamanho, em termos de concentração de currículos, são representados na Figura 12.

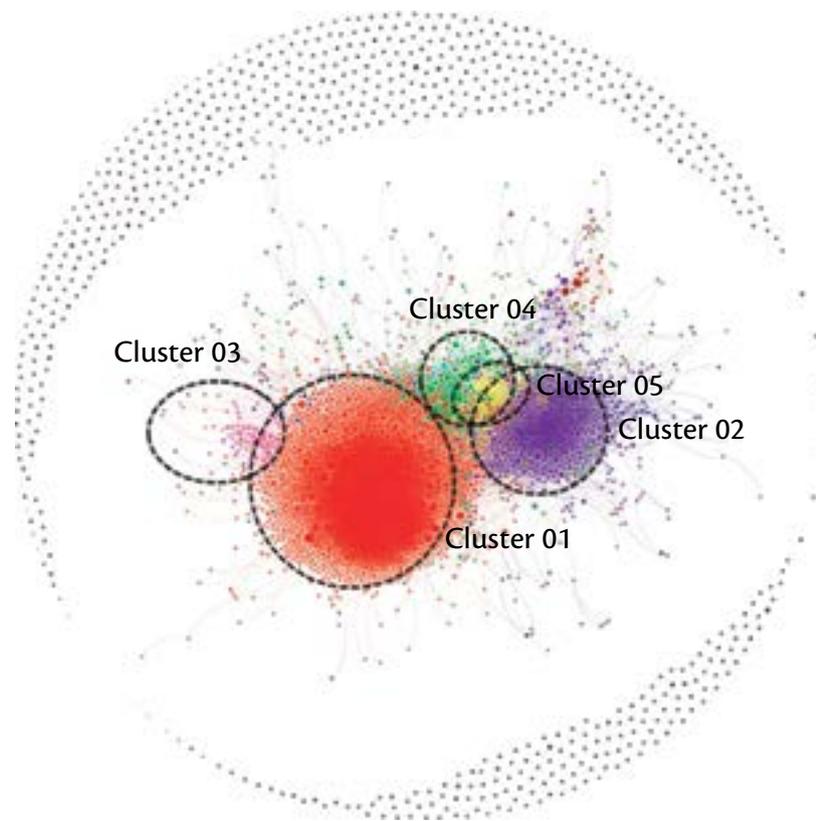


Figura 12 - Identificação dos clusters da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Planejamento de CT&I

Fonte: Elaboração própria.

A caracterização dos *clusters* por temas e áreas do conhecimento, com base nas palavras-chave identificadas, é feita na Tabela 62.

Tabela 62 - Principais palavras-chave que caracterizam cada *cluster* da rede colaborativa da macrotemática Planejamento de CT&I.

<i>Cluster 01</i> Estudos de prospecção tecnológica	<i>Cluster 02</i> Capacidades computacionais para planejamento de CT&I	<i>Cluster 03</i> Atuação do Estado no planejamento de CT&I	<i>Cluster 04</i> Meio ambiente e planejamento de CT&I	<i>Cluster 05</i> Planejamento integrado de recursos
<ol style="list-style-type: none"> 1. Prospecção tecnológica. 2. Gestão do conhecimento. 3. Planejamento estratégico. 4. Inovação. 5. Desenvolvimento sustentável. 6. Pesquisa e Desenvolvimento. 7. Gestão ambiental. 8. Políticas públicas. 9. Estudos prospectivos. 10. Tecnologia da informação. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Redes neurais artificiais. 2. Otimização. 3. Geração distribuída. 4. Algoritmos genéticos. 5. Pesquisa e Desenvolvimento. 6. Planejamento estratégico. 7. Eficiência energética. 8. <i>Data mining</i>. 9. Lógica <i>fuzzy</i>. 10. Inteligência artificial. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Direito ambiental. 2. Regulação. 3. Desenvolvimento. 4. Políticas públicas. 5. Mercosul. 6. Concorrência. 7. Intervenção do Estado. 8. Planejamento da inovação. 9. Gestão da inovação. 10. Direito Econômico. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aquecimento global. 2. Desmatamento. 3. Barragens. 4. Efeitos estufa. 5. Sustentabilidade. 6. Eficiência energética. 7. Impactos ambientais. 8. Pesquisa e Desenvolvimento. 9. Biomassa. 10. Planejamento energético. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Energia solar. 2. Planejamento energético. 3. Sistemas fotovoltaicos. 4. Energias renováveis. 5. Planejamento energético. 6. Radiação solar. 7. Desenvolvimento sustentável. 8. Planejamento integrado de recursos energéticos. 9. Pesquisa e Desenvolvimento.

Fonte: Elaboração própria.

Os temas mais trabalhados pelos pesquisadores da rede são: estudos de prospecção tecnológica; capacidades computacionais para o planejamento de CT&I; atuação do Estado no planejamento de CT&I; meio ambiente e planejamento de CT&I; e planejamento integrado de recursos.

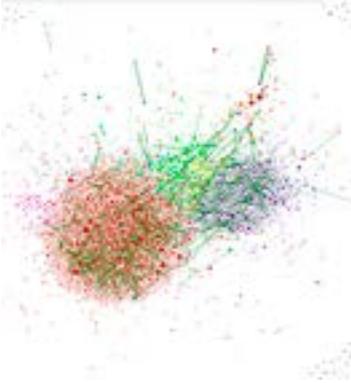
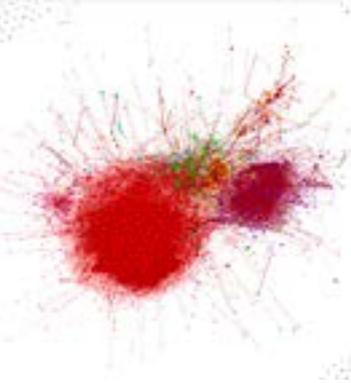
A análise das relações de coautoria e de similaridade semântica nas redes colaborativas tem como parâmetro o grau médio. Este indicador é resultado da divisão da quantidade de interações de similaridade semântica ou de coautoria (arestas) pelo número de pesquisadores da rede (nós), multiplicado por dois. A multiplicação é feita para captar as relações de reciprocidade entre pesquisadores. Quanto maior o valor do grau médio, maior o grau de relação entre pesquisadores em determinada rede. Esses indicadores são apresentados para a macrotemática Planejamento de CT&I na Tabela 63.

De forma geral, observaram-se relações mais intensas e dinâmicas de coautoria nas redes de macrotemáticas que apresentaram maior grau de similaridade semântica entre os currículos de pesquisadores. Esse é um resultado esperado, já que a similaridade de temas e a correlação entre áreas do conhecimento condicionam o desenvolvimento e a publicação de trabalhos conjuntos e autorias



compartilhadas. Nessa perspectiva, a rede de pesquisadores que apresentou graus mais elevados de similaridade semântica e de coautoria no conjunto das macrotemáticas analisadas foi Planejamento de CT&I (13,749 e 0,956, respectivamente).

Tabela 63 - Redes de similaridade semântica e de coautoria das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos

	Grau médio de coautoria	Coautoria	Grau médio de similaridade semântica	Similaridade semântica
Planejamento de CT&I	0,956		13,749	

Fonte: Elaboração própria.

A caracterização dos *clusters* dessa rede, em termos dos principais temas trabalhados pelos pesquisadores, indica, de fato, alta similaridade e complementaridade das áreas de pesquisa, que gravitam em torno da prospecção tecnológica e da gestão do conhecimento para viabilizar uma transição tecnológica no SEB – centrada em mecanismos de coordenação e operação inteligentes e na funcionalidade do setor ao desenvolvimento sustentável. O grau relativamente mais elevado de coautorias nessa rede é um indicador importante, já que a interação e a colaboração entre pesquisadores no Planejamento de CT&I poderá gerar melhores resultados na orientação das linhas de PD&I necessárias a esse processo de transição tecnológica no SEB.

A Tabela 64, a Tabela 70 e a Tabela 71 apresentam os principais temas de pesquisa nas demais macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos.

Tabela 64 - Principais temas de pesquisa identificados nas macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos

Macrotemática 02 Modelos Econômicos e de Mercado	Macrotemática 03 Demanda por energia Elétrica	Macrotemática 04 Modelos de Planejamento da Operação	Macrotemática 05 Modelos de Planejamento da Expansão
<ol style="list-style-type: none"> 1. Modelagem de preços, negócios e comportamento do consumidor. 2. Capacidades computacionais para modelos econômicos. 3. Modelos regulatórios. 4. Modelos de mercado para o desenvolvimento sustentável. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Demanda de energia no contexto de inovações e sustentabilidade. 2. Demanda de energia e preços. 3. Cenários de demanda e planejamento energético. 4. Demanda de energia, energias renováveis e geração distribuída. 5. Capacidades computacionais para modelagem da demanda. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planejamento da operação no contexto de inovações e sustentabilidade. 2. Capacidades computacionais para o planejamento da operação. 3. Aspectos regulatórios no planejamento da operação. 4. Confiabilidade de redes elétricas e planejamento da operação. 5. Representação de incerteza de fontes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planejamento da expansão no contexto de inovações e sustentabilidade. 2. Capacidades computacionais para o planejamento da expansão. 3. Confiabilidade de redes elétricas no planejamento da expansão. 4. Representação de incerteza de fontes intermitentes. 5. Aspectos regulatórios no planejamento da expansão.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 65 - Principais temas de pesquisa identificados nas macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos (continuação)

Macrotemática 06 Modelos Institucionais	Macrotemática 07 Regulação	Macrotemática 08 Sistemas de Informação e Estatística	Macrotemática 09 Análise dos Impactos das Tecnologias
<ol style="list-style-type: none"> 1. Planejamento, operação e modelos de comercialização. 2. Modelos institucionais para mitigação de impactos ambientais. 3. Modelos institucionais para gestão de recursos naturais. 4. Inovações, sustentabilidade e novos modelos institucionais. 5. Modelos institucionais para integração regional e defesa da concorrência. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planejamento, operação e modelos de comercialização. 2. Arranjos regulatórios para fontes renováveis. 3. Arranjos regulatórios para mitigação de impactos ambientais. 4. Inovações, sustentabilidade e adequação do marco regulatório. 5. Regulação ambiental, integração regional e defesa da concorrência. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Questões jurídicas e regulatórias na difusão de tecnologias da informação e comunicação. 2. Infraestrutura de processamento e análise de dados. 3. Estruturação e gestão de dados sobre impactos ambientais. 4. Estruturação e gestão de dados de energias renováveis. 5. Capacidades computacionais para estruturação e gestão de dados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Capacidades computacionais para análise dos impactos das tecnologias. 2. Análise dos impactos de fontes renováveis e da geração distribuída. 3. Análise dos impactos ambientais das tecnologias do setor elétrico. 4. Análise dos impactos socioambientais da hidroeletricidade. 5. Análise dos impactos das tecnologias no contexto de inovações e sustentabilidade. 6. Questões jurídicas e regulatórias nos impactos das tecnologias.

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 66 - Principais temas de pesquisa identificados nas macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos (continuação)

Macrotemática 10 Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	Macrotemática 11 Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	Macrotemática 12 Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos
<ol style="list-style-type: none"> 1. Inovações, sustentabilidade e avaliação de políticas públicas. 2. Avaliação da política energética no contexto do desenvolvimento sustentável. 3. Avaliação dos impactos de políticas ambientais sobre o setor elétrico. 4. Avaliação de políticas para fontes renováveis e eletrificação rural. 5. Capacidades computacionais para avaliação de políticas públicas. 6. Avaliação de políticas de integração regional e defesa da concorrência. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalização e avaliação de conformidade no contexto de inovações e sustentabilidade. 2. Capacidades computacionais, metrológicas e métodos para ensaios e testes. 3. Arranjos regulatórios e institucionais para conformidade às normas técnicas. 4. Requisitos técnicos para equipamentos e sistemas elétricos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inovações, sustentabilidade e avaliação de políticas públicas. 2. Avaliação da política energética no contexto do desenvolvimento sustentável. 3. Avaliação dos impactos de políticas ambientais sobre o setor elétrico. 4. Avaliação de políticas para fontes renováveis e eletrificação rural. 5. Capacidades computacionais para avaliação de políticas públicas. 6. Avaliação de políticas de integração regional e defesa da concorrência.

Fonte: Elaboração própria.

Infraestrutura de CT&I

O Gráfico 76 apresenta o percentual de laboratórios existentes por macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos. As macrotemáticas com maior participação no número de laboratórios do país são Modelos de Planejamento da Operação, Análise dos Impactos das Tecnologias, Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos e Sistemas de Informação e Estatística.

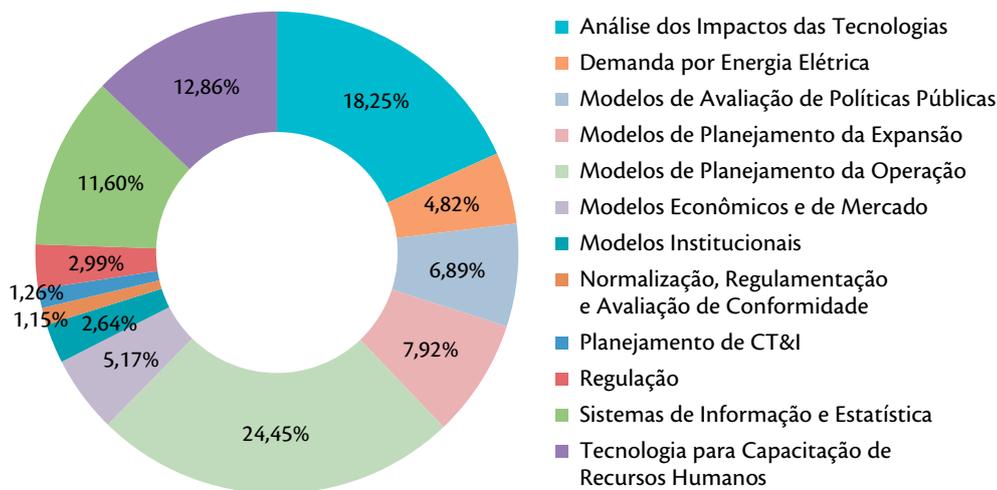


Gráfico 76 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 77 apresenta o perfil dos laboratórios por macrotemáticas segundo a caracterização de suas atividades e inserção nas etapas da cadeia de inovação. Ressalta-se que essas informações foram levantadas a partir de uma pesquisa de campo em um universo de 285 laboratórios no país, que foram classificados de acordo com as 48 macrotemáticas que estruturam este projeto.

Observa-se, em todas as macrotemáticas, uma concentração das atividades dos laboratórios analisados nas etapas da cadeia de inovação relacionadas à pesquisa básica dirigida, pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental. As macrotemáticas em que há um envolvimento maior em atividades mais avançadas da cadeia de inovação, particularmente relacionadas à inserção no mercado, são Sistemas de Informação e Estatística e Normalização, Regulamentação de Avaliação de Conformidade, que são também macrotemáticas mais técnicas.

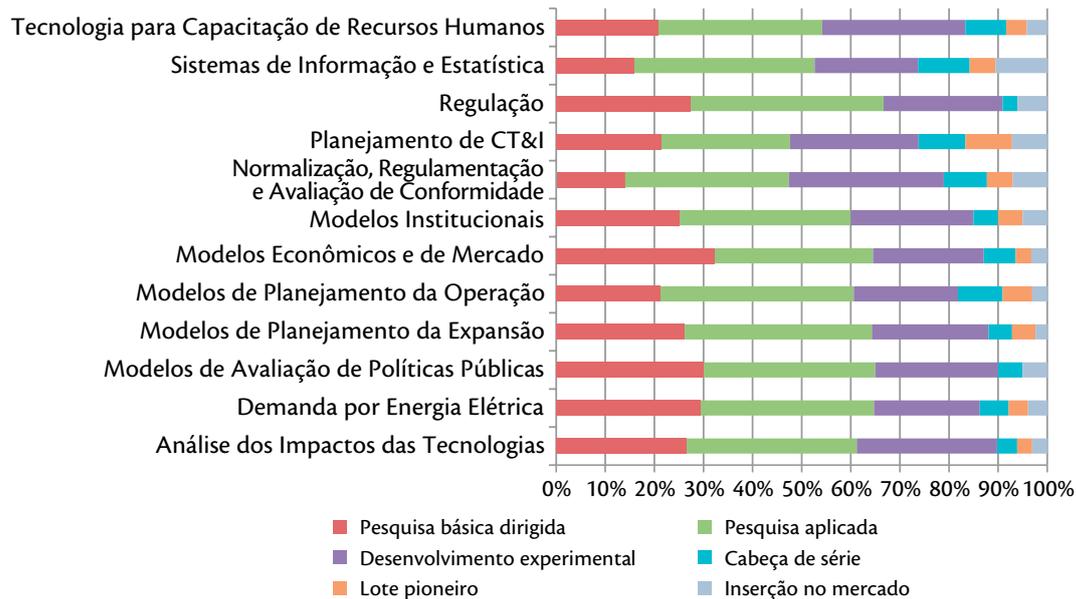


Gráfico 77 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu*

O GT Assuntos Sistêmicos difere-se consideravelmente dos demais grupos temáticos quanto à natureza da atividade de P&D. Em suma, as macrotemáticas do grupo referem-se ao planejamento e gestão do SEB, abrangendo, em menor número, pesquisas quanto à inovação e eficiência tecnológica, mas, em maior número, pesquisas quanto ao funcionamento do setor sob diferentes aspectos, tanto técnico quanto econômico e/ou institucional. Dessa forma, a atividade de P&D relacionada ao grupo temático é bem diversificada e presente em áreas distintas das dos demais grupos temáticos. Como será visto ao longo da análise, isto se reflete quanto às diferentes áreas de avaliação dos PPGs que realizam atividade de P&D referente às macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos.

Em relação ao número de PPGs contabilizados no grupo, há um total 172 programas elencados. O Gráfico 78 apresenta o total de PPGs classificados para cada macrotemática. É importante salientar que um mesmo PPG pode estar associado a diferentes macrotemáticas. Portanto, a soma dos valores apresentados a seguir é superior ao total de PPGs contabilizados no grupo.

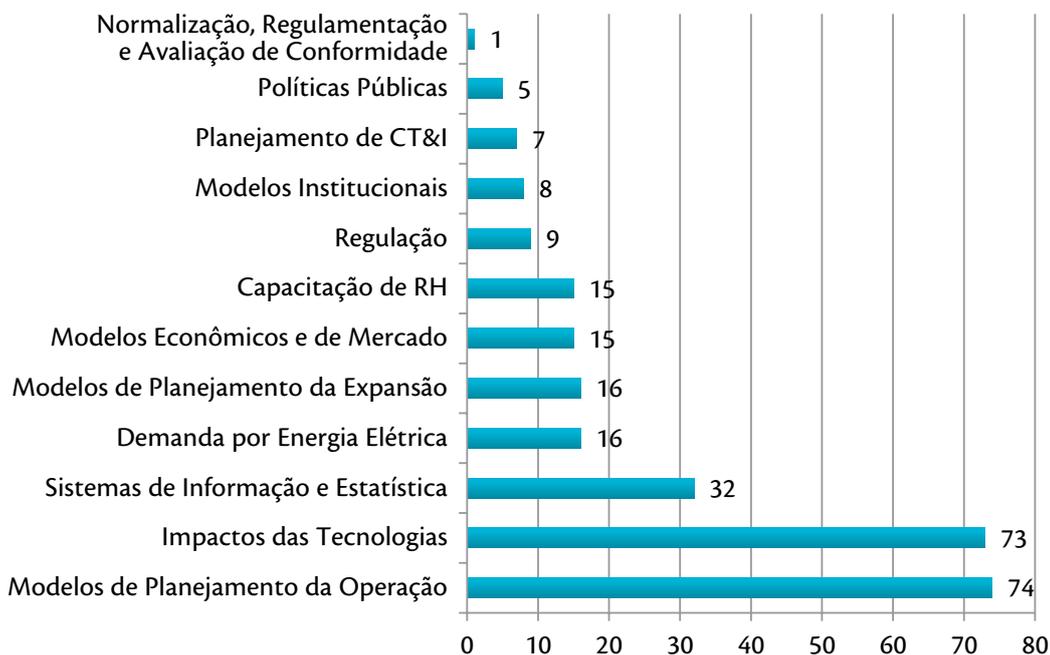


Gráfico 78 - Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se a discrepância da quantidade de PPGs contabilizados nas macrotemáticas Modelos de Planejamento da Operação e Análise de Impacto das Tecnologias em relação ao restante do grupo. Ambas as macrotemáticas possuem mais que o dobro de PPGs que os contabilizados em Sistemas de Informação e Estatística, a terceira macrotemática com maior número de PPGs associados. Em relação às outras macrotemáticas, nota-se uma pequena quantidade de programas.

A Tabela 67 ordena as cinco UFs com maior número de PPGs associados a cada macrotemática do grupo temático. Nota-se o predomínio de PPGs das UFs da região Sudeste, como esperado. Além disso, algumas macrotemáticas tem uma concentração alta em poucos estados. Esses casos ocorrem nas macrotemáticas cujas quantidades de PPGs são pequenas. Cabe destacar, na macrotemática Impactos das Tecnologias, a relevância dos estados do Pará, do Rio Grande do Norte e do Ceará. Além disso, o Distrito Federal tem relevância nas macrotemáticas Modelos de Planejamento da Expansão e Regulação.



Tabela 67 - Ranking das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos (%)

	1º	2º	3º	4º	5º
Planejamento de CT&I	MG (43)	SP (43)	RJ (14)		
Modelos Econômicos e de Mercado	SP (40)	RJ (33)	MG (13)	PR (7)	SC (7)
Demanda por Energia Elétrica	SP (44)	RJ (19)	PR (13)	SC (13)	MG (6)
Modelos de Planejamento da Operação	SP (19)	MG (14)	PR (12)	RS (12)	RJ (9)
Modelos de Planejamento da Expansão	SP (38)	MG (25)	RJ (13)	DF (6)	PE (6)
Modelos Institucionais	SP (50)	MG (38)	RJ (13)		
Regulação	SP (33)	RJ (22)	AL (11)	DF (11)	MG (11)
Sistemas de Informação e Estatística	SP (19)	PE (16)	ES (13)	MG (13)	CE (6)
Impactos das Tecnologias	MG (15)	SP (14)	PA (10)	RN (7)	CE (5)
Políticas Públicas	MG (40)	AL (20)	RS (20)	SP (20)	
Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	RJ (100)				
Capacitação de RH	MG (33)	SP (20)	RJ (13)	PA (7)	PB (7)

Fonte: Elaboração própria.

Dentre os projetos de pesquisa realizados nos PPGs, vários são financiados por instituições das mais diversas categorias. O levantamento da quantidade de instituições financiadoras gera uma medida do interesse em que se há com a pesquisa associada a cada macrotemática. Além disso, é interessante ressaltar a natureza das instituições elencadas. Por exemplo, muitas empresas financiam projetos de pesquisa com interesses específicos na obtenção de uma nova tecnologia ou capital humano para posterior utilização dos mesmos. De forma distinta, o interesse estratégico do financiamento de instituições de fomento à pesquisa, como CNPq ou Finep, faz parte de uma política nacional de fomento à atividade de CT&I.

Nesse intuito, o Gráfico 79 apresenta a quantidade de instituições por categoria e por macrotemática que financiam, atualmente, projetos de pesquisas realizados nos PPGs contabilizados. Vale ressaltar que os valores apresentados por categorias não somam a mesma quantidade que a soma dos valores apresentados por macrotemática. Isso se deve ao fato de que uma mesma instituição financiadora pode estar associada a mais de uma macrotemática se a mesma estiver financiando projetos em

macrotemáticas diferentes. Portanto, a soma dos valores por macrotemática é maior que a soma dos valores por categoria.

O total de instituições que financiam projetos de pesquisa nas IEs atualmente é de 37 instituições distintas. Nota-se que há o mesmo número de instituições de fomento à pesquisa e empresas, porém aquelas financiam um volume consideravelmente maior de projetos de pesquisa, além de contemplar mais macrotemáticas que estas. Dentre as empresas elencadas, destaca-se a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), as Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (Eletronorte) e a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras). Dentre as instituições estrangeiras contabilizadas, as duas financiam projetos relativos à macrotemática Impactos das Tecnologias. As instituições são a Universidade da Flórida e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma).

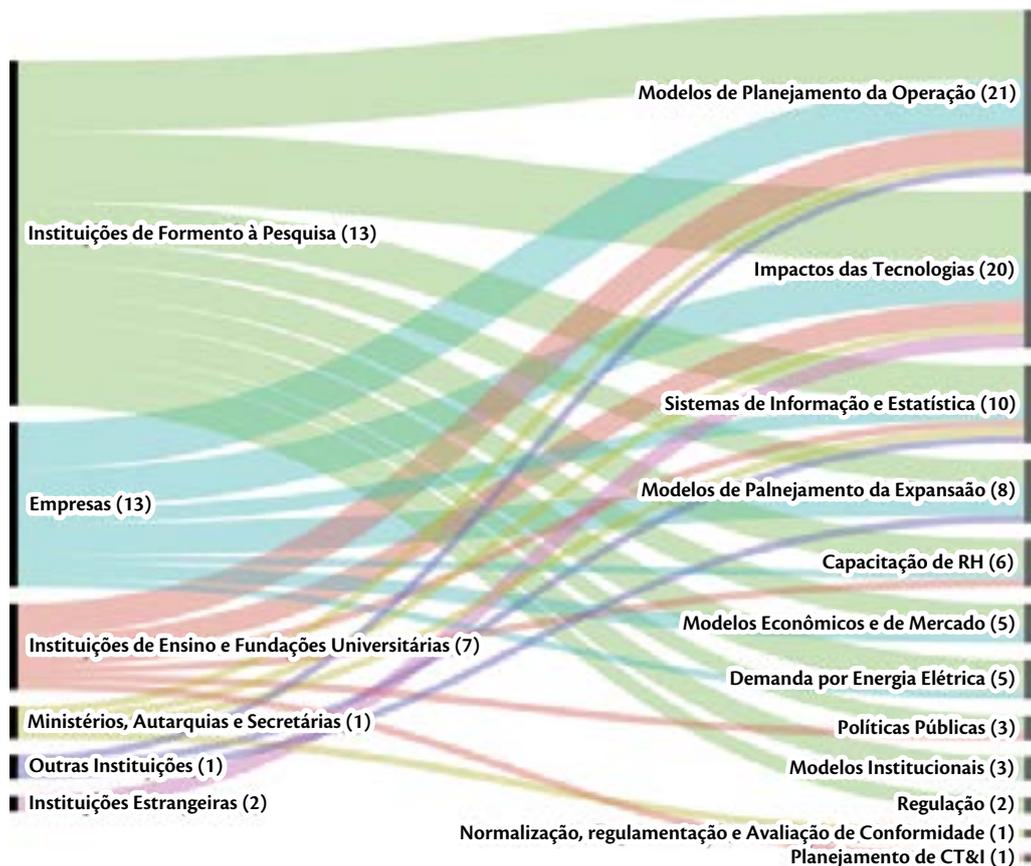


Gráfico 79 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos

Fonte: Elaboração própria.



Mecanismos de Fomento

Conforme descrito na metodologia, nesta seção, faz-se uma análise acerca de projetos de P&D relativos ao GT Assuntos Sistêmicos financiados por quatro distintas agências de fomento: Aneel, CNPq, Finep e BNDES Funtec. É importante ressaltar que os projetos analisados do CNPq e Finep são apenas aqueles cujos recursos foram oriundos do FNDCT. Além disso, os dados obtidos de projetos da Aneel são aqueles cujo data de início compreende-se entre os anos de 2008 e 2016, enquanto os dos projetos do CNPq e Finep estão entre 2007 e 2015.

A Tabela 68 apresenta as principais estatísticas descritivas dos projetos analisados por cada agência de fomento no período de 2007 a 2016.

Tabela 68 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Assuntos Sistêmicos por agência de fomento – 2007-2016

	Aneel	CNPq	Finep	BNDES Funtec
Quantidade de projetos	461	104	26	0
Valor total dos projetos (R\$ mil)	1.396.382,67	20.006,07	43.798,25	–
Valor médio (R\$ mil)	3.029,03	192,37	1.684,55	–
Valor mínimo (R\$ mil)	151,95	2,26	314,68	–
Quartil inferior dos valores (R\$ mil)	991,17	20,47	702,77	–
Mediana dos valores (R\$ mil)	1.509,45	70,06	1.213,87	–
Quartil superior dos valores (R\$ mil)	2.654,95	340,68	2.403,07	–
Valor máximo (R\$ mil)	121.966,89	829,82	4.069,12	–

Obs.: valores atualizados pelo IPCA em 31 dez. 2016.

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se primeiramente que não houve projetos financiados pelo BNDES Funtec acerca do grupo temático no período. O valor total dos projetos no âmbito do Programa de P&D regulado pela Aneel superou o montante de R\$1,39 bilhão em valor corrente. É interessante notar a diferença entre o valor máximo e o valor do quartil superior da distribuição. O quartil superior de uma distribuição é o valor a partir do qual se encontram 25% dos valores mais elevados da distribuição. Portanto, 75% dos projetos registrados tiveram custo inferior ou igual a aproximadamente R\$2,65 milhões em valor corrente. No entanto o projeto de máximo valor custou aproximadamente R\$121,96 milhões. Isso

mostra que uma grande proporção de projetos tiveram valores compreendidos dentro de uma faixa relativamente pequena de valores, enquanto uma parcela menor, justamente a dos projetos de maior valor, tem valores dispersos em uma faixa grande. Este fato explica o porquê de o valor médio dos projetos ser pouco mais que o dobro do valor mediano.

Os valores dos projetos financiados pelo CNPq são naturalmente baixos quando comparados aos dos projetos das outras agências de fomento. O número de projetos CNPq representa cerca de 17,60% dos projetos das quatro instituições elencadas. Por sua vez, há menor quantidade de projetos financiados pela Finep em comparação com o CNPq, porém projetos com valores consideravelmente maiores. O valor médio dos projetos financiados pela Finep é quase nove vezes maior que o valor médio dos projetos financiados pelo CNPq. Destaca-se que há uma proporção consideravelmente maior de projetos desenvolvidos por empresas, por meio do instrumento de subvenção econômica, financiados pela Finep do que pelo CNPq. Este caracteriza-se por financiar projetos quase que, exclusivamente, demandados por universidades e/ou ICTs.

Ao considerar os projetos das quatro agências de fomento, têm-se, no Gráfico 80, as proporções entre valores investidos por cada agência em cada macrotemática.

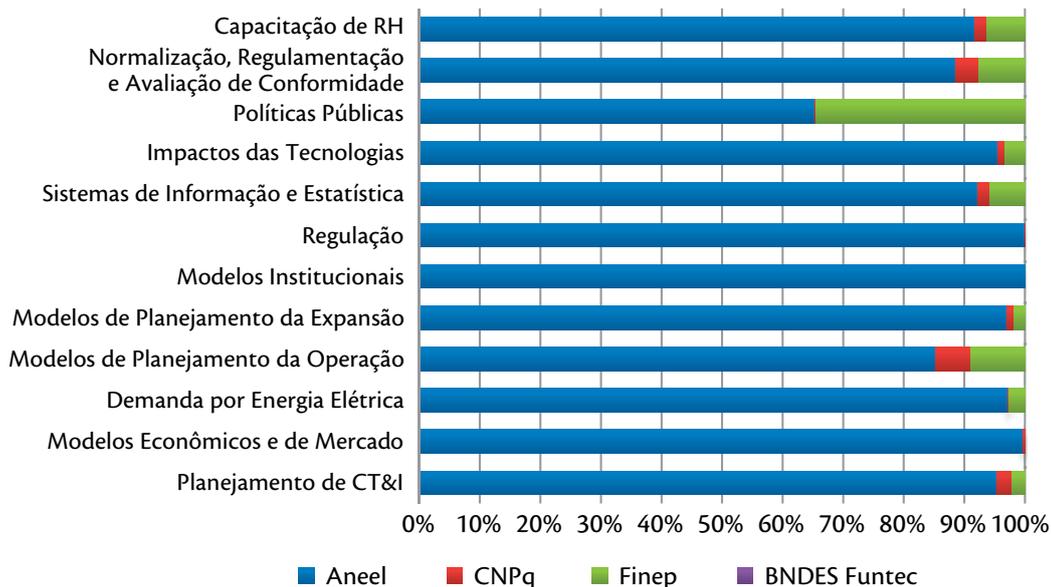


Gráfico 80 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)

Fonte: Elaboração própria.



Nota-se que o valor total dos projetos Aneel em cada macrotemática é expressivamente superior ao valor total do restante. A macrotemática Políticas Públicas foi a que teve proporcionalmente maior investimento da Finep, com aproximadamente 34% do total investido na macrotemática. A macrotemática Modelos de Planejamento da Operação foi a que teve, proporcionalmente, maior investimento do CNPq, com aproximadamente 6% do total investido na macrotemática. Não houve projetos do BNDES Funtec quanto ao grupo temático.

7.2.4. Planejamento Estratégico

A Tabela 69 apresenta os indicadores informados pela Governança do SEB a respeito da prioridade em relação às políticas de médio prazo (2026) e longo prazo (2050).

Tabela 69 - Priorização das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos no contexto do planejamento estratégico

	Política de médio prazo (2026)	Política de longo prazo (2050)
Planejamento de CT&I	Média prioridade	Alta prioridade
Modelos Econômicos e de Mercado	Média prioridade	Média prioridade
Demanda por Energia Elétrica	Média prioridade	Alta prioridade
Modelos de Planejamento da Operação	Alta prioridade	Média prioridade
Modelos de Planejamento da Expansão	Alta prioridade	Média prioridade
Modelos Institucionais	Média prioridade	Baixa prioridade
Regulação	Alta prioridade	Média prioridade
Sistemas de Informação e Estatística	Alta prioridade	Alta prioridade
Análise dos Impactos das Tecnologias	Média prioridade	Média prioridade
Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	Média prioridade	Média prioridade
Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	Média prioridade	Média prioridade
Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	Alta prioridade	Média prioridade

Fonte: Elaboração própria.

7.3. Construção de Futuro

7.3.1. Visão de Futuro

Com base nos indicadores levantados na etapa de Diagnóstico, que refletem a atual conjuntura da infraestrutura de CT&I do setor elétrico brasileiro, foram identificados os avanços tecnológicos necessários ao desenvolvimento das redes elétricas do futuro. No âmbito dos Assuntos Sistêmicos, ressalta-se o aporte de PD&I das macrotemáticas desse grupo, como analisado a seguir.

As macrotemáticas Modelos Institucionais, Regulação, Modelos de Avaliação de Políticas Públicas e Modelos Econômicos e de Mercado são primordiais para assegurar uma expansão sustentável do SEB, por meio da identificação de novos paradigmas regulatórios que amparem inovações tecnológicas e socioambientais, ainda, não contempladas na regulação vigente e que viabilizem tanto a gestão compartilhada quanto a operação descentralizada do SEB, sem comprometer a confiabilidade do suprimento de energia.

Os objetivos de PD&I de Modelos Institucionais e Regulação pressupõem o desenvolvimento conjunto de modelos de avaliação de políticas públicas, que permitam incorporar a análise de risco e modelos de apoio a decisão, com suporte de megadados (*Big Data*), nesta modelagem. Esse desenvolvimento deverá ter impacto, também, nos modelos de planejamento energético e de análise de impacto regulatório.

A avaliação de políticas públicas implantadas envolve o acompanhamento, ao longo do tempo, do processo de desenvolvimento e adequação do setor elétrico às novas tecnologias, ou seja, implica a necessidade de se adaptar os modelos de mercado e os modelos econômicos às inovações não só no setor de energia, mas também nas indústrias adjacentes e nos ambientes sociais afetados pelas políticas públicas sob análise.

Os objetivos de PD&I nesta área abrangem, também, a avaliação de impactos de incentivos econômicos e contratuais sobre as decisões dos agentes, de forma dinâmica, não só em termos tecnológicos e institucionais, mas também em termos da interação entre agentes, pressuposto de decisões econômicas eficientes.

Concomitantemente à PD&I que envolve Governança e Economia, é necessário que a pesquisa envolva o planejamento do setor elétrico brasileiro, contemplado nas macrotemáticas Planejamento



de CT&I, Modelos de Planejamento da Expansão, Modelos de Planejamento da Operação e Demanda de Energia Elétrica.

A macrotemática Planejamento de CT&I é transversal a todos os GT Projeto. A PD&I nesta área tem como objetivo migrar da abordagem tradicional para enfoques mais dinâmicos, que incorporem alternativas geradas por combinação de modelos conhecidos e pelo desenvolvimento de novos modelos, em áreas de fronteira desse campo, de forma que este planejamento se torne de ciclo completo e integrado.

O desenvolvimento de modelos de planejamento da expansão do SEB oferece oportunidades de PD&I, dado o aumento da demanda de energia elétrica e a necessidade de representação adequada de novas tecnologias.

O desenvolvimento de modelos de planejamento da operação do SEB apresenta oportunidades de PD&I, para representar de forma adequada: evolução da matriz energética (diversidade e características operacionais de fontes), tendências de comportamento do consumo, inserção das redes inteligentes, eficiência computacional dos modelos utilizados e garantia de amplo acesso a estas ferramentas.

O desenvolvimento de P&DI na macrotemática Demanda de Energia Elétrica deve investigar e propor melhorias, nos seguintes aspectos: evolução do mercado de energia, cenários macroeconômicos, tarifas de energia, crescimento da micro e minigeração distribuída, REIs, medidas de eficiência energética, gestão dinâmica da demanda e estabilidade da demanda em longo prazo (2030-2050).

Em paralelo à PD&I que trata de Governança, Economia e Planejamento, é necessária pesquisa em assuntos sistêmicos transversais ao SEB, em relação às seguintes macrotemáticas: Sistemas de Informação e Estatística, Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade, Análise dos Impactos das Tecnologias e Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos.

Há oportunidades de desenvolver PD&I na macrotemática Sistemas de Informação e Estatística, com foco na criação de um banco de informações unificado do SEB, sua manutenção e análise estatística. Esse aporte de PD&I deve contemplar contribuições da normalização, regulamentação técnica e avaliação de conformidade para garantir a confiança do SEB, em linha com as práticas internacionais e em ambiente regulatório que incentive a efetiva vigilância de mercado para coibir irregularidades.

É necessário investir recursos de PD&I na área de Análise dos Impactos das Tecnologias, para (i) caracterizar o estado atual e as perspectivas de desenvolvimento das diversas fontes e tecnologias e (ii) construir modelos de análise dos impactos a elas associados.

A macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos visa a priorizar projetos de PD&I, de forma a prover recursos humanos, em nível técnico e superior, aptos a contribuir para a evolução do SEB. Para isso, aporte de PD&I deve considerar a necessidade de identificar perfis profissionais compatíveis com as demandas do SEB. Deve considerar também a análise de metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos (RH).

Os objetivos gerais de cada macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos, em relação ao direcionamento dos recursos previstos para programas de P&D, são apresentados na Tabela 70.

Tabela 70 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática

Macrotemática
Planejamento de CT&I – promover PD&I em modelos, métodos e ferramentas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado em áreas de fronteira do conhecimento para o SEB, como suporte à formulação de políticas públicas e estratégias corporativas dos atores comprometidos com a inovação e a sustentabilidade do setor.
Modelos Econômicos e de Mercado – construir instrumentos que ajudem os agentes a tomar decisões. Estes modelos devem ser capazes de auxiliar tanto nas decisões dos agentes econômicos (oferta e demanda) quanto nas decisões dos formuladores de políticas públicas e da regulação setorial.
Demanda de Energia Elétrica – viabilizar desenvolvimento de ferramentas e modelos que permitam estabelecer a evolução do mercado de energia elétrica, em horizontes de curto, médio e longo prazo, com ênfase na demanda das diversas classes de consumo, a saber, residencial, comercial, industrial, rural, serviços e poderes públicos e outros.
Modelos de Planejamento da Operação – identificar tendências de PD&I que devem ser incentivadas para alinhar as ferramentas em uso no planejamento da operação às mudanças tecnológicas, regulatórias, de modelos de negócios e de aspectos comportamentais do consumo visualizadas no período de 2020 a 2050.
Modelos de Planejamento da Expansão – desenvolver modelos que incorporem as inovações técnicas e alterações do ambiente institucional do SEB, em harmonia com os processos de operação e comercialização. Os modelos devem representar, de modo adequado, as fontes intermitentes e as formas de armazenamento de energia, considerando o comportamento dos <i>prosumidores</i> (agentes de consumo e de produção).
Modelos Institucionais – identificar opções de arquitetura institucional que contemplem as diferentes instâncias de governança federais, estaduais e não governamentais (sem fins lucrativos).
Regulação – identificar modelos de mercado e mudanças regulatórias necessárias para adequar o sistema elétrico a mudanças no cenário setorial e explorar alternativas regulatórias para a gestão de riscos em novos ambientes de negócio.
Sistemas de Informação e Estatística – especificação de sistematização da integração de bancos de dados permitindo acesso e publicação, de forma unificada e estruturada, dos múltiplos sistemas de informações no ambiente do sistema elétrico, a ser permanentemente atualizado por corpos técnicos especializados dos agentes do setor, pelos consumidores e cidadãos em geral.
Análise dos Impactos das Tecnologias – viabilizar modelos de análise que permitam avaliar, adequadamente, os impactos positivos e negativos de projetos energéticos sobre o meio ambiente, a sociedade e a economia do país. Devem ser consideradas a produção e o uso de energia, o desenvolvimento das novas tecnologias, em relação a fontes intermitentes, o armazenamento de energia e a geração distribuída, que vem tomando novas formas manifestadas nas REIs.



Macrotemática

Modelos de Avaliação de Políticas Públicas – desenvolver modelos, com apoio de metodologias quantitativas e qualitativas, para estudar, simular e avaliar o efeito de políticas públicas e mecanismos de implementação, integrando as dimensões econômica e energética, ambiental e social; aspectos intersetoriais, a exemplo de políticas industriais, de saneamento, de transporte, dentre outras. Três fatores devem ser levados em conta na avaliação das políticas e seus instrumentos: eficácia, eficiência e efetividade.

Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade – estabelecer diretrizes de controle metrológico, referencial técnico, diretrizes de segurança cibernética e serviços referenciados, considerando as especificidades do Brasil e verificando a necessidade de desenvolver requisitos genuinamente nacionais.

Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos – prover mão de obra especializada, capacitada e treinada para suporte na área de serviços, nas seguintes atividades: planejamento, projeto, implantação, comercialização, manutenção e operação de redes elétricas e seus equipamentos. São também necessários recursos humanos nas áreas de engenharia, pesquisa, desenvolvimento de novos produtos e tecnologias para o setor, considerando, ainda, as questões relacionadas ao meio ambiente e ao ciclo de vida dos ativos.

Fonte: Elaboração própria.

7.3.2. Evolução da Maturidade Tecnológica das Rotas

Ao considerar o aporte da PD&I para que se alcancem esses objetivos, foi prospectada a evolução de maturidade tecnológica das rotas consideradas no projeto. O Gráfico 81 apresenta, para cada macrotemática, a porcentagem acumulada de rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta para os anos de referência (2017, 2020, 2025, 2030, 2040 e 2050).

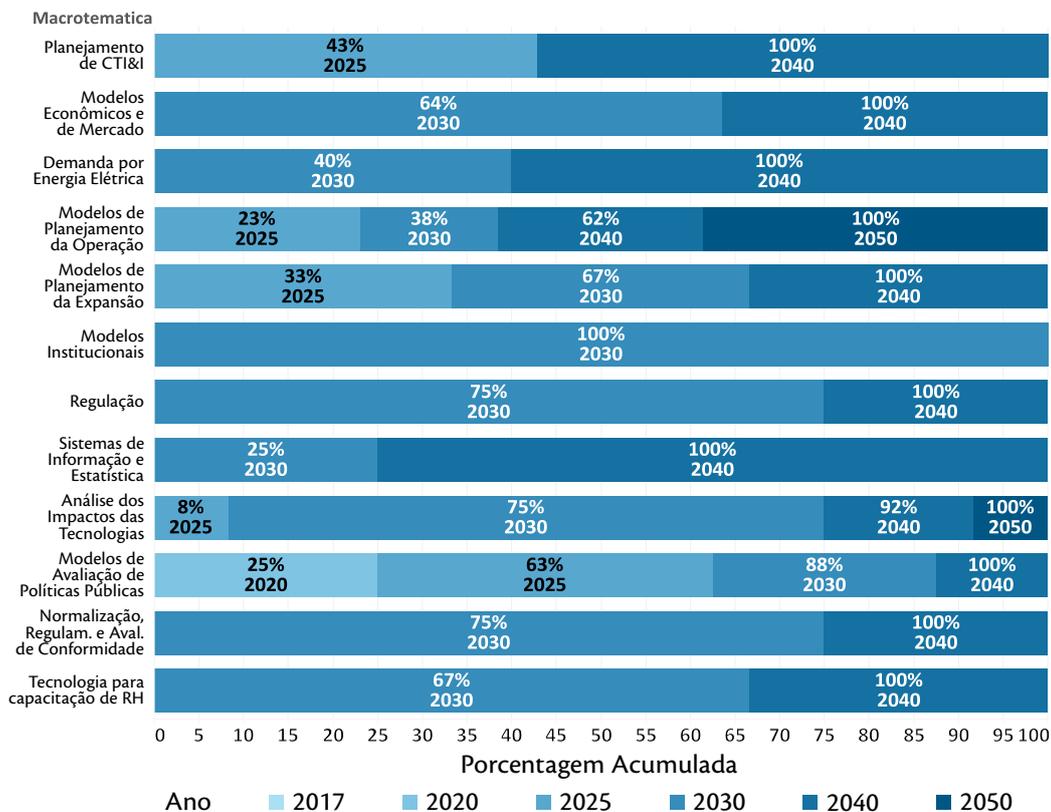


Gráfico 81 - Gráfico da porcentagem acumulada das rotas com grau de maturidade alta por Macrotemática

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução tecnológica ocorra como descrito, foram identificados os fatores condicionantes: maior interação Academia-Indústria, fomento da infraestrutura laboratorial, investimento em capacitação e formação profissional, adequação de cursos e currículos às exigências do mercado, fortalecimento da cadeia produtiva nacional e maior integração entre agentes do SEB, entre si e com outros setores.

Em análise do gráfico, constata-se que, em todas as macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos, a maioria das rotas tecnológicas atinge grau de maturidade alta nos anos de 2030 e 2040. Infere-se daí que o aporte de PD&I relativo a Assuntos Sistêmicos transversais ao SEB deve priorizar os desenvolvimentos de curto e médio prazo, restando algumas questões a serem pesquisadas em longo prazo.

As macrotemáticas Modelos Econômicos e de Mercado, Modelos Institucionais, Regulação e Modelos de Avaliação de Políticas Públicas, de acordo com o Gráfico 81 e a pesquisa do CGEE, apontam a



necessidade de acelerar o desenvolvimento de rotas relacionadas às mudanças regulatórias, necessárias para adequar o SEB a um cenário tecnológico e social mais complexo, diverso e inovativo, com uso de sistemas de suporte à decisão.

Para atingir esses objetivos, é necessária correta avaliação dos efeitos de políticas públicas, muitas vezes implementadas com cunho político e sempre dependentes de modelos institucionais e da regulação vigente, ou seja, a avaliação de políticas deve ocorrer em curto e médio prazo para que a arquitetura institucional e os marcos regulatórios adequem-se em curto e médio prazo. Um fator facilitador para o desenvolvimento das rotas dessas macrotemáticas é a mudança do marco regulatório do SEB, em curto prazo, por iniciativa do Ministério de Minas e Energia (MME).

As macrotemáticas Planejamento de CT&I, Planejamento da Expansão, Planejamento da Operação e Demanda de Energia Elétrica, de acordo com o Gráfico 81 e a pesquisa do CGEE, dependem do desenvolvimento das macrotemáticas de Economia e Governança. Embora esses desenvolvimentos possam ser concomitantes, as questões regulatórias, a arquitetura institucional, os modelos econômicos, de mercado e de análise de políticas públicas devem ter precedência, indicando diretrizes para o planejamento do SEB.

Assim, as rotas dessas quatro macrotemáticas necessitam de maior ganho de maturidade em médio e longo prazo, principalmente por aspectos ligados ao planejamento da expansão e operação, que dependem da consolidação das inovações e da entrada maciça de fontes intermitentes, de geração distribuída e de REIs, que impactarão a demanda de energia elétrica.

Quanto ao Planejamento de CT&I, a análise do Gráfico 81 evidencia a necessidade de aperfeiçoar os modelos em uso no planejamento de curto e médio prazo e o desenvolvimento de novos modelos de longo prazo.

As demais macrotemáticas tratam de temas transversais ao SEB. A análise do Gráfico 81 mostra que o ganho maior de maturidade das rotas nas macrotemáticas Análise dos Impactos das Tecnologias, Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade e Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos ocorrerá em curto e médio prazos, com algumas questões a serem pesquisadas no período de 2030 a 2040, relacionadas à análise de impactos decorrentes de inovações e tecnologias implementadas em curto e médio prazos.

Em relação à macrotemática Sistemas de Informação e Estatística, o Gráfico 81 mostra que o ganho maior de maturidade das rotas se dá no final do período de médio prazo e início do período de longo prazo. Isto se deve à necessidade de grande esforço, em curto e médio prazos, para desenvolver modelos

que consigam abarcar as metodologias para coleta, cadastro e levantamento de informações sobre o sistema elétrico, além de mapear as necessidades para construir sistemas de coleta, sistematização e análise de dados do SEB. Em longo prazo, a disponibilidade de modelos acelera o ganho de maturidade das rotas, o que permitirá concentrar esforços na aplicação e manutenção da base de dados única, sob responsabilidade de instituições do SEB.

7.3.3. Priorização das Rotas

Ao considerar a cadeia de CT&I do setor, os objetivos definidos para o desenvolvimento de PD&I, a evolução da maturidade das tecnologias consideradas, a interdependência entre rotas e a perspectiva de retorno tecnológico e financeiro, foram identificadas as rotas prioritárias para desenvolvimento e investimento no contexto de cada macrotemática. Os tópicos priorizados, para cada macrotemática, são elencados na Tabela 71.

Tabela 71 - Tópicos priorizados para cada macrotemática

Macrotemática	Prioridade
Planejamento de CT&I	Combinação de modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias. Novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias.
Modelos Econômicos e de Mercado	Modelos de definição de produtos no contexto de desenho de mercado. Modelos de arquitetura no contexto de desenho de mercado
Demanda de Energia Elétrica	Determinantes da demanda de energia elétrica. Previsão de demanda de energia elétrica.
Modelos de Planejamento da Operação	Modelos de previsão (informações básicas para os modelos) no contexto do pré-despacho. Estudos elétricos no contexto do pré-despacho.
Modelos de Planejamento da Expansão	Representação apurada da operação nos modelos de expansão no contexto de curto e médio prazo (5 a 15 anos). Desenvolvimento de modelos integrados no contexto de curto e médio prazo (5 a 15 anos).
Modelos Institucionais	Operador no contexto da coordenação do Sistema Elétrico Brasileiro. Regulador no contexto da coordenação do Sistema Elétrico Brasileiro.



Macrotemática	Prioridade
Regulação	Coordenação e confiabilidade do Sistema Elétrico Brasileiro no contexto de transporte e armazenagem. Coordenação e confiabilidade do Sistema Elétrico Brasileiro no contexto do mercado atacadista.
Sistemas de Informação e Estatística	Metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados no contexto de estruturação de bases de dados. Infraestrutura de processamento e comunicação no contexto de gestão de bases de dados.
Análise de Impactos das Tecnologias	Modelos de avaliação no contexto de impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias do setor elétrico. Padrões de consumo de energia no contexto de impactos do uso e do armazenamento de energia e tecnologias.
Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	Setor de energia no contexto de políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia. CT&I no contexto de políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas.
Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	Coordenação institucional e apoio à atividade regulatória no contexto de Governança e vigilância de mercado. Confiabilidade metrológica do setor elétrico.
Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	Identificação de requisitos e habilidades profissionais no contexto de perfil do profissional para trabalhar no setor elétrico. Metodologias de treinamento, ensino e experimentação, no contexto de metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos.

Fonte: Elaboração própria.

7.4. Considerações Finais

De forma geral, observa-se que o estado da arte do GT Assuntos Sistêmicos é comparável ao estado da arte internacional, com destaque para as macrotemáticas relacionadas ao planejamento energético, como evidenciam os indicadores de estrutura e produção de CT&I e os avanços consideráveis, em relação ao resto do mundo, de métodos e modelos desenvolvidos no Brasil. Esses avanços se devem, em grande parte, às características técnicas e operacionais do sistema brasileiro, que exigiram pesados investimentos, ao longo de décadas, para desenvolver e validar métodos e modelos computacionais que representassem adequadamente esse sistema.

Essa constatação aplica-se também às demais macrotemáticas deste grupo, em graus variados, dependendo do grau de implementação, por parte de agentes setoriais, de inovações oriundas

de projetos de PD&I realizados por instituições brasileiras. Em muitos casos, a implementação de inovações no setor elétrico esbarra em limites políticos ou regulatórios²⁹.

Como esse tipo de dificuldade afeta praticamente todas as macrotemáticas desse grupo, os avanços verificados limitam-se a protótipos ou pilotos que não atingem a escala necessária para acelerar a maturação do conhecimento, como ocorre em outros países.

Essa constatação evidencia a necessidade de mudanças no processo regulatório, para que os avanços tecnológicos oriundos das ações de CT&I, no âmbito deste grupo temático, possam ser, efetivamente, incorporados às práticas dos agentes setoriais, aí incluídos os agentes especiais (planejador e operador) e os agentes econômicos (geradores, distribuidores, transmissores e comercializadores, entre outros).

Em grande parte, esses avanços regulatórios deverão ser objetos de diversas macrotemáticas desse grupo temático, em particular nas macrotemáticas Regulação, Modelos Institucionais, Modelos de Avaliação de Políticas Públicas e Modelos Econômicos e de Mercado, com os devidos rebatimentos nas macrotemáticas Modelos de Planejamento da Expansão e Modelos de Planejamento da Operação, quando relevante.

A necessidade de acelerar os desenvolvimentos na área de Assuntos Sistêmicos ganha relevância adicional quando se observa o processo de envelhecimento da infraestrutura do sistema, que afeta todos os segmentos da cadeia de suprimento de energia elétrica (geração, transmissão e distribuição), de forma cumulativa e concomitante, o que poderá demandar grandes investimentos em modernização e recapacitação de usinas, linhas de transmissão e de distribuição, subestações e demais componentes do sistema. A necessidade de avanços nos processos de identificação, monitoração e avaliação do estado da infraestrutura crítica deverá ser contemplada nas macrotemáticas Sistemas de Informação e Estatística e de Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade, entre outras.

O processo de envelhecimento da infraestrutura crítica poderá ser potencializado pela inserção massiva de fontes renováveis intermitentes, o que implicará ciclos de carregamento distintos e mais severos dos que aqueles tradicionalmente considerados no dimensionamento e no projeto de equipamentos e instalações do sistema, principalmente no que tange às unidades geradoras e aos transformadores, esses tanto em nível de transmissão quanto de distribuição. Os efeitos e a especificação de medidas preventivas e corretivas que os mitiguem deverão estar contemplados nos investimentos em CT&I

²⁹ Um caso emblemático é o despacho por oferta de preços, paralisado, em 2002, por injunções políticas, que causaram atraso de 15 anos em um tema central para a eficiência econômica do sistema elétrico.



da macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias, com os devidos rebatimentos nas demais macrotemáticas desse grupo.

Em apertada síntese, portanto, pode-se afirmar que o ambiente desenhado pelas tendências de evolução do sistema é extremamente favorável a essa conjunção de investimentos em PD&I nas macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos, ressalvadas as eventuais barreiras institucionais e regulatórias acima apontadas.

Para finalizar, aponta-se a necessidade de fortalecer as fontes de financiamento, não só para investimentos em PD&I direcionados ao setor elétrico, mas também para o desenvolvimento e implantação de Tecnologias para Capacitação de Recursos Humanos, principal insumo para o desenvolvimento do setor elétrico, em todas as suas dimensões, permitindo que esse setor assegure o suprimento de energia de forma econômica, confiável e universal, condição *sine qua non* para atender aos anseios da sociedade brasileira.



Capítulo 8



Capítulo 8

Posicionamento

8.1. Posicionamento Estratégico: Agendas de CT&I para o SEB

Na etapa de Posicionamento, foram construídas agendas de ações estratégicas de CT&I para cada macrotemática do projeto, visando à consecução dos objetivos gerais e específicos definidos em etapas anteriores.

Para construir as estratégias de CT&I que permitirão superar os desafios e cumprir os objetivos identificados nos diversos grupos temáticos, foi elaborado um encadeamento de ações gerais de CT&I, estruturadas em oito eixos: (i) criação de um ambiente regulatório e normativo nacional específico para as várias temáticas selecionadas; (ii) criação ou adensamento de redes de pesquisa e grupos de trabalho; (iii) geração de competências nacionais em recursos humanos e infraestrutura de CT&I; (iv) execução de mapeamentos, estudos, definições metodológicas e/ou base de dados para subsidiar o desenvolvimento de novas tecnologias; (v) desenvolvimento de projetos demonstrativos e/ou pilotos; (vi) difusão de práticas e compartilhamento do conhecimento gerado; (vii) criação e/ou fortalecimento de atores na cadeia produtiva capazes de difundir novas tecnologias no mercado; e, por fim, (viii) geração de demanda para implantação de novas tecnologias. Essas ações e o detalhamento quanto ao resultado esperado – instrumentos pertinentes à sua consecução e sugestões de atores executores e de fomento envolvidos – são apresentados na Tabela 72.

A curto prazo, as ações são, principalmente, no sentido da geração de competências, difusão do conhecimento e na construção do ambiente de inovação e definição de padrões técnicos, que se manterão ao longo de toda a agenda de CT&I. A médio prazo, geralmente, são adicionadas novas ações voltadas, principalmente, à realização de projetos demonstrativos para o desenvolvimento de diversas tecnologias associadas a rotas selecionadas. No mais longo prazo, o foco da estratégia de CT&I passa a ser, principalmente, na inserção piloto ou comercial das soluções desenvolvidas nas etapas anteriores no SEB e na sua difusão e geração de escala.

Tabela 72 - Organização da metodologia para a construção de Agenda de CT&I para o Setor (Continua)

N.	Ações	Resultado esperado	Categoria de instrumentos
1	Criar ou adensar redes colaborativas (ação facilitadora/ indutora)	Coordenação do PD&I em tecnologias específicas, buscando sinergias, otimizando resultados e eliminando retrabalho.	Redes de Inovação Colaboração U-E ou E-E
2	Criar grupo de trabalho em regulação e normatização (ação facilitadora/ indutora)	Definição de marco regulatório e padrões técnicos, organizando o ambiente para PD&I em tecnologias estratégicas.	Redes de Inovação Regulação e Normatização
3	Formar recursos humanos e criar ou modernizar infraestrutura de CTI (ação de competências)	Disponibilização de competência nacional para PD&I em tecnologias estratégicas.	Formação e Capacitação Apoio à infraestrutura de CTI
4	Executar estudos, mapeamentos e inventários (ação de P&D)	Desenvolvimento de novas metodologias, conceitos, mapas ou bases de dados para subsidiar o desenvolvimento de tecnologias estratégicas.	Apoio direto à P&D Serviços técnicos e consultorias Redes de Inovação Colaboração U-E ou E-E
5	Criar modelos/ projetos demonstrativos/ piloto para desenvolver tecnologias estratégicas (ação de P&D)	Teste e avaliação de novas metodologias, sistemas ou produtos.	Incentivos fiscais para P&D Apoio direto à P&D Colaboração U-E ou E-E
6	Estimular a produção científica e o compartilhamento de conhecimentos (ação facilitadora/ indutora)	Redução da assimetria de informações e conhecimentos, difusão de práticas em tecnologias estratégicas.	Redes de Inovação Apoio à infraestrutura de CTI Difusão da informação e do conhecimento
7	Criar e fortalecer atores na cadeia produtiva nacional (ação facilitadora/ indutora)	Atores capazes de difundir soluções tecnológicas no mercado.	Políticas para o empreendedorismo e apoio a start ups Financiamento público para a inovação
8	Criar demanda pré-comercial para as tecnologias desenvolvidas (ação de geração de demanda)	Avanço na maturidade de tecnologias estratégicas.	Compras públicas Prêmios para inovação
9	Criar demanda para novas tecnologias (ação de geração de demanda)	Criação de mercado para a inserção e difusão de novas tecnologias.	Regulação e normatização Financiamento público para inovação

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 72 - Organização da metodologia para a construção de Agenda de CT&I para o Setor (Continuação)

N.	Atividades e instrumentos	Organizações financiadoras	Atores envolvidos	Rotas aplicáveis
1	Estruturação de programas, plataformas, consórcios e associações.	Finep, CNPq, Capes, FAPs, Programa P&D Aneel.	Universidades, ICTs, associações, empresas, Aneel, ministérios, ONS; EPE, Procel.	
	Editais de pesquisa conjunta entre organizações e ICTs.			
	Intercâmbios organizacionais e internacionalização da pesquisa.			
	Seminários/congressos de tecnologias específicas.			
	Editais para pesquisas e projetos conjuntos de inovação.			
2	Financiamento e patrocínio para eventos de promoção da inovação.	Finep, fundos internacionais, FAPs.	Aneel, Inmetro, ABNT, Procel.	
	Mobilização de atores envolvidos nos temas de regulação e normatização.			
3	Criação ou reestruturação de cursos técnicos, profissionalizantes, graduação e pós-graduação, conforme novas tecnologias e demandas setoriais.	CNPq, Capes, FAPs, MDIC, Sistema S.	Universidades, ICTs, MEC/Capes, MCTIC/CNPq, MDIC, Sistema S.	
	Disponibilização de bolsas de estudo e pesquisa.	CNPq, Capes, FAPs		
	Investimentos em laboratórios e equipamentos.	Finep, FAPs, Programa P&D Aneel, BNDES.		
4	Programa P&D Aneel.	Programa P&D Aneel.	Universidades, ICTs, Associações, Empresas, Aneel, Ministérios, ONS, EPE	
	Subvenção econômica.	Finep, FAPs, CNPq.		
	Contratação de estudos com recursos próprios ou recursos externos.	Finep, FAPs, Aneel, MME, ONS, EPE.		
	Pesquisas colaborativas/ cooperadas.	Finep, FAPs, Capes, CNPq, Programa P&D Aneel.		
5	Deduções fiscais.	Orçamento direto.		
	Programa P&D Aneel.	Programa P&D Aneel.		
	Subvenção econômica.	FINEP, FAPs, CNPq.		
	Editais para projetos de inovação cooperados.	Embrapii, Finep, FAPs.		
6	Intercâmbios organizacionais, congressos, seminários e workshops.	Finep, FAPs, CNPq, orçamentos próprios.	ICTs, MEC/ Capes, MCTIC/ CNPq, MDIC	
	Investimentos em bancos de dados, mapeamentos e sistemas de gerenciamento da informação.	Finep, FAPs, Programa P&D Aneel, Capes, CNPq.		
7	Criação e fomento a periódicos.	Finep, FAPs, BNDES.	MDIC, ABDI, CNI, associações	
	Chamadas públicas de apoio a incubadoras, aceleradoras e parques/polos tecnológicos.			
8	Linhas e mecanismos de financiamento para projetos e/ou empresas com tecnologia nacional.	P&D Aneel, Finep	ministérios, Aneel, EPE, ONS, BNDES, empresas, associações.	
	Compras de lote pioneiro para inserção inicial da tecnologia.			
9	Premiação para empresas inovadoras.	P&D Aneel, Finep, CNI, fundos internacionais, BNDES, FAPs, ministérios, CNPq.	MDIC, MME, MCTI, Aneel, associações, BNDES, ABDI.	
	Atos regulatórios, leilões para fontes específicas, definição de critérios para a modernização tecnológica.	MME, Aneel, EPE, NOS, Procel.		
	Linhas e mecanismos de financiamento para a modernização tecnológica no SEB.	BNDES, Finep.		

Fonte: Elaboração própria.

A partir da construção das agendas estratégicas de CT&I nas diversas macrotemáticas do projeto e de um ciclo de discussões para validação das agendas junto a representantes de instituições de fomento e apoio à CT&I no Brasil, tais como CNPq, Finep, BNDES e CNI, foi elaborado um mapa relacionando organizações e instrumentos de CT&I com atividades da cadeia de inovação e grau de maturidade de rotas tecnológicas.

As atividades de natureza mais preliminar na cadeia de inovação, como a pesquisa básica e aplicada, estão fundamentalmente relacionadas ao financiamento via bolsas de pesquisa da Capes e do CNPq e a instrumentos de modernização laboratorial, disponibilizados, sobretudo pela Finep. Nas atividades de desenvolvimento e testes tecnológicos – notadamente desenvolvimento experimental e cabeça de série –, têm-se papéis de destaque a Finep, a Embrapii, o BNDES e a CNI. A Finep atua, principalmente, a partir de recursos não reembolsáveis e de mecanismos de crédito para empresas e ICTs; a Embrapii tem como foco a promoção da cooperação entre empresas e instituições de pesquisa; o BNDES oferta linhas de crédito para a inovação e, em menor grau, recursos não reembolsáveis para ICTs; e a CNI financia projetos inovadores a partir de editais de inovação. Por fim, nas atividades mais avançadas da cadeia de inovação – notadamente lote pioneiro e inserção no mercado –, têm-se papéis de destaque a Finep, a Fapesp e a Fapemig, o BNDES e a CNI. Além desses atores de financiamento e apoio à inserção mercadológica de novas tecnologias, também merecem destaque instrumentos no âmbito da União, como encomendas tecnológicas, compras e leilões públicos.

Embora essa sistematização das instituições de apoio e fomento à CT&I no Brasil tenha sido subproduto da construção e discussão das agendas estratégicas de CT&I, ela funciona como instrumento norteador dos atores e instrumentos pertinentes à consecução das ações de CT&I encadeadas nas agendas estratégicas propostas nas diversas macrotemáticas.

A partir dessas planilhas de suporte e dos objetivos tecnológicos identificados na etapa de Construção de Futuro, foi possível identificar as ações de CT&I preponderantes em cada grupo temático e apontar seu direcionamento aos segmentos tecnológicos centrais em cada grupo.

8.2. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia

As macrotemáticas de Geração e Armazenamento de Energia objetivam, em sua maioria, o desenvolvimento de tecnologia nacional de sistemas de geração e armazenamento, o desenvolvimento nacional de componentes e equipamentos, a redução de custos e/ou aumento da eficiência de geração e, assim, o fomento à indústria brasileira. Outros objetivos são o desenvolvimento de ferramentas e metodologias para medição do recurso energético e para previsibilidade da geração de energia, assim como de tecnologias para integração entre fontes energéticas. No caso das fontes de geração mais maduras, como a fonte hidráulica, o enfoque é também para tecnologias de manutenção de ativos, eficiência energética e para modernização do parque atual. Cabe destacar, ainda, o foco nas tecnologias de beneficiamento de combustíveis, gestão de rejeitos e combustíveis usados, reciclagem e tecnologias de descomissionamento e gerenciamento do envelhecimento de usinas.

Estes objetivos foram traduzidos em metas regulatórias, tecnológicas e de inovação, e divididos em três períodos temporais: curto prazo (de 2017 a 2020); médio prazo (de 2020 a 2030); e longo prazo (de 2030 a 2050). A estratégia de CT&I que permitirá a consecução desses objetivos ou metas prevê, de maneira geral, as seguintes ações: criação de um ambiente regulatório e normativo nacional específico para as várias temáticas selecionadas; estabelecimento ou adensamento de redes de pesquisa e grupos de trabalho; execução de mapeamentos de recurso (solar, oceânico, em áreas remotas e novos insumos energéticos não renováveis); elaboração de estudos e projetos demonstrativos e/ou pilotos de sistemas de geração e armazenamento; construção de competências nacionais em termos de recursos humanos e infraestrutura de CT&I; difusão de experiências e do conhecimento gerado; e, por fim, a geração de demanda para implantação de novos componentes, sistemas, metodologias e novos materiais associados à geração e ao armazenamento de energia.

A curto prazo, as ações são, principalmente, no sentido da geração de competências, difusão do conhecimento e na construção do ambiente de inovação e definição de padrões técnicos, que se manterão ao longo de toda a agenda de CT&I. A médio prazo, geralmente, são adicionadas novas ações voltadas principalmente à realização de projetos demonstrativos para o desenvolvimento



de diversas tecnologias associadas às rotas tecnológicas selecionadas. No mais longo prazo, o foco tecnológico passa a ser principalmente na inserção piloto ou comercial das soluções desenvolvidas nas etapas anteriores no SEB e na sua difusão e geração de escala, contribuindo para a estruturação e consolidação de uma cadeia produtiva nacional.

Em termos de rotas tecnológicas, a priorização considera as rotas tecnológicas que têm potencial para apresentar resultados mais rápidos, como armazenamento Eletroquímico (Baterias), BMS e Armazenamento Mecânico (Bombeamento Reversível), no caso da macrotemática de Armazenamento de Energia e tecnologias de sistema de corpo oscilante e coluna de água oscilante (energia das ondas), tecnologias de turbinas de eixo horizontal e vertical (correntes oceânicas e de marés), barragens (amplitude de marés) das ondas e correntes, no caso da Geração Oceânica. Outro critério de priorização são os nichos em que o país tem condições de se destacar, como no caso de componentes BoS, sistemas fotovoltaicos e tecnologias orgânicas para a geração solar FV.

Cabe destacar as interdependências existentes entre as diversas macrotemáticas, tais como entre a Geração Eólica, a Geração Solar Fotovoltaica, os Sistemas de Armazenamento, as Soluções Apropriadas de Geração de Eletricidade em Regiões Remotas e, ainda, as Redes de Energia Inteligentes. Isto é, ações estratégicas realizadas em uma macrotemática terão um caráter quase transversal, aproveitando sinergias e complementaridades. Evoluções nos sistemas de armazenamento, por exemplo, beneficiarão as gerações de fonte intermitente, como a Eólica e a Solar, e serão empregadas, da mesma forma, nas regiões remotas. Esperam-se sinergias, também, entre o P&D para desenvolvimento de aerogeradores *offshore* e as tecnologias de turbinas de geração oceânica.

No caso de temáticas em que a tecnologia está mais madura, como no caso da eólica onshore de grande e médio porte, considerando que há uma necessidade de as máquinas (turbinas eólicas ou aerogeradores) adaptarem-se às condições de operação dos ventos brasileiros, uma ação proposta de grande relevância para geração de competências internas em recursos humanos e infraestrutura específicas é a criação de um centro de excelência em eólica no país.

Por fim, salienta-se a importância das questões de regulação, normatização e regulamentação, que são muitas vezes fundamentais para nortear o desenvolvimento das tecnologias do setor elétrico, assim como para sua difusão no mercado. Este é o caso, por exemplo: dos Sistemas de Armazenamento, que dependem destas ações para sua inserção no SIN e em GD e microrrede; das tecnologias do tipo BIPV (painéis solares integrados à construção) para sua introdução no contexto da GD; da gestão de rejeitos e combustíveis nucleares, que necessitam de normatização muito específica para seu armazenamento e reaproveitamento.

8.3. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Transmissão de Energia Elétrica

As macrotemáticas de Transmissão de Energia Elétrica são impactadas, em sua maioria, por um conjunto de desafios correlacionados. Informações prévias obtidas pelo desenvolvimento do projeto preveem a continuidade do crescimento da utilização da matriz hídrica, mormente na região Norte, com também importante crescimento do consumo em demais regiões. Nesse cenário, há necessidade de aumento considerável da energia transmitida a longa distância nas próximas décadas. Entretanto os custos sociais e ambientais têm-se mostrado elevados para a instalação de novas linhas de transmissão, tanto em função dos custos que emergem das negociações com as comunidades diretamente impactadas por tais empreendimentos, quanto em função das exigências de regulação ambiental (que devem se manter altas tendo em vista a necessidade de adequação aos acordos de Paris sobre o clima).

Outra questão transversal no grupo temático é o fato de que a malha de transmissão e as subestações encontram-se notadamente envelhecidas. O crescimento de geração por fontes intermitentes de energia e o aumento da complexidade do SEB impõem problemas de segurança energética e operacional, além de dificuldades de ordem técnica, de interoperabilidade, de gestão e de subsídio às tomadas de decisões estratégicas e operacionais.

A maioria das tecnologias mapeadas na etapa de Construção de Futuro conecta-se, de maneira direta ou indireta, às referidas problemáticas. O reaproveitamento das faixas de transmissão existentes, por meio da repotenciação/recapacitação, é de importância estratégica, uma vez que mitiga os custos e impactos ligados à abertura de novas faixas de linhas de transmissão e à realização de obras em locais de difícil acesso. No tocante à manutenção e operação, observam-se, de um lado, dificuldades na obtenção e gestão de informações necessárias à boa administração do SIN e, de outro lado, forte assimetria de conhecimentos e técnicas utilizadas entre os atores do sistema interligado. Nesse sentido, são necessárias ações visando à melhoria da qualidade do sistema informacional do SIN, bem como ao desenvolvimento e à difusão de técnicas que melhorem o desempenho/eficiência dos ativos existentes.

O sistema de inovação possui potencial assimétrico em relação às diferentes oportunidades tecnológicas aventadas. Isto é, há tecnologias importantes em desenvolvimento em que o país dispõe de elevada capacidade para, desde que determinadas ações sejam tomadas, acompanhar o bom desenvolvimento das rotas tecnológicas. Há outras, todavia, notadamente as ligadas aos supercondutores e nanotecnologias diversas, em que a defasagem brasileira em relação ao resto do mundo é significativa e, dificilmente, o país poderá se equiparar em médio prazo a ponto de dominar os principais requisitos ao pleno desenvolvimento de P&D a nível internacional. Avanços são necessários para capacitar o país para fazer bom uso dessas tecnologias e para posicionar-se de forma a suprir com peças e serviços a cadeia de fornecedores.



Desse conjunto de questões, emergem certas ações com importante grau de transversalidade entre as diferentes macrotemáticas aventadas. O fornecimento de bolsas de pesquisa e a melhoria das condições de ensino e pesquisa em nível acadêmico, ligadas ao setor elétrico e às universidades, tem caráter transversal, embora também se aponte para a importância de oferecimento de disciplinas e cursos específicos ligados a uma ou outra macrotemática. Cursos técnicos e profissionais a partir do Sistema S também devem ser incentivados, notadamente em operação e manutenção, de forma a melhorar o uso das tecnologias introduzidas no SIN. São propostos lançamentos de editais específicos para laboratórios em algumas tecnologias-chave e elaboração/modernização de políticas de financiamento ligadas não apenas à criação de novos laboratórios, mas, igualmente, para a expansão, a modernização e o melhor aproveitamento dos existentes.

Também é notório que há importante assimetria do conhecimento tecnológico no sistema de inovação, existindo soluções tecnológicas dominadas por certos atores e que, mesmo potencialmente útil para outros, são, por estes, desconhecidas. Bancos de dados com soluções tecnológicas e projetos conjuntos Universidade-Empresa são propostos e possuem o potencial de melhorar a difusão de conhecimento entre os atores do SIN. Chama-se a atenção, ademais, que certas ações devem ser pensadas, exclusivamente, para conectar as redes de pesquisadores e profissionais do SEB com aquelas próprias às redes de pesquisa já estabelecidas no Brasil em tecnologias/conhecimentos pertinentes ao grupo temático, mas previamente não conectados ao sistema de inovação próprio ao setor elétrico. É o caso, por exemplo, das redes de pesquisas em nanotecnologias e de certos segmentos de tecnologias da informação e da computação, em que o sistema de inovação em transmissão pode se aproveitar, a partir de custos relativamente reduzidos, da oportunidade de absorver conhecimentos necessários ao bom desenvolvimento de PD&I.

Um desafio particular para o país tem sido a crescente internacionalização do setor. Mesmo com a participação de empresas brasileiras em peças e componentes das instalações e dispositivos de transmissão, vê-se ameaçada a difusão de novas tecnologias de empresas estrangeiras no SIN. Assim, o sistema empresarial brasileiro, que é peça central à geração/retenção de valor interno ao sistema de inovação do país, pode encontrar dificuldades de introduzir e difundir tecnologias. Por essa razão, propõe-se um conjunto de ações específicas para a criação de novos atores empresariais brasileiros e da expansão de atuação dos atualmente existentes. Para o primeiro caso, políticas diversas de empreendedorismo são trazidas à tona e políticas de financiamento adequadas às empresas mais maduras são necessárias no segundo caso. Tais esforços são necessários para que as políticas de inovação gerem/retenham valor e contribuam não apenas para o equacionamento das importantes problemáticas técnicas e operacionais do SIN, mas, igualmente, para o desenvolvimento da cadeia produtiva do país.

O desenvolvimento e a modernização da cadeia produtiva, associados ao avanço das rotas tecnológicas apresentadas, requerem demanda por novos dispositivos e soluções tecnológicas adequadas em termos quantitativos e qualitativos – a consolidação e o crescimento das empresas nos setores fornecedores dependem diretamente disso. Por isso, propõe-se compreender o envelhecimento da malha de transmissão e subestações atuais (obsolescência dos ativos no SIN) não apenas como um custo e um problema a se equacionar, mas, igualmente, como uma oportunidade de consolidação, estímulo, orientação e uso da PD&I do sistema de inovação do país.

Ressaltou-se a necessidade de planejamento, por parte das concessionárias, para substituição de ativos em obsolescência no SIN, tendo por horizonte temporal, no mínimo, o médio prazo (até 2030). Assim, um volume de compras, com suas especificações técnicas associadas, poderia ser antevisto como oportunidade para as empresas nascentes e para o escalonamento da produção das existentes. A ausência de maior coordenação e atenção aos planos de modernização das concessionárias pode gerar disfuncional crescimento da complexidade do SIN, dificuldades de interoperabilidade e desperdício de oportunidade de fomento e orientação à PD&I de novas empresas e de empresas em expansão. Sugere-se convite a especialistas do setor e a grupos civis afetados pelos empreendimentos do SEB para revisão e consolidação, durante o planejamento e execução, das rotas tecnológicas e métricas priorizadas na expansão-modernização do sistema em diferentes macrotemáticas.

Em geral, os padrões técnicos, as normatização e as dificuldades regulatórias associadas às diferentes tecnologias em uso e em desenvolvimento também impactam a PD&I e a interoperabilidade do SIN – dificultando a difusão e o bom uso das tecnologias pertinentes. Há tecnologias sem qualquer normatização, há aquelas com normas defasadas e, ainda, outras que, mesmo existentes, são desconhecidas e carecem de medidas regulatórias para a sua aplicação/difusão. Propõem-se grupos de trabalho para avançar nessas questões e que sejam incorporadas métricas ambientais e sociais nas regulações e normatizações tecnológicas de forma a mitigar o impacto socioambiental da expansão do sistema de transmissão.

8.4. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Distribuição de Energia Elétrica

O grupo de Distribuição de Energia Elétrica contempla a evolução e o desenvolvimento de tecnologias, ferramentas e métodos associados à renovação do sistema de distribuição. A renovação e o aperfeiçoamento do sistema de distribuição de energia no Brasil engendra a necessidade de adoção de diversas ações de CT&I. Para o desenvolvimento dessas agendas de ações de CT&I, foram essenciais as informações levantadas na etapa de Construção de Futuro, sobretudo os objetivos e métricas



definidos para as diversas macrotemáticas, os indicadores de maturidade tecnológica, os mapas de rotas tecnológicas (*roadmaps*) e os fatores limitantes e facilitadores identificados para o desenvolvimento das tecnologias selecionadas. Somente a partir da identificação do cenário, das necessidades, dos fatores de indução e de barreias do desenvolvimento, foi possível criar agendas de CT&I para o curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo prazo (2030-2050).

As agendas de CT&I foram desenvolvidas para 12 macrotemáticas consideradas estruturantes do processo de renovação do Sistema de Distribuição de Energia. São elas: Medição Avançada; Automação da Rede; Compartilhamento de Serviços no Contexto das Cidades Inteligentes; Segurança Cibernética; Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC); Operação e Manutenção; Subestações e Equipamentos; Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle da Distribuição; Mobilidade Elétrica; Geração Distribuída e Microrredes; Redes de Distribuição Áreas e Subterrâneas e Qualidade da Energia.

Cada uma das 12 macrotemáticas possui necessidades específicas consonantes a cada nível de maturidade e desenvolvimento tecnológico. Contudo foi observado, ao longo da construção das agendas, que existem certos tipos de necessidades que permeiam, de alguma maneira, todas as 12 macrotemáticas, sendo certas ações essenciais à renovação do sistema de distribuição de forma transversal. Foram, então, elaborados grupos de metas de tipo regulatório, tecnológico e de inovação, indicando-se as ações e os instrumentos pertinentes à sua consecução, bem como prazos de implementação, possíveis atores de fomento ou de execução envolvidos e rotas tecnológicas aplicáveis a cada ação.

Primeiramente, foi observado um padrão de necessidades de cunho regulatório, sendo possível propor metas e ações regulatórias para todas as 12 macrotemáticas. As ações regulatórias propostas visam ao desenvolvimento de normas, padrões e diretrizes para o desenvolvimento de medição avançada, geração distribuída, protocolos de comunicação, segurança cibernética, segurança da informação e novas tecnologias de dados. A criação de normas nacionais deve contemplar estudos e tradução de normas técnicas internacionalmente estabelecidas, avaliando-se as possibilidades de adequação ao uso nacional. Ações regulatórias prospectivas também foram sugeridas, antecipando as necessidades de adequação dos sistemas de medição de energia, das tarifas de energia elétrica em face do desenvolvimento de veículos elétricos e de normas e do arcabouço regulatório em face da elevada penetração de GD.

Ações de cunho estrutural e tecnológico também foram propostas a partir de metas tecnológicas traçadas. De modo geral, existe a necessidade da modernização da infraestrutura do sistema de distribuição e da sua adaptação a partir do desenvolvimento de novas tecnologias, novos padrões de medição, segurança e privacidade de informações, da geração distribuída e da mobilidade elétrica. Foram descritas ações tais como as de desenvolvimento de tecnologias, mecanismos de testes,

ferramentas, sistemas de integração, etc. Para isso, destaca-se a importância das ações de formação de competência de pessoal, contemplando a reformulação de grades de cursos, e ações de apoio à infraestrutura para PD&I, tais como a criação de laboratórios e parques tecnológicos.

Por fim, ações de inovação foram desenvolvidas a partir de metas de inovação. De modo geral, essas ações se dão em médio e longo prazo, por ter estreita relação com a necessidade de modernização e desenvolvimento de novas tecnologias em etapas anteriores da cadeia de inovação. Essas ações contemplam medidas de fomento à inserção mercadológica de tecnologias inovadoras além da disseminação da cultura de inovação.

8.5. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Eficiência Energética

As quatro macrotemáticas do grupo de Eficiência Energética – Sistemas de Iluminação Eficientes, Edificações Eficientes, Saneamento e Indústria – apresentaram como objetivo geral a ecoeficientização de equipamentos e de sistemas, ou seja, o uso de equipamentos e concepções de projetos que envolvam menores impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de materiais e componentes e um menor consumo de eletricidade para provisão equivalente ou aprimorada do mesmo serviço ou função.

Objetivos particulares às macrotemáticas do grupo são: aproveitamento/adequação de padrões técnicos internacionais e desenvolvimento de critérios nacionais para incorporar o bem-estar do usuário em projetos de iluminação eficiente; integração de estratégias ativas (soluções de engenharia) e de estratégias passivas (soluções de arquitetura) para a construção de edificações *Zero Energy Balance* (ZEB); implantação de ferramentas e modelagem detalhada de análise da eficiência energética em aplicações industriais; e implantação de um sistema inteligente orientado por dados nos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

- Esses objetivos foram traduzidos em metas regulatórias, tecnológicas e de inovação e divididos em três períodos temporais: curto prazo (de 2017 a 2020); médio prazo (de 2020 a 2030); e longo prazo (de 2030 a 2050). A estratégia de CTI que permitirá a consecução desses objetivos ou metas prevê, de forma geral, as seguintes ações:
- Criação de um ambiente regulatório e normativo nacional específico para as várias temáticas selecionadas, com destaque para definição de parâmetros técnicos de qualidade e normatização, estabelecimento de métodos de avaliação do desempenho energético e padronização de metodologias de certificação e etiquetagem.
- Estabelecimento ou adensamento de redes de pesquisa e grupos de trabalho.



- Execução de estudos e pesquisas, visando à criação de bancos de dados em necessidades dinâmicas de iluminação, caracterização de materiais de construção, caracterização do parque construído nacional, uso industrial de energia elétrica e parâmetros de qualidade no abastecimento de água e esgotamento sanitário.
- Elaboração de estudos e projetos demonstrativos e/ou pilotos de acordo com as metas tecnológicas propostas e rotas tecnológicas priorizadas.
- Construção de competências nacionais em termos de recursos humanos e infraestrutura de CT&I, com destaque para formação em nível superior e de pós-graduação e infraestrutura laboratorial homologada pelo Inmetro.
- Difusão de experiências e do conhecimento gerado.
- Geração de demanda para implantação de novas tecnologias, sistemas, metodologias e novos materiais associados à eficiência energética.

No curto prazo, o foco das ações recai, principalmente, na geração de competências, difusão do conhecimento, execução de pesquisas, criação de bancos de dados e na definição de padrões técnicos de qualidade e normatização para certificação e etiquetagem de eficiência energética em equipamentos, sistemas e edificações. Essas ações deverão ser mantidas ao longo de toda a agenda de CT&I. No médio prazo, geralmente são adicionadas novas ações, visando ao desenvolvimento de projetos demonstrativos de acordo com as metas tecnológicas propostas e rotas tecnológicas priorizadas. No mais longo prazo, o foco da agenda estratégica passa a ser, principalmente, na inserção mercadológica das soluções desenvolvidas e na sua difusão e geração de escala, contribuindo para estruturação e consolidação de uma cadeia produtiva nacional.

8.6. Diretrizes de CT&I – Grupo Temático Assuntos Sistêmicos

O GT Assuntos Sistêmicos contempla questões relacionadas à gestão do SEB. Nesse grupo, são abordados desafios tecnológicos relacionados aos ramos da economia (modelos de eficiência econômica), aspectos institucionais (políticas e regulação), impactos técnico-econômicos e socioambientais, expansão e operação (planejamento do sistema e da demanda) e confiabilidade operacional, além de tópicos transversais como planejamento de CT&I, tecnologias para capacitação, normalização, regulamentação e avaliação de conformidade, informações e estrutura de dados do SEB.

Ao longo do período avaliado no projeto (2017 a 2050), espera-se que o SEB passe por profundas mudanças decorrentes das inovações tecnológicas que afetarão toda sua cadeia produtiva e, fundamentalmente, a forma como a energia elétrica é utilizada por toda a sociedade. Dessa forma, o

SEB deverá passar por um verdadeiro processo de transição tecnológica sistêmica, e essa transição, para sua efetividade, demandará grandes esforços de PD&I, que deverão ser subsidiados por infraestruturas de pesquisa, bases de dados, alterações regulatórias e formação de recursos humanos preparados para identificar e difundir soluções metodológicas e tecnológicas que permitirão a conformação do novo SEB no horizonte apontado.

A partir do processo de construção das agendas estratégicas de PD&I para as diversas macrotemáticas desse grupo, foi possível identificar os principais conjuntos de ações que se repetem e que podem ser considerados transversais a todo o grupo e, talvez, a todo o SEB. Esses conjuntos de ações se estruturam nos quatro eixos apresentados abaixo.

- I) **Medidas para subsidiar a alteração do Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro:** conforme apontado nas etapas de Diagnóstico e Construção de Futuro para cada macrotemática constante nesse grupo temático, as inovações tecnológicas que deverão ser inseridas no sistema no período avaliado demandarão uma completa revisão e aprimoramento do marco regulatório e institucional do SEB. Esse processo demandará ações de CT&I para o desenvolvimento de projetos de PD&I e contratação de consultorias e serviços especializados para a construção das bases conceituais e metodológicas para a definição desse novo marco. Assim, diversas ações de CT&I apresentam para o horizonte de curto e médio prazo (mais especificamente entre 2017 e 2025) iniciativas de desenvolvimento de projetos de P&D estratégico para formulação de estudos relacionados a novas metodologias de planejamento da expansão, operação, regulação, modelo institucional, comercialização, normalização e regulamentação, conformidade, dentre outros, que subsidiarão o processo de tomada de decisão necessário para aprimorar o marco regulatório e viabilizar a difusão tecnológica, garantindo o atendimento aos objetivos do SEB de sustentabilidade, segurança no atendimento e modicidade tarifária.
- II) **Consolidação de sistema de informações e estatísticas integradas para o SEB:** diversas inovações tecnológicas que deverão emergir das ações de CT&I propostas para atacar desafios tecnológicos identificados para as macrotemáticas do grupo deverão ter como subsídio um conjunto de informações e estatísticas integradas produzidas de forma robusta e transparente para todos os atores do setor. Desafios tecnológicos resultantes de novos algoritmos em modelos de planejamento da expansão, operação e projeção de demanda, além de inovações como Redes Elétricas Inteligentes, Geração Distribuída, Mobilidade Elétrica, Consumidores Ativos, Gestão Descentralizada e Regulação Integrada e Cooperada aumentarão, substancialmente, a complexidade do SEB, tornando estratégica a disponibilização de técnicas avançadas de coleta e análise de dados, como *Big Data*, *Data Analytics*, *Machine Learning* e *IoT*. Diante desse cenário, é apontada a necessidade de consolidação de um sistema de informações e



estatísticas integradas para o SEB. Exemplos de arranjos institucionais internacionais têm sido citados, como o Energy Information Administration (EIA), dos EUA, e as ações do EuroStat, da União Europeia. Dessa forma, espera-se que, no horizonte do estudo, medidas para consolidação de um sistema de coleta, sistematização e análise de dados para o SEB sejam tomadas.

- III) **Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em modelos, algoritmos e capacidades computacionais:** da mesma forma que a atividade anterior, as inovações necessárias para formulação de uma estratégia para transição sistêmica do setor elétrico deverá conter ações de CT&I para o desenvolvimento e o aprimoramento de modelos, algoritmos e das capacidades computacionais à disposição do SEB. Esse processo demandará, no curto, médio e longo prazo, projetos de PD&I e a estruturação de infraestrutura de CT&I para viabilizar pesquisas e o desenvolvimento de novos modelos de expansão, operação, previsão e gestão de demanda, avaliação de impactos de tecnologias e políticas, dentre outras. Os esforços de pesquisa devem ser subsidiados por seminários e redes de inovação que contemplem forte interlocução internacional, para garantir o acompanhamento da fronteira do conhecimento nas atividades em questão. A estratégia de CT&I para o grupo temático deve, assim, considerar ações permanentes para aprimorar as capacidades computacionais do SEB e considerar seu arranjo institucional para a sustentabilidade de tais medidas.
- IV) Geração de competências permanentes em ensino, pesquisa, avaliação e monitoramento do SEB: as ações de CT&I a serem desenvolvidas em cada macrotemática em questão deverão contemplar a consolidação de uma rede de “observatórios da energia” ou “centros de excelência”, de acordo com o apontado nas etapas anteriores do projeto. Essas iniciativas têm como objetivo a consolidação de estruturas permanentes para a formação de recursos humanos para a permanente avaliação e monitoramento do SEB, e a difusão de conhecimentos relacionados aos assuntos sistêmicos tratados pelo grupo temático. Essas são medidas que devem ser permanentes e realizadas em cooperação entre os atores envolvidos no SEB (MME, ONS, CCEE, EPE, Aneel) e os atores envolvidos no sistema de inovação brasileiro (MCTIC, MDIC, MEC, CNPq, Capes, FAPs, Finep, BNDES). Trata-se de medidas institucionais que devem ser alinhadas ao Programa de PD&I da Aneel, bem como a toda a política energética e de CT&I do Brasil.



Listas



Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura do mapa do conhecimento	32
Figura 2 - Processo de construção do mapa conceitual	33
Figura 3 - Processo de construção e análise da matriz multicritério	40
Figura 4 - Distribuição de RH por UF para o GT Geração	97
Figura 5 - Caracterização das relações de similaridade semântica e coautorias observados nas redes de currículos relativos às macrotemáticas Hidrogênio e CaC	102
Figura 6 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Transmissão de Energia Elétrica	142
Figura 7 - Identificação dos clusters da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Supercondutores	145
Figura 8 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Distribuição de Energia Elétrica	191
Figura 9 - Identificação dos clusters da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Operação e Manutenção	194
Figura 10 - Identificação dos clusters da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes	236
Figura 11 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Assuntos Sistêmicos	269
Figura 12 - Identificação dos clusters da rede colaborativa de profissionais da macrotemática Planejamento de CT&I	273

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução das patentes depositadas no Brasil referente aos grupos temáticos	46
Gráfico 2 - Percentual das patentes depositadas no Brasil referente aos grupos temáticos	47
Gráfico 3 - Evolução das quantidades de projetos P&D Aneel em cada grupo temático	48
Gráfico 4 - Percentual dos projetos P&D Aneel classificados nos grupos temáticos	49
Gráfico 5 - Evolução dos valores investidos nos projetos P&D Aneel em cada grupo temático	49
Gráfico 6 - Evolução dos artigos científicos produzidos no Brasil	50
Gráfico 7 - Caracterização da distribuição de assuntos pesquisados no mundo e no Brasil referentes ao grupo geração e armazenamento de energia, consolidado no período de 2007 a 2016	87
Gráfico 8 - Evolução da produção científica no Brasil, no contexto do grupo Geração e Armazenamento, considerando o período de 2007 a 2016	89
Gráfico 9 - Distribuição das macrotemáticas nos eventos do setor elétrico brasileiro	90
Gráfico 10 - Participação dos projetos Aneel por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica	91
Gráfico 11 - Posicionamento dos projetos de P&D do SEB, do grupo Geração e Armazenamento de Energia, na cadeia de inovação	92
Gráfico 12 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do grupo Geração e Armazenamento de Energia Elétrica	93
Gráfico 13 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do grupo Geração e Armazenamento de Energia Elétrica	94
Gráfico 14 - Distribuição de RH por macrotemática do grupo temático Geração	98
Gráfico 15 - Share de RH por macrotemática e por estado	98
Gráfico 16 - Rede colaborativa da macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível	100
Gráfico 17 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	106
Gráfico 18 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	107
Gráfico 19 - Quantidade de Programas de Pós-Graduação (PPGs) por macrotemáticas do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	108
Gráfico 20 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	109
Gráfico 21 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)	112
Gráfico 22 - Gráfico da porcentagem acumulada das rotas com elevado grau de maturidade, por macrotemática	116
Gráfico 23 - Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica	133



Gráfico 24 - Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica	135
Gráfico 25 - Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica	137
Gráfico 26 - Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica	138
Gráfico 27 - Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica	139
Gráfico 28 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica	140
Gráfico 29 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do grupo Distribuição de Energia Elétrica	141
Gráfico 30 - Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Transmissão de Energia Elétrica	143
Gráfico 31 - Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica	144
Gráfico 32 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica	149
Gráfico 33 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica	150
Gráfico 34 - Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica	151
Gráfico 35 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica	153
Gráfico 36 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)	155
Gráfico 37 - Porcentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta por macrotemática para o grupo de Transmissão de Energia Elétrica	166
Gráfico 38 - Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica	181
Gráfico 39 - Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica	184
Gráfico 40 - Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	186
Gráfico 41 - Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	187
Gráfico 42 - Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	188
Gráfico 43 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	189
Gráfico 44 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	190

Gráfico 45 - Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Distribuição de Energia Elétrica	192
Gráfico 46 - Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	193
Gráfico 47 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica	200
Gráfico 48 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica	201
Gráfico 49 - Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	202
Gráfico 50 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica	204
Gráfico 51 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)	206
Gráfico 52 - Porcentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta por macrotemática para o grupo de Distribuição	212
Gráfico 53 - Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Eficiência Energética	226
Gráfico 54 - Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Eficiência Energética	228
Gráfico 55 - Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Eficiência Energética	229
Gráfico 56 - Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemática do GT Eficiência Energética	230
Gráfico 57 - Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Eficiência Energética	231
Gráfico 58 - Patentes depositadas no mundo por macrotemática do GT Eficiência Energética	232
Gráfico 59 - Quantidade de patentes depositadas no Brasil por depositante residente ou não no Brasil por macrotemática do GT Eficiência Energética	232
Gráfico 60 - Distribuição geográfica dos profissionais do GT Eficiência Energética	234
Gráfico 61 - Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Eficiência Energética	235
Gráfico 62 - Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Eficiência Energética	235
Gráfico 63 - Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Eficiência Energética	240
Gráfico 64 - Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Eficiência Energética	241
Gráfico 65 - Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Eficiência Energética	242
Gráfico 66 - Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Eficiência Energética	244
Gráfico 67 - Valor total dos projetos por macrotemática do GT Eficiência Energética e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)	246



Gráfico 68 -	Porcentagem acumulada das rotas tecnológicas que atingirão maturidade alta por macrotemática, para o grupo de Eficiência Energética	250
Gráfico 69 -	Comparativo da produção de artigos entre o mundo e o Brasil no período de 2007-2016 nas macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos	262
Gráfico 70 -	Evolução das publicações científicas produzidas no Brasil no período de 2007 a 2016 das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos	264
Gráfico 71 -	Distribuição da produção de artigos publicados em eventos nacionais do setor elétrico brasileiro por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos	266
Gráfico 72 -	Percentual dos projetos P&D Aneel por macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos	267
Gráfico 73 -	Classificação dos projetos P&D Aneel quanto à cadeia de inovação por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos	268
Gráfico 74 -	Percentual por macrotemática dos profissionais do GT Assuntos Sistêmicos	270
Gráfico 75 -	Percentual em cada UF da participação dos profissionais por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos	271
Gráfico 76 -	Distribuição percentual de laboratórios disponíveis às macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos	278
Gráfico 77 -	Caracterização das atividades dos laboratórios na cadeia de inovação disponíveis às macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos	279
Gráfico 78 -	Quantidade de PPGs por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos	280
Gráfico 79 -	Distribuição das instituições financiadoras de projetos de pesquisa por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos	282
Gráfico 80 -	Valor total dos projetos por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos e agência de fomento – 2007-2016 (valor corrente em R\$ milhões)	284
Gráfico 81 -	Gráfico da porcentagem acumulada das rotas com grau de maturidade alta por Macrotemática	290

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Síntese das percepções das associações	64
Tabela 2 - Critérios considerados na análise das macrotemáticas	67
Tabela 3 - Ordem de preferência para cálculo da priorização das macrotemáticas	69
Tabela 4 - Priorização das macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	70
Tabela 5 - Priorização das macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica	71
Tabela 6 - Priorização das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica	71
Tabela 7 - Priorização das macrotemáticas do GT Eficiência Energética	72
Tabela 8 - Priorização das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos	72
Tabela 9 - Indicadores de Dimensão Social do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento	81
Tabela 10 - Indicadores de cadeia produtiva do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento	84
Tabela 11 - <i>Ranking</i> dos países que mais publicam no grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia, considerando as macrotemáticas	88
Tabela 12 - Empresas e instituições com maior número de patentes depositadas no Brasil por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	95
Tabela 13 - Palavras-chave identificadas nos <i>clusters</i> da macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível	101
Tabela 14 - Palavras-chave identificadas nos <i>clusters</i> da macrotemática Hidrogênio e Célula a Combustível	101
Tabela 15 - Assuntos abordados nas redes de colaborativas das macrotemáticas Energia Solar PV, Energia Solar Heliotérmica, Armazenamento de Energia, Energia Eólica e Energia Nuclear	103
Tabela 16 - Assuntos abordados nas redes de colaborativas das macrotemáticas Energia dos Oceanos, Sistemas Híbridos, Geração Temoelétrica e Geração Hidroelétrica	103
Tabela 17 - <i>Ranking</i> das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento (%)	108
Tabela 18 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento por agência de fomento – 2007-2016	111
Tabela 19 - Priorização das macrotemáticas do GT Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia no contexto do planejamento estratégico	113
Tabela 20 - Objetivo geral da Visão de Futuro das macrotemáticas do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	114
Tabela 21 - Tópicos priorizados para cada macrotemática do grupo Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia	118
Tabela 22 - Indicadores de Dimensão Social do GT Transmissão de Energia Elétrica	127
Tabela 23 - Indicadores de Cadeia Produtiva do GT Transmissão de Energia Elétrica	129
Tabela 24 - Indicadores de Cadeia Produtiva do GT Distribuição de Energia Elétrica	130



Tabela 25 - <i>Ranking</i> , por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Transmissão de Energia Elétrica	134
Tabela 26 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Supercondutores	146
Tabela 27 - Apresentação das relações e resultados do grau médio de similaridade semântica e coautoria para a rede colaborativa da macrotemática Supercondutores	147
Tabela 28 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> das redes colaborativas do GT Transmissão de Energia Elétrica	148
Tabela 29 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Supercondutores (continuação)	148
Tabela 30 - <i>Ranking</i> das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Transmissão de Energia Elétrica (%)	152
Tabela 31 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Distribuição de Energia Elétrica por agência de fomento – 2007-2016	154
Tabela 32 - Priorização das macrotemáticas do GT Transmissão de Energia Elétrica no contexto do planejamento estratégico	157
Tabela 33 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática do grupo de Transmissão de Energia Elétrica	164
Tabela 34 - Tópicos priorizados para cada macrotemática do grupo de Transmissão de Energia Elétrica	167
Tabela 35 - Indicadores de Dimensão Social do GT Distribuição de Energia Elétrica	176
Tabela 36 - Indicadores de Dimensão Mercado do GT Distribuição de Energia Elétrica	177
Tabela 37 - Indicadores de cadeia produtiva do GT Distribuição de Energia Elétrica	179
Tabela 38 - <i>Ranking</i> , por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Distribuição de Energia Elétrica	182
Tabela 39 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Operação e Manutenção	195
Tabela 40 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Operação e Manutenção (continuação)	196
Tabela 41 - Apresentação das relações e resultados do grau médio de similaridade semântica e coautoria para a rede colaborativa da macrotemática Operação e Manutenção.	197
Tabela 42 - <i>Ranking</i> das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Distribuição de Energia Elétrica (%)	203
Tabela 43 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Distribuição de Energia Elétrica por agência de fomento – 2007-2016	205
Tabela 44 - Priorização das macrotemáticas do GT Distribuição de Energia Elétrica no contexto do planejamento estratégico	207
Tabela 45 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática do grupo de Distribuição	210
Tabela 46 - Tópicos priorizados para cada macrotemática do grupo de Distribuição	213
Tabela 47 - Indicadores de Dimensão Social do GT Eficiência Energética	222
Tabela 48 - Indicadores de Dimensão Mercado do GT Eficiência Energética	223

Tabela 49 - Indicadores de cadeia produtiva do GT Eficiência Energética	224
Tabela 50 - <i>Ranking</i> , por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Eficiência Energética	227
Tabela 51 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes	237
Tabela 52 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes (continuação)	237
Tabela 53 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes	238
Tabela 54 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> das redes colaborativas do GT Eficiência Energética	239
Tabela 55 - <i>Ranking</i> das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Eficiência Energética (%)	243
Tabela 56 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Eficiência Energética por agência de fomento – 2007-2016	245
Tabela 57 - Priorização das macrotemáticas do GT Eficiência Energética no contexto do planejamento estratégico	247
Tabela 58 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática do grupo de Eficiência Energética	249
Tabela 59 - Tópicos priorizados, para cada macrotemática, do grupo de Eficiência Energética	251
Tabela 60 - Indicadores de Dimensão Social do GT Assuntos Sistêmicos	260
Tabela 61 - <i>Ranking</i> , por macrotemática, dos países que mais publicam no GT Assuntos Sistêmicos	263
Tabela 62 - Principais palavras-chave que caracterizam cada <i>cluster</i> da rede colaborativa da macrotemática Planejamento de CT&I.	274
Tabela 63 - Redes de similaridade semântica e de coautoria das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos	275
Tabela 64 - Principais temas de pesquisa identificados nas macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos	276
Tabela 65 - Principais temas de pesquisa identificados nas macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos (continuação)	276
Tabela 66 - Principais temas de pesquisa identificados nas macrotemáticas do grupo Assuntos Sistêmicos (continuação)	277
Tabela 67 - <i>Ranking</i> das cinco UFs com maior número de PPGs por macrotemática do GT Assuntos Sistêmicos (%)	281
Tabela 68 - Estatísticas descritivas dos projetos acerca do GT Assuntos Sistêmicos por agência de fomento – 2007-2016	283
Tabela 69 - Priorização das macrotemáticas do GT Assuntos Sistêmicos no contexto do planejamento estratégico	285
Tabela 70 - Objetivo geral da Visão de Futuro para cada macrotemática	288
Tabela 71 - Tópicos priorizados para cada macrotemática	292



Tabela 72 - Organização da metodologia para a construção de Agenda de CT&I para o Setor (Continua)	300
Tabela 72 - Organização da metodologia para a construção de Agenda de CT&I para o Setor (Continuação)	301
Tabela 73 - Organizações e instrumentos de CT&I de acordo com o grau de maturidade tecnológica e atividades da cadeia de inovaçãoFonte: elaboração própria.	303

Lista de siglas e abreviaturas

- a.a | ao ano
- ACEEE | *American Council for an Energy-Efficient Economy*
- Aneel | Agência Nacional de Energia Elétrica
- Apine | Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica
- BMS | *Battery Management System*
- BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- BoS | *Balance of System*
- BUR | *Brazilian Utility Requirements*
- CA | Corrente Alternada
- Capes | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CC | Corrente Contínua
- CCEE | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
- CEEE | Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul
- Cefet | Centro Federal de Educação Tecnológica
- Cemig | Companhia Energética de Minas Gerais S.A.
- Cepel | Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
- CGEE | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
- CHESF | Companhia Hidrelétrica do São Francisco
- CiteneI | Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica
- CNI | Confederação Nacional da Indústria
- CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- COP | Coeficiente de *Performance*
- Copel | Companhia Paranaense de Energia
- CSP | sistemas de energia solar concentrada
- CT&I | Ciência, Tecnologia e Inovação
- DGP | Diretório dos Grupos de Pesquisa
- DSM | *Demand Side Management*
- DSos | Sistema de Distribuição
- E-E | Empresa-Empresa
- Eletronorte | Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
- EPE | Empresa de Pesquisa Energética
- FACTS | *Flexible AC Transmission Systems* (em português Sistemas Flexíveis de Transmissão em Corrente Alternada)
- FAPs | Fundações de Amparo à Pesquisa
- Finep | Financiadora de Estudos e Projetos
- Funtec | Fundo Tecnológico
- GD | Geração Distribuída
- GEEs | gases de efeito estufa
- GIS | Subestações Isoladas a Gás
- GLD | Gestão pelo lado da demanda



GN | Gás Natural
GT | Grupo temático
HVDC | *High-Voltage, Direct Current*
IA | Inteligência Artificial
IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IED | Investimento estrangeiro direto
Inmetro | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
Inpi | Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
IoT | *Internet of Things* (Internet das Coisas)
IPCA | Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
LED | *Light Emitting Diode*
LTs | Linhas de Transmissão
M2M | *Machine-to-Machine*
MCTIC | Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC | Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MMC | Controle modular multinível
MME | Ministério de Minas e Energia
NDC | Contribuição Nacionalmente Determinada
O&M | Operação & Manutenção
Ompi | Organização Mundial da Propriedade Intelectual
P&D | Pesquisa e Desenvolvimento
PCHs | Pequenas Centrais Hidrelétricas
PCT | Tratado de Cooperação de Patentes
PD&I | Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PEE | Programa de Eficiência Energética
PIB | produto interno bruto
PMU | *Phasor Measurement Unit*
Pnuma | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPGs | Programas de Pós-Graduação
Procel | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Promethee | *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*
PWR | Reator de água pressurizada (e inglês *pressurized water reactor*)
REIs | Redes Elétricas Inteligentes
ROC | *Rank Order Centroid*
RSUs | Resíduos Sólidos Urbanos
RTTRS | *Real Time Thermal Rating Systems*
SE | Subestação
SEB | Setor Elétrico Brasileiro
Senai | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Sendi | Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
Sepope | Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica
SIN | Sistema Interligado Nacional

SNTPEE | Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

SVC | *Static Var Compensator*

TC | Transformadores de Corrente

TCSC | *Technical Committee on Scalable Computing*

TI | Tecnologia de Informação

TICs | Tecnologia de Informação e Comunicação

TSOs | Sistema de Transmissão

U-E | Universidade-Empresa

UF | Unidade da Federação

UHE | Usina Hidroelétrica

VPP | *Virtual Power Plants*

VSC | *Voltage Sourced Converter*

WAMS | *Wide Area Monitoring System or Wide Area Measurement System*



Acesse www.cgee.org.br/energia



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

