



Programa de Pesquisa e
Desenvolvimento - P&D



Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro

Volume 5-8

Evolução tecnológica
nacional no segmento
de distribuição de
energia elétrica

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.cgee.org.br>.

Boa leitura!

Empresas:



Comitê estratégico:





Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro

Volume 5-8

Evolução tecnológica
nacional no segmento
de distribuição de
energia elétrica



Brasília – DF
2017

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

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

Presidente

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Gerson Gomes

Edição/*Dyleny Alves*

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: Evolução tecnológica nacional no segmento de distribuição de energia elétrica. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. v.5.

587 p.; il, 24 cm

ISBN: 978-85-5569-136-2 (eletrônico)

1. Energia Elétrica. 2. Distribuição de Energia Elétrica. 3. Construção do Futuro. 4. Rotas Tecnológicas. 5. Foresight. 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: Evolução tecnológica nacional no segmento de distribuição de energia elétrica. Brasília, DF: 2017. 587 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 5-8 - Evolução tecnológica nacional no segmento de distribuição de energia elétrica

Supervisão

Gerson Gomes

Coordenação

Ceres Zenaide Barbosa Cavalcanti

Equipe técnica

Alanna Alencar Coelho da Silva

Alexandre Braz Azevedo

Allan Parente Vasconcelos

Amanda Lopes Dantas (Estagiária)

Daniel Haubert de Freitas

Júlia Beatriz Ramos

Leonardo Ivo de Carvalho Silva

Márcia Tupinambá

Matheus Rafael Passos (Estagiário)

Ricardo Gonçalves Araújo Lima

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

Colaboradores na assistência administrativa

Stênio Neves Muniz
Thiago Silva

COLABORADORES – Participantes do 2º ciclo de reuniões de especialistas

Acácio Barreto Neto (Summa Engenharia)
Afonso Machado (SPIN)

Alex Almeida Pignatti (CPFL)
Alexandre Franciso Maia Bueno (ex -CEMIG)
Altair Olivo Santin (PUCPR)
Amaury Antonio Damiance (ENERGISA)
Andrey Brito (UFCG)
Antonio Jorge Furquim (Esteio Engenharia)
Antonio Padilha Feltrin (Unesp)
Antonio Roberto Donadon (CPFL Piratininga)
Arthur Franklin (CEB)
Augusto da Rocha Gomes (CPqD)
Carlos Alberto Monteiro Leitão (CEMIG)
Carlos Frederico Meschini Almeida (USP)
Charles Bezerra do Pardo (Inmetro)
Cláudio Dantas de Oliveira (Schneider)
Daniel Perez Duarte (Sinapsis)
Danilo Leite (CPFL)
Dante Hollanda (MCTIC)
Darcio de Souza Dias (AES Eletropaulo)
Davidson Boccardo (Clávis Segurança da Informação)
Edson Yakabi (EDP)
Eduardo Caldas Cardoso (CPFL Energia)
Élcio Deccache (SOSAMA)
Ernesto A. Mertens Júnior (consultor)
Fabiano Andrade de Oliveira (ONS)
Fábio Borges (LNCC)
Felipe Vigolvino Lopes (UnB)
Fernando Antonio Medeiros da Silva (CEMIG)
Flávia L. Consoni (UNICAMP)
Flávio Tonioli Mariotto (CPqD)
Frederico Dourado (CEB)
Gabriel Konzen (EPE)
Gil Vasconcelos (Matrix Energia)

Gilson Paulillo (Energisa)
Giovanni Manassero Junior (USP)
Guilherme de Azevedo Dantas (UFRJ)
Hugh Cameron Craig (THEMAG)
Ivo Ordonha Cyrillo (SINAPSIS)
Johnny José Mafra Junior (Fitec)
Jonny Romeiro Doin (Grid Vortex)
Jorge Miguel Ordacgi Filho (consultor)
José Sidnei Colombo Martini (USP)
Júlio César Marques de Lima (CEMIG Distribuição S/A)
Juracy Pereira Mamede (consultor)
Keiko Verônica Ono Fonseca (UTFPR)
Lauris Perfeito (FAB)
Luana de Melo Gomes (EDP)
Luis Rogério Varasquim (RV Consultoria)
Luiz Carlos dos Santos Júnior (Nansen S.A Instrumentos de Precisão)
Luiz Fernando Rust da Costa Carmo (Inmetro)
Luiz Rolim (consultor)
Marcel Neto Araujo (Schneider - electric)
Marcelo Aparecido Pelegrini (Sinapsis)
Marcelo Guimarães (CEB)
Marcelo Ximenes (Eletrobras)
Marcos Trevisan Vasconcellos (Inmetro)
Mario Jorge Ribeiro Junior (CEB)
Mauricio Barbosa de Camargo Salles (USP)
Natália Moraes (EPE)
Nestor J. N. Machado (ex CPFL e Machado Serviços)
Nilton de Oliveira Branco (EDP -Bandeirante)
Paulo Fernando de Matos Araujo (EPE)
Paulo Fernando Ribeiro (UNIFEI)
Paulo Roberto de Souza Pimentel (Pimentel Smart Grid Utilities)
Paulo Sérgio Pereira (Conprove Engenharia Ltda)

Rafael Shayani (UnB)
Raphael Carlos Machado (Inmetro)
Renato Machado Monaro (USP)
Ricardo Penido D. Ross (Cepel)
Ricardo Teixeira (EATON)
Ricardo Vegam Dias (CEB-DIS)
Rodrigo Jardim Riella (Lactec)
Rodrigo Kimura (ENGIE Brasil)
Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo (MCTI)
Sergio de Oliveira Frontin (UnB)
Sérgio Lessa (NEOENERGIA -Coelba)
Sérgio Luis Ribeiro (CPqD)
Sérgio Scramin (EPE)
Tadeu Ferreira dos Santos (CEB -DIS)
Tiago de Barros Correa (Aneel)
Vagner Vasconcellos (CPFL)
Walter Barbosa (CPFL)

Maurício Barbosa de Camargo Salles (USP)
Paulo Fernando Ribeiro (UNIFEI)
Raphael Carlos Santos Machado (Inmetro)
Renato Machado Monaro (USP)
José Sidnei Colombo Martini (USP)

COLABORADORES - Contribuições nos Textos

Acácio Barreto Neto (Summa Engenharia)
Carlos Frederico Meschini Almeida (USP)
Charles Bezerra do Pardo (Inmetro)
Daniel Perez Duarte (Sinapsis)
Flávio Toniolli Mariotto (CPqD)
Gil Vasconcelos (Matrix Energia)
Johnny José Mafra Júnior (Fitec)
Jorge Miguel Ordacgi Filho (consultor)
Luiz Acácio Guimarães Rolim (consultor)
Luiz Fernando Rust da Costa Carmo (Inmetro)
Marcelo Aparecido Pelegrini (Sinapsis)

Sumário

RESUMO EXECUTIVO	17
------------------	----

Capítulo 1

Introdução

1.1	Contexto	33	
1.2	O Projeto	34	
	1.2.1	Objetivo do projeto	35
	1.2.2	Metodologia do projeto	35
1.3	Governança do projeto	36	
1.4	Objetivo do livro	37	
1.5	Conceitos das macrotemáticas	38	
	1.5.1	Medição avançada	39
	1.5.2	Automação da rede	39
	1.5.3	Compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes	39
	1.5.4	Segurança cibernética	40
	1.5.5	Tecnologia da informação e comunicação (TIC)	40
	1.5.6	Operação e manutenção	40
	1.5.7	Subestações e equipamentos	40
	1.5.8	Infraestrutura de proteção, automação e controle	41
	1.5.9	Mobilidade elétrica	41
	1.5.10	Geração distribuída e microrredes	41
	1.5.11	Redes de distribuição aéreas e subterrâneas	42
	1.5.12	Qualidade da energia elétrica	42
1.6	Abordagem dos capítulos	42	
1.7	Análise geral do grupo Distribuição de Energia Elétrica (tendências nacionais e internacionais)	44	

Capítulo 2

Macrotemática Medição Avançada

2.1	Visão de futuro	53
2.1.1	Cenário setorial	53
2.1.2	Objetivo geral	54
2.1.3	Objetivo específico	54
2.1.4	Fundamentação	56
2.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	59
2.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	70
2.3.1	Temática interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)	71
2.3.2	Temática aplicações de medição avançada no sistema de distribuição	76
2.3.3	Temática durabilidade dos medidores	85
2.4	Priorização	92

Capítulo 3

Macrotemática Automação da Rede

3.1	Visão de futuro	98
3.1.1	Cenário setorial	98
3.1.2	Objetivo geral	100
3.1.3	Objetivo específico	101
3.1.4	Fundamentação	102
3.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	106
3.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	110
3.3.1	Temática desenvolvimento de hardware	110
3.3.2	Temática desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes	118
3.3.3	Temática integração de sistemas e componentes	131
3.4	Priorização	136

Capítulo 4

Macrotemática Compartilhamento de Serviços no contexto das Cidades Inteligentes

4.1	Visão de futuro	144
4.1.1	Cenário setorial	144
4.1.2	Objetivo geral	145
4.1.3	Objetivo específico	145
4.1.4	Fundamentação	147
4.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	148
4.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	158
4.3.1	Temática infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes	158
4.3.2	Temática aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes	166
4.4	Priorização	171

Capítulo 5

Macrotemática Segurança Cibernética

5.1	Visão de futuro	176
5.1.1	Cenário setorial	176
5.1.2	Objetivo geral	179
5.1.3	Objetivo específico	180
5.1.4	Fundamentação	181
5.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	184
5.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	187
5.3.1	Temática arcabouço regulatório	187
5.3.2	Temática gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade	192
5.3.3	Temática tecnologias de segurança, confiança e privacidade	200
5.4	Priorização	205

Capítulo 6

Macrotemática Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)

6.1	Visão de futuro	209
6.1.1	Cenário Setorial	209
6.1.2	Objetivo geral	210
6.1.3	Objetivo específico	210
6.1.4	Fundamentação	212
6.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	213
6.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	216
6.3.1	Temática infraestrutura de telecomunicações	216
6.3.2	Temática tratamento dos megadados (Big Data)	223
6.4	Priorização	229

Capítulo 7

Macrotemática Operação e Manutenção

7.1	Visão de futuro	234
7.1.1	Cenário setorial	234
7.1.2	Objetivo geral	235
7.1.3	Objetivo específico	236
7.1.4	Fundamentação	238
7.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	240
7.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	242
7.3.1	Temática operação	242
7.3.2	Temática manutenção	263
7.3.3	Temática segurança	270
7.4	Priorização	275

Capítulo 8

Macrotemática subestações e equipamentos

8.1	Visão de futuro	282
8.1.1	Cenário setorial	282
8.1.2	Objetivo geral	282
8.1.3	Objetivo específico	283
8.1.4	Fundamentação	284
8.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	286
8.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	290
8.3.1	Temática integração de subestações em ambiente urbano	290
8.3.2	Temática gestão de ativos de subestações	298
8.3.3	Temática sistemas de aterramento	303
8.3.4	Temática equipamentos	308
8.3.5	Temática esquemas de controle e proteção de subestações	316
8.3.6	Temática gerenciamento de índices técnicos no nível da subestação	320
8.4	Priorização	327

Capítulo 9

Macrotemática infraestrutura de proteção, automação e controle da distribuição

9.1	Visão de futuro	334
9.1.1	Cenário setorial	334
9.1.2	Objetivo geral	335
9.1.3	Objetivo específico	336
9.1.4	Fundamentação	337
9.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	338

9.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	342
9.3.1	Temática dispositivos de proteção, automação e controle (PAC) para redes de distribuição	342
9.3.2	Temática Influência de Geração Distribuída (GD), Virtual Power Plants (VPP) e Microrredes (MR)	355
9.3.3	Temática sensores, atuadores e dispositivos de teste para redes de distribuição	359
9.4	Priorização	365

Capítulo 10

Macrotemática mobilidade elétrica

10.1	Visão de futuro	375
10.1.1	Cenário setorial	375
10.1.2	Objetivo geral	376
10.1.3	Objetivo específico	376
10.1.4	Fundamentação	378
10.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	386
10.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	400
10.3.1	Temática - Integração de veículos elétricos à rede de distribuição	401
10.3.2	Temática - Inserção de veículos elétricos	410
10.4	Priorização	421

Capítulo 11

Macrotemática geração distribuída e microrredes

11.1	Visão de futuro	428
11.1.1	Cenário Setorial	428
11.1.2	Objetivo geral	429
11.1.3	Objetivo específico	429
11.1.4	Fundamentação	431
11.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	433

11.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	441
11.3.1	Temática geração distribuída no sistema de distribuição	441
11.3.2	Temática operação de microrredes	447
11.3.3	Temática armazenamento de energia para integração de GD	451
11.3.4	Temática normatização para geração distribuída e microrredes	454
11.4	Priorização	457

Capítulo 12

Macrotemática redes de distribuição aéreas e subterrâneas

12.1	Visão de futuro	464
12.1.1	Cenário setorial	464
12.1.2	Objetivo geral	466
12.1.3	Objetivo específico	466
12.1.4	Fundamentação	469
12.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	472
12.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	476
12.3.1	Temática redes de distribuição	476
12.3.2	Temática recuperação de energia	485
12.3.3	Temática redes de distribuição subterrâneas	494
12.3.4	Temática redes de distribuição aéreas	503
12.4	Priorização	511

Capítulo 13

Macrotemática qualidade da energia elétrica

13.1	Visão de futuro	520
13.1.1	Cenário setorial	520
13.1.2	Objetivo geral	521
13.1.3	Objetivo específico	521
13.1.4	Fundamentação	522
13.2	Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	524

13.3	Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	528
13.3.1	Temática qualidade do serviço	528
13.3.2	Temática qualidade do produto	536
13.3.3	Temática qualidade comercial e relacionamento com o cliente	543
13.4	Priorização	550
	ANEXO - PLANILHA DE INDICADORES	571
	REFERÊNCIAS	553
	LISTA DE FIGURAS	573
	LISTA DE GRÁFICOS	576
	LISTA DE TABELAS	581
	LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	585



Resumo executivo

Com o advento das Redes Elétricas Inteligentes (REIs) e tendências disruptivas associadas como Geração Distribuída (GD), medição avançada, crescentes níveis de monitoramento, sensoriamento e automação da rede e maior fluxo de dados e volume de informações no sistema, o setor de distribuição elétrica passa por uma mudança significativa de paradigma tecnológico. 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 crescimento mais significativo da inserção de veículos elétricos no Brasil e que 21% dos consumidores sejam atendidos por medidores inteligentes, com as devidas funcionalidades e sistema de comunicação associados. Para subsidiar tais mudanças e maximizar seus benefícios, ter-se-ão, também, níveis avançados de automação, apoiando o gerenciamento do desempenho das redes de distribuição, com maior capacidade de supervisão e apoio à operação em tempo real.

Esses aspectos, em conjunto com demais tecnologias, exigirão a adaptação do sistema de distribuição e trarão implicações para os modelos de negócios tradicionais das distribuidoras. Com o aumento da penetração de GD, por exemplo, os antigos consumidores ganham um novo papel – o de prossumidor – e a infraestrutura oferecida pela concessionária pode vir a ser mais importante do que a venda de energia em si para o negócio de distribuição. 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 caracteriza um importante *driver* do setor, demandando a atualização dos indicadores de qualidade.

Além das implicações mercadológicas, a infraestrutura da rede de distribuição deverá ser renovada a fim de se adaptar às tendências disruptivas. Como apenas algumas consequências, destaca-se que:

- a bidirecionalidade do fluxo, decorrente dos recursos energéticos distribuídos, demandará a atualização das metodologias e sistemas de proteção, automação e controle;
- os sistemas de operação deverão trabalhar de maneira inteligente, com a análise de um grande volume de dados e elevados níveis de automação para integrar, garantir a interoperabilidade e maximizar os ganhos de tecnologias como GD e veículos elétricos;
- os índices de qualidade mais rígidos e o aumento da demanda exigirão equipamentos, ferramentas, algoritmos e metodologias que ensejem maior robustez à rede;
- o monitoramento on-line de novas tecnologias como GD e veículos elétricos, a transmissão dos dados de consumo em tempo real gerados pela medição avançada e o maior sensoriamento,

monitoramento e automação da rede demandarão uma robusta infraestrutura de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), bem como o rápido tratamento desses dados para geração de informações valorosas para a operação da rede e monetização dos serviços;

- 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 da rede;
- essas tecnologias, desenvolvidas de maneira integrada e interoperável, por meio do compartilhamento de serviços e infraestruturas, ensejam a formação do ecossistema de cidades inteligentes.

Dessa maneira, as REIs revolucionam a forma de geração, transmissão e, especialmente, de distribuição da energia elétrica, ao mesmo tempo em que alteram a relação consumidor/concessionária, criando um novo modelo de prestação dos serviços de energia elétrica. As TICs associadas ao conjunto de linhas e equipamentos do sistema de distribuição de energia viabilizam níveis superiores de gerenciamento e segurança do sistema elétrico. Os controles e comandos, a medição, o monitoramento e a transferência instantânea e bidirecional de informações entre os dispositivos fazem com que a infraestrutura e os serviços prestados sejam mais eficientes, com menores perdas operacionais e não operacionais. A energia transportada passa a ser distribuída com inteligência e usada com maior eficiência. A REI tornará possível realizar a conexão de micro e miniunidades de geração de energia à rede (incluindo as energias renováveis e alternativas), possibilitando uma diversificação na matriz energética como também a viabilidade de integração de veículos elétricos e híbridos para consumo e geração de energia. Além dos controles efetivos da infraestrutura energética, tecnologias interativas de automação, articuladas aos medidores, pode ser utilizada para aperfeiçoar a operação de aparelhos eletrodomésticos nas residências.

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

A fim de contemplar todas essas mudanças e orientar o desenvolvimento de PD&I para a reestruturação do setor de distribuição elétrica, são propostas neste estudo as macrotemáticas de automação da rede; medição avançada; geração distribuída e microrredes; mobilidade elétrica; qualidade da energia elétrica; infraestrutura de proteção, automação e controle; operação e manutenção; tecnologia da informação e comunicação; segurança cibernética; compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes; subestação e equipamentos e redes de distribuição áreas e subterrâneas. Para cada uma delas, destacam-se a seguir os resultados deste trabalho relativos à visão de futuro, à evolução da maturidade tecnológica e às rotas priorizadas.



Medição avançada

- **Visão de futuro:** provimento de ferramentas de eficiência energética, comercial e operativa para o sistema elétrico, com diminuição das perdas técnicas e não técnicas, com a redução dos custos de leituras e melhor identificação de faltas e melhor planejamento energético, por meio do controle de cargas por corte e religa. Visa-se também ao aproveitamento das oportunidades de novos negócios além do mercado cativo que essa tecnologia pode alavancar.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** o foco da evolução tecnológica da macrotemática está na garantia de interoperabilidade entre os equipamentos e na durabilidade dos medidores e no desenvolvimento das aplicações da medição avançada, como novas oportunidades de negócios, sistemas de gerenciamento pelo lado da demanda, ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas voltadas à qualidade de energia e gestão de ativos. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta até 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à regulamentação de remuneração de ativos da Aneel, à necessidade de tarifação dinâmica como estímulo, às questões mercadológicas (demanda e custo da tecnologia), ao desenvolvimento de normas protocolos e padrões e a uma infraestrutura robusta de TIC.
- **Rotas priorizadas:** os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática e os investimentos em PD&I devem priorizar a normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada, o desenvolvimento de ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas e a garantia de operação a longo prazo para maior durabilidade dos medidores.

Automação da rede

- **Visão de futuro:** desenvolvimento de metodologias e algoritmos que contribuam para mitigar o impacto de distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica ofertada aos consumidores finais, disponibilizando orientações mais precisas para lidar com eventuais contingências, aumentando a rapidez na correção de defeitos e reduzindo o OPEX. Visa também ao desenvolvimento de metodologias, arquiteturas, algoritmos e protocolos que contribuam para o aumento da capacidade de supervisão e monitoração das redes de distribuição, especialmente as de média e baixa tensão, permitindo melhor aproveitamento da infraestrutura de rede elétrica disponível, a operação com recursos energéticos distribuídos e a identificação de eventuais focos de perdas não-técnicas.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** o foco da evolução tecnológica da macrotemática está no desenvolvimento de: sensores e atuadores; protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados; ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos e metodologias para localização de faltas, apoio à operação na realização de manobras automáticas, gestão de ativos, gerenciamento de recursos energéticos distribuídos e gerenciamento pelo lado da demanda. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta após 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à capacitação técnica de pessoal, em termos de conceitos de automação e integração de sistemas, com reformulação de currículo e cursos técnicos; ao desenvolvimento de laboratórios, centros de pesquisa e ambientes de teste e cossimulação; à avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação podem ser incentivados; à padronização e certificação dos equipamentos, com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa.
- **Rotas prioritizadas:** os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática e os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas e para localizar faltas, sensores e atuadores para equipamentos nas redes de baixa tensão.



Compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes

- **Visão de futuro:** Formação, com segurança cibernética, do ecossistema das cidades inteligentes, buscando o desenvolvimento tecnológico necessário ao atendimento do vasto espectro de áreas de aplicação e serviços habilitados por esse conceito. Nesse contexto, o foco da PD&I deve ser promover o desenvolvimento tecnológico do 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. Além disso, os investimentos em PD&I também devem ser direcionados à integração de tecnologias, sistemas e modelos de negócio compartilhados voltados a cidades inteligentes.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da macrotemática está no estudo de oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços, na integração de tecnologias e sistemas, no desenvolvimento de métricas de desempenho, modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes e de negócio para cidades inteligentes e na garantia da interoperabilidade. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta na década de 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à necessidade de padrões e normas para troca de informações e desenvolvimento das aplicações, de protocolos de compartilhamento e entendimento das funções inerentes das infraestruturas realizadas (água, gás, eletricidade e transporte) e de interoperabilidade entre elementos do sistema; aos instrumentos regulatórios e políticas de incentivo; à compatibilidade dos protocolos de comunicação; à robustez da rede de telecomunicações para garantia de segurança de dados; ao desenvolvimento de laboratórios especializados.
- **Rotas prioritizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar a integração de tecnologias e sistemas e a garantia da interoperabilidade.

Segurança cibernética

- **Visão de futuro:** Garantia de segurança cibernética do setor elétrico e seus elementos críticos contra as crescentes ameaças e vulnerabilidades.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da macrotemática está no desenvolvimento de modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas, programas de avaliação da conformidade, tecnologias de proteção, prevenção e detecção de ataque de segurança, confiança e privacidade, na análise de riscos, e no tratamento de ataques e resposta a incidentes. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta na década de 2020. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à necessidade de recursos para formação de uma rede colaborativa com gestão centralizada (concessionárias, reguladores, fabricantes), aos incentivos para desenvolvimento de competências e estabelecimentos de rede de laboratórios acreditados, à evolução da cadeia produtiva nacional, ao avanço do arcabouço regulatório, aos investimentos volumosos em capacitação, treinamento e formação e à articulação e integração de recursos de PD&I.
- **Rotas priorizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de tecnologias de proteção, prevenção e detecção de intrusão e modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas.



Tecnologia da informação e comunicação (TIC)

- **Visão de futuro:** Modernidade de toda a infraestrutura da rede elétrica de forma a permitir a inserção e desenvolvimento de novas tecnologias, tais como, medição inteligente, geração distribuída, monitoração on-line da qualidade de serviço, sensoriamento de dispositivos inteligentes (Internet das Coisas), segurança da informação, processamento de grande volume de dados, entre outras.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da Macrotemática está no desenvolvimento de infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico brasileiro, definição de requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP) e requisitos de FAN (*Field Area Network*) para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída, dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações, análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligente, desenvolvimento de tecnologias de inteligência artificial e arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação “*machine to machine*” (M2M) e internet das coisas (IoT). Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta entre 2020 e 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, ao aumento da produção e dos incentivos a CT&I, ao aumento da cadeia produtiva e ao desenvolvimento de normas e padrões.
- **Rotas priorizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de uma infraestrutura de telecomunicações compatível com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico e a definição de requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP).

Operação e manutenção

- **Visão de futuro:** Garantia de 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 a sociedade); a adequação de todas as funcionalidades dos sistemas de operação e manutenção para atender às maiores exigências ambientais e às novas demandas do setor elétrico, tais como a inserção de REI, GD, eficiência energética, veículos elétricos, sistemas de armazenamento e a internet das coisas (IoT).
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da macrotemática está no desenvolvimento de sistemas de supervisão e controle, sistemas de operação considerando formas não-convencionais de transporte de energia e inserção massiva de GD, sistemas de atendimento integrado, ferramentas e sistemas de pré-operação, pós-operação e para apoio à decisão operativa em tempo real, sistemas autônomos de operação, sistema de monitoramento de ativos, sistemas de gestão e análise de risco, técnicas de redução do impacto ambiental, métodos e ferramentas de manutenção e ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta após 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à necessidade de maior nível de automação e comunicação e sensoriamento da rede, à padronização de sistemas de comunicação na rede e à implementação maciça das Redes Inteligentes.
- **Rotas priorizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de sistemas de operação considerando inserção massiva de GD e ferramentas, sistemas e equipamentos, treinamento e análise comportamental para segurança.



Subestações e equipamentos

- **Visão de futuro:** Viabilidade de instalação de forma ágil (minimização de impactos ambientais advindos do processo de construção), próxima ao centro de carga (portanto, compacta), com alto índice de confiabilidade e flexibilidade, possibilitando a gestão dos ativos e dos indicadores técnicos, com reduzido custo do ciclo de vida. Esses esforços devem envolver tantos investimentos em tecnologia (aprimoramento de equipamentos, automação, supervisão e outros), como em engenharia de aplicação de tecnologias existentes de maneira não convencional, rompendo modelos históricos do setor de distribuição e permitindo o compartilhamento de infraestrutura (terrenos e telecomunicações) com demais segmentos e empreendimentos. Assim, deve-se pensar como objetivo geral na concepção de uma subestação inteligente, compacta, modular, com equipamentos autodiagnosticáveis e dotada de inteligência suficiente para gerir o sistema à 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.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da macrotemática está na viabilização de implantação de subestações aéreas e subterrâneas em terrenos urbanos, no desenvolvimento de métodos construtivos para agilidade na implantação de subestações, de modelos de vida útil de ativos, de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de manutenção centrada na condição dos equipamentos, métodos avançados de manutenção de malhas de aterramento, esquemas avançados de aterramento, transformadores de potência flexíveis, por supercondutores e novas tecnologias, transformadores de instrumento, na virtualização de funções de proteção, na implantação de esquemas lógicos de controle e proteção, na aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação e no gerenciamento de índices técnicos para tomada de decisões em tempo real e para estudos. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta após 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à adaptação regulatória para maior previsibilidade na remuneração de equipamentos não convencionais, à capacitação de mão de obra especializada e à elevada exigência por melhor qualidade do serviço e do produto.
- **Rotas prioritizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de manutenção centrada na condição dos equipamentos, gerenciamento de índices técnicos para tomada de decisões em tempo real, métodos construtivos para agilidade na implantação de subestações e aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação.

Infraestrutura de proteção, automação e controle da distribuição

- **Visão de futuro:** Domínio do projeto e produção de todos os dispositivos e sistemas necessários para atender as peculiaridades da renovação do setor elétrico, em particular às adaptações exigidas pelas áreas de geração distribuída (GD), *virtual power plants* (VPP) e armazenamento de energia e veículos elétricos, que retiram o caráter radial da rede. Objetiva-se, assim, a de prover informações, por meio de uma rede inteligente de comunicação onipresente, para outros níveis hierárquicos, levando em consideração a introdução de novas tecnologias de GD, VPP e, mesmo, alterações de concepções da operação da rede.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da macrotemática está no desenvolvimento dispositivos de proteção, automação e controle com funções e protótipos de proteção, localização de faltas, registro digital de perturbações, medição instantânea, controle e automação, e medição da qualidade da energia, bem como dispositivos e funções para geração distribuída (GD), *virtual power plants* (VPP) e microrredes (MR), sensores e atuadores para automação da rede de distribuição, dispositivos de teste e indicadores de circuito em falta. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta após 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à necessidade de investimentos na cadeia de CT&I, à reestruturação curricular e ao interesse por parte das empresas da cadeia produtiva.
- **Rotas prioritizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de dispositivos e funções de proteção, automação e controle para geração distribuída (GD), *virtual power plants* (VPP) e microrredes (MR), funções e protótipos de proteção e funções e protótipos de localização de faltas.



Mobilidade elétrica

- **Visão de futuro:** planejamento e preparação do setor de distribuição de energia elétrica brasileiro para a entrada de soluções de mobilidade elétrica assim como para as modificações que ocorrerão no perfil de consumo de energia. Com esse propósito, deverá se fomentar 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. Destaca-se, também, a necessidade de um arcabouço regulatório e comercial para criar um ambiente propício à disseminação da mobilidade elétrica para indivíduos, empresas e setor público, de forma a racionalizar a exploração de novos modelos de negócio proporcionados pela mobilidade elétrica, tais como o uso de veículos elétricos em frotas comerciais e o reaproveitamento das baterias em aplicações de armazenamento para o setor elétrico.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** o foco da evolução tecnológica da macrotemática está no desenvolvimento de: uma infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio e sem fio, bem como infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G); estratégias de prevenção de impactos na rede elétrica; novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição e na reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta entre 2030 e 2040. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à disponibilização de tarifação horária, à redução do custo da tecnologia, à garantia de disponibilidade de uma infraestrutura pública, ao desenvolvimento de uma cadeia produtiva nacional e à adaptação do arcabouço regulatório do setor elétrico, que permita, por exemplo, a comercialização de energia elétrica para unidades móveis.
- **Rotas prioritizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de estratégias de prevenção de impactos na rede de distribuição e de uma infraestrutura de recarga de veículos elétricos por fio.

Geração distribuída e microrredes

- **Visão de futuro:** fornecimento de ferramentas de análises e definição de requisitos técnicos para os equipamentos e os procedimentos de operação e controle, representando melhor os benefícios, considerando a adoção em larga escala da geração distribuída e também os cenários de difusão das tecnologias de GD. Em regra, espera-se que os sistemas sejam capazes de operarem de forma conjunta e complementar para que a operação e comunicação centralizada e coordenada dos sistemas de distribuição possam ser implementadas completamente até 2050.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** a evolução tecnológica da macrotemática está centralizada no desenvolvimento de: ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos e sistemas de armazenamento; técnicas de controle para geração distribuída e para integração de sistemas de armazenamento; procedimentos de interconexão e metodologias de operação de microrredes nos modos conectado e ilhado; requisitos de normatização, regulamentação e certificação para geração distribuída, microrredes e armazenamento, bem como na identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta após 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, ao desenvolvimento de políticas energéticas, à facilidade de financiamento, à queda do preço da tecnologia, ao desenvolvimento de novos materiais e melhorias em processos industriais de fabricação, bem como à disponibilidade de tecnologias de comunicação segura e de baixo custo.
- **Rotas priorizadas:** os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática e os investimentos em PD&I devem priorizar a identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída, o desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos e o desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle da geração distribuída.



Redes de distribuição áreas e subterrâneas

- **Visão de futuro:** Desenvolvimento de produtos, 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 o descarte. Tais etapas, integradas de forma otimizada, visam à melhoria contínua e constante nos níveis de segurança, qualidade do produto e do serviço.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da macrotemática está no desenvolvimento de novos conceitos de transporte de energia (CC, sem fio e condutores não convencionais), novas metodologias e técnicas de planejamento e expansão, considerando novos conceitos de rede, técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede, combate a perdas técnicas e não técnicas, engenharia de desenvolvimento para normas, padrões de rede e equipamentos e otimização de técnicas e processos de construção e manutenção. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta após 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à necessidade de convênios entre universidades nacionais e internacionais, parcerias entre universidades, centros de pesquisas e fabricantes, à capacitação profissional, à formação de redes colaborativas e ao envolvimento de profissionais de campo.
- **Rotas prioritizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática, os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de metodologias e técnicas de planejamento e expansão de redes de distribuição, técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede e novas metodologias e técnicas de planejamento e expansão de redes de distribuição considerando novos conceitos de rede.

Qualidade da energia elétrica

- **Visão de futuro:** Melhoraria significativa da qualidade da energia no Brasil e da participação do cliente como agente ativo do setor. Para tanto, devem-se aprimorar os mecanismos de gestão e controle do ponto de vista técnico e econômico, possibilitando a definição clara do ponto de equilíbrio entre a qualidade esperada pelos consumidores e a qualidade oferecida pelas distribuidoras. Esforços de investimento também deverão ser associados à análise e mitigação de fenômenos, considerando a realidade brasileira e a transformação dos processos de relacionamento e engajamento dos usuários da rede, de modo a prover mais e melhores informações e levá-lo a ser um participante ativo da gestão da rede.
- **Evolução da maturidade tecnológica:** O foco da evolução tecnológica da macrotemática está no desenvolvimento de modelos econômicos e regulatórios da qualidade dos serviços, sistemas, ferramentas e metodologias para planejamento e gestão da confiabilidade da rede elétrica, tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria da confiabilidade da rede, na caracterização, medição, análise e mitigação de fenômenos de qualidade do produto, no desenvolvimento de métodos e técnicas para redução de inadimplência e na melhoria da qualidade comercial e do relacionamento com o cliente, com maior envolvimento e satisfação dos clientes. Nesse contexto, a maior parte das rotas tecnológicas associadas alcançará maturidade alta entre 2025 e 2030. Os fatores portadores de futuro que subsidiam a evolução dessas tecnologias dizem respeito, principalmente, à adequação regulatória com consideração dos aspectos técnicos das novas tecnologias, à necessidade de separação do serviço de distribuição de energia do comércio de energia, ao aumento e barateamento de elementos eletrônicos inteligentes na rede e nos clientes e à necessidade de políticas públicas e regulatórias para novos elementos na rede.
- **Rotas prioritizadas:** Os objetivos e evolução da maturidade tecnológica da macrotemática e os investimentos em PD&I devem priorizar o desenvolvimento de estratégias de prevenção de impactos na rede de distribuição e da infraestrutura de recarga de veículos elétricos por fio.



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 seus 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 e, com base neles, estuda a necessidade de investimento na infraestrutura do setor. Todavia, 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 esperando 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 vários dos estudos em temas específicos encomendados ao CGEE pelo MCTI ao longo dos últimos anos. Todavia, não há um processo definido nem um estudo amplo setorial de maneira a identificar oportunidades e, dessa forma, selecionar qual área a se aprofundar.

O planejamento da CT&I no setor também vem se tornando uma preocupação cada vez maior entre os agentes. Um estudo anterior do CGEE (2015) mostra que as empresas do setor também reconhecem a importância de estudos de prospecção focados na priorização de temáticas para melhorar a eficácia do Programa de P&D regulado pela 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%¹ para 2050. Isso impõe o desafio para o PD&I

1 Ano base: 2015.

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), tem preocupação em definir uma estratégia para o programa de forma a gerar resultados mais eficientes. Para auxiliá-los com esse objetivo, a própria equipe idealizou o projeto *Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica*.

Nesse 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 desse setor. Busca ainda identificar quais são as possíveis ações de CT&I necessárias, de maneira a otimizar os recursos do Programa de P&D regulado pela Aneel no fomento ao desenvolvimento dessas temáticas.

A proposta foi apresentada às empresas concessionárias do setor elétrico, com recurso oriundo do programa P&D regulado pela Aneel para aplicar em P&D, de maneira a identificar os possíveis interessados em financiar o projeto. Iniciou-se, então, um processo de articulação entre o CGEE, a APINE (que liderou o processo junto às empresas) e as empresas interessadas para desenhar a proposta final e firmar o contrato de serviço. O resultado foi o estabelecimento de um contrato de 11 empresas² do setor com as executoras, APINE e o CGEE. A primeira ficou responsável pela interação entre as partes e a segunda com a responsabilidade da 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 subsidiarão a definição de temas estratégicos e projetos prioritários para a Aneel, como também auxiliarão o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Ministério de Minas e Energia (MME) no processo de formulação de políticas públicas voltadas ao setor de energia nacional.

2 AES; BAESA; CEMIG GT; CESP; COPEL DIS; COPEL GeT; CPFL PIRATININGA; CPFL SUL PAULISTA; ENERCAN; e LIGHT



1.2.1 Objetivo do projeto

O Projeto³ 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 elétrica⁴. 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 temáticos⁵: 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.

1.2.2 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.

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

4 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.

5 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.

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 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.

1.3 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 empresas⁶: Formado por representantes das empresas parceiras que financiam o projeto, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente e comandar a parte de gestão do projeto;

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



- b) Comitê estratégico⁷: 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 consultivo⁸: Formado por especialistas seniores do setor, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente o projeto, representando a Academia.

1.4 Objetivo do livro

O livro aborda os resultados da etapa construção de futuro para as 12 macrotemáticas pertencentes ao grupo temático Distribuição de Energia Elétrica e faz parte da coletânea de oito livros, que compõem os resultados do Projeto Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica. Sendo eles:

- Documento executivo
- Diagnóstico da CT&I no setor elétrico brasileiro
- Evolução tecnológica nacional no segmento de geração de energia elétrica e armazenamento de energia
- Evolução tecnológica nacional no segmento de transmissão de energia elétrica
- Evolução tecnológica nacional no segmento de distribuição de energia elétrica
- Evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética
- Evolução tecnológica nacional no segmento de assuntos sistêmicos do setor de energia elétrica
- 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.

7 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).

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

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

1.5 Conceitos das macrotemáticas

O grupo distribuição de energia elétrica contempla a evolução e o desenvolvimento de tecnologias, ferramentas e métodos associados à renovação do sistema de distribuição. Abordam-se, portanto, os aspectos relacionados aos ativos elétricos responsáveis pela movimentação de blocos de potência inferiores a 230 kV, bem como 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, 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 prosumidor⁹.

Destaca-se, ainda, que, se por um lado, as REIs, o maior poder de atuação do cliente 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 abordados temas relativos a redes de distribuição aéreas e subterrâneas, geração distribuída e microrredes, mobilidade elétrica, compartilhamento de serviços, tecnologia da informação e comunicação, segurança cibernética, automação da rede, medição avançada, infraestrutura de proteção, automação e controle, operação e manutenção, qualidade da energia e subestações e equipamentos. Por fim, ressalta-se que as linhas de PD&I identificadas para esses temas contemplam também as etapas de planejamento, implantação e descarte. Nesse contexto, são apresentadas na próxima seção as macrotemáticas estudadas pelo grupo.

⁹ Entende-se por prosumidor aquele que é consumidor e produtor de energia elétrica ao mesmo tempo - ou seja, o prosumidor, além de receber energia da rede, também gera energia distribuída, fornecendo o excedente à rede. Com isso, o cenário usual de fluxo elétrico unidirecional é substituído por fluxos bidirecionais, exigindo a adequação da rede elétrica.



As macrotemáticas relativas ao grupo temático distribuição de energia elétrica são conceituadas a seguir:

1.5.1 Medição avançada

A macrotemática de medição avançada aborda as possibilidades de PD&I relativas à infraestrutura avançada de medição da distribuição (*Advanced Metering Infrastructure - AMI*), composta, basicamente, por medidores inteligentes 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, as quais contribuem, por exemplo, para a redução de perdas elétricas e dos custos de leituras, melhor identificação de faltas, melhor planejamento energético e redução do pico de carga (por meio da tarifação diferenciada). É abordada a aplicação dessa tecnologia, considerando aspectos regulatórios e técnicos.

1.5.2 Automação da rede

A macrotemática Automação da Rede aborda as possibilidades de PD&I relativas ao conjunto de funcionalidades técnicas, metodologias, algoritmos e equipamentos a serem desenvolvidos com objetivo de automatizar a operação das redes de distribuição e aumentar sua capacidade de supervisão e monitoração. Tal desenvolvimento visa a mitigar o impacto de distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica, promovendo uma melhora dos níveis de confiabilidade, disponibilidade e flexibilidade e uma redução dos custos operacionais. São enfatizadas as metodologias para as funcionalidades inteligentes das REIs.

1.5.3 Compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes

A macrotemática 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. O objetivo é inserir um conjunto de aplicações que impliquem um alto grau de compartilhamento de informações e acesso a serviços em ambiente conectado.

1.5.4 Segurança cibernética

A macrotemática 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. Destaca-se que, com o advento das soluções e aplicações de REI, é crescente a utilização de dispositivos inteligentes dotados de *firmwares* (como medidores inteligentes, dispositivos de Internet das Coisas - IoT, entre outros), que aumentam as vulnerabilidades e ameaças. A Segurança Cibernética, caracterizada como o conjunto de ações que visam minimizar vulnerabilidades e ameaças nos sistemas de tecnologia da informação, torna-se, portanto, preocupação preponderante para o setor.

1.5.5 Tecnologia da informação e comunicação (TIC)

A macrotemática de tecnologia da informação e comunicação (TIC) aborda as possibilidades de PD&I relativas às TICs que modernizarão 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. São apresentadas temáticas relacionadas ao desenvolvimento de arquitetura de telecomunicação, *Field Area Network (FAN)* e tratamento de megadados (*big data*).

1.5.6 Operação e manutenção

A macrotemática 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, ferramentas para controle e supervisão, planejamento, inspeção, diagnóstico e monitoramento de ativos e projetos de otimização da manutenção.

1.5.7 Subestações e equipamentos

A macrotemática subestações e equipamentos aborda as possibilidades de PD&I envolvendo o desenvolvimento, instalação e 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, possibilitando a gestão dos ativos e dos indicadores técnicos



e com reduzido custo do ciclo de vida. Aspectos relativos a materiais, automação, monitoramento, aterramento e desempenho são abordados.

1.5.8 Infraestrutura de proteção, automação e controle

A macrotemática 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, bem como as tecnologias utilizadas na implementação de sistemas de proteção para avaliação de distúrbios na rede, teste de equipamentos, aplicação em campo de dispositivos de proteção, entre outros.

1.5.9 Mobilidade elétrica

A macrotemática 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. São apresentadas temáticas sobre a inserção desta tecnologia considerando questões tecnológicas, regulatórias, normativas, mercadológicas e de infraestrutura, bem como os incentivos necessários para o fomento da tecnologia.

1.5.10 Geração distribuída e microrredes

A macrotemática Geração Distribuída e Microrredes aborda as possibilidades de PD&I relativas às tecnologias, requisitos técnicos, impactos, regulamentações e procedimentos de operação e controles 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.

1.5.11 Redes de distribuição aéreas e subterrâneas

A macrotemática redes de distribuição aéreas e subterrâneas aborda as possibilidades de PD&I referentes ao conjunto de estruturas, condutores e equipamentos elétricos utilizados para as redes de distribuição, aéreas ou subterrâneas. Nesse contexto, são trabalhadas as áreas de planejamento do sistema, de engenharia da distribuição, de padrões de redes, padrões de projetos, de tecnologia e informação, de gestão e de controle da qualidade, visando à melhoria dos níveis de segurança, qualidade do produto e do serviço e redução contínua dos custos praticados nas diversas fases da cadeia produtiva de uma distribuidora.

1.5.12 Qualidade da energia elétrica

A macrotemática Qualidade da Energia Elétrica aborda as possibilidades de PD&I sobre as análises, 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, qualidade do serviço e qualidade comercial.

1.6 Abordagem dos capítulos

Para cada uma das macrotemáticas apresentadas, é dedicado um capítulo, subdividido em quatro seções. Nestas seções, são definidos os objetivos que se buscam obter por meio do aporte da PD&I e o cenário geral prospectado para o horizonte considerado, além das métricas de evolução da macrotemática. A partir desse cenário, foi projetada a evolução da maturidade tecnológica de cada rota. Por fim, levando-se em consideração os objetivos, os cenários e a evolução das rotas, indica-se uma ordem de prioridade de investimentos e de recursos visando à maximização dos ganhos para o Setor Elétrico Brasileiro (SEB).

Inicialmente é apresentada **a visão geral da macrotemática** e o que ela aborda em termos de PD&I. Apresentam-se as temáticas, de acordo com o Mapa do Conhecimento (apresentado no Diagnóstico).

A seção **Visão de Futuro** apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos do desenvolvimento nacional d CT&I na macrotemática, considerando os horizontes de curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo prazos (2030-2050). Para tanto, é descrito inicialmente o cenário setorial da macrotemática,



com as premissas baseadas no capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro "Documento executivo"). Apresenta-se, ainda, uma fundamentação teórica da visão de futuro que contextualiza as informações apresentadas no cenário mais detalhado para a macrotemática.

A seção **Caracterização das métricas para o cenário** futuro busca representar o cenário geral de cada macrotemática, por meio de fatores que procuram explicar a evolução tecnológica da macrotemática no tempo: evolução tecnológica, estratégia setorial, questão socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. Para cada macrotemática, foram definidas métricas referentes a diferentes dimensões de análise, conforme apresentado na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

A seção **Estudo e prospecção das rotas tecnológicas** apresenta, por temática, os *roadmaps* tecnológicos de cada rota da macrotemática. Os *roadmaps* se caracterizam pelos gráficos de evolução da maturidade tecnológica de cada rota,¹⁰ associados aos seus fatores portadores de futuro.¹¹ Desta forma, tem-se uma ideia geral do que é necessário ser desenvolvido em termos de PD&I para que cada rota evolua ao longo do horizonte considerado no Projeto de *Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica* (até 2050).

Por fim, a seção **Priorização das rotas** define a ordem de prioridade das rotas tecnológicas para o direcionamento dos investimentos e recursos. Tal ordem foi definida levando-se em consideração os objetivos da macrotemática, a sua ordem cronológica de desenvolvimento nos períodos de curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo prazos (2030-2050), o cenário setorial e a evolução do estágio de maturidade das rotas consideradas. Objetiva-se, dessa forma, definir o que é possível e o que se deve desenvolver de forma mais urgente, para que a macrotemática evolua como um todo e seus objetivos sejam atingidos. Ressalva-se que as rotas evoluem de forma concomitante.

10 Para a compreensão do procedimento realizado para a formulação dos gráficos, ver Capítulo Metodologia (ver livro "Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia").

11 Condicionantes para o desenvolvimento da rota tecnológica tal qual prospectado, os quais podem acelerar ou retardar a sua evolução.

1.7 Análise geral do grupo Distribuição de Energia Elétrica (tendências nacionais e internacionais)

A energia elétrica tem demonstrado ser um verdadeiro esperanto entre as formas de energia. Praticamente, as demais fontes de energia podem ser convertidas em energia elétrica, e ela tem tido aplicações que substituem as existentes das demais. Assim é no aquecimento, na produção de força e na iluminação.

Ao longo do tempo, conheceu-se a natural evolução do processo energia elétrica, desde sua geração até o efetivo consumo. Iniciou-se pela produção e consumo locais. Logo, a economia de escala fez com que se evoluísse para a geração, distribuição e consumo regional. Em seguida, a escassez de fontes energéticas próximas fez com que a transmissão de energia elétrica viesse a ter o seu papel. Finalmente, a necessidade de integração entre distintas regiões, fez com que se cristalizasse a sequência geração, transmissão, distribuição, consumo, como a ordem natural do escoamento eletro-energético.

Nessa ordem, a transmissão de energia elétrica ficou sendo o processo que se ocupa do deslocamento de grandes blocos energéticos, em altas tensões e altas correntes, ficando a distribuição com a tarefa de viabilizar a entrega da energia elétrica aos consumidores. Tudo isso, focado somente o aspecto físico ou técnico do processo elétrico.

Considerado o aspecto mercadológico e comercial, a geração da energia elétrica ocupou-se do atacado, enquanto a distribuição ocupou-se do varejo, restando à transmissão o papel de viário elétrico de alta capacidade, uma vez que não existem depósitos elétricos que possam participar dessa logística de abastecimento.

Com isso, a distribuição se consolidou, cuidando dos meios elétricos capilares (fios) de conexão aos consumidores, bem como dos aspectos comerciais de conexão, fornecimento, medição, cobrança pela energia elétrica entregue (caixa). Com essa característica, o relacionamento direto com o consumidor coube à distribuição, responsável também pela arrecadação da venda da energia e da prestação de serviços correlatos ao consumidor final.

Tendo sido tratada como um insumo de primeira necessidade, e diretamente influente na qualidade de vida e no desenvolvimento de sociedades, por muitas vezes, a energia elétrica se prestou como ferramenta política, sendo produzida, movimentada e distribuída de maneiras pouco eficientes e subsidiadas sem grande preocupação com o balanço econômico-financeiro equilibrado. Foi necessário o amadurecimento social para que houvesse o entendimento de que a saudável competição, motivada



por política pública determinada e fiscalizada, poderia, de maneira sustentável, acelerar o processo de universalização do acesso à energia elétrica, bem como torná-la atrativa para que empresas se interessassem em produzi-la, movimentá-la e a distribuí-la como uma verdadeira *commodity* e, portanto, seguindo os princípios de mercado.

Considerando a realidade internacional e os aspectos locais, um modelo simplificado para a distribuição da energia elétrica pode ser representado como o da Figura 1.

Nesse modelo, a energia elétrica é a Commodity/Mercadoria dentro do ambiente mercado. Como em todo mercado, para que exista, é necessário que haja a oferta e a demanda. A oferta, até os anos de 2010, era garantida pela geração centralizada, sendo comercializada em ambientes livre e cativo, segundo o modelo adotado em vários países, dentre eles o Brasil, através do setor elétrico brasileiro.

Na verdade, os fornecedores de energia elétrica tinham um papel bem definido e a competição por preços era feita através de leilões, na sua maior parte, e por compra num mercado *spot* marginal, garantindo complementações para o atendimento à demanda.

No entanto, o desenvolvimento tecnológico vem permitindo que uma nova forma de geração de energia elétrica, distribuída, passe a ser possível, modificando sensivelmente o cenário de fluxo elétrico unidirecional na relação distribuidor - consumidor, podendo agora ser feito de maneira bidirecional.

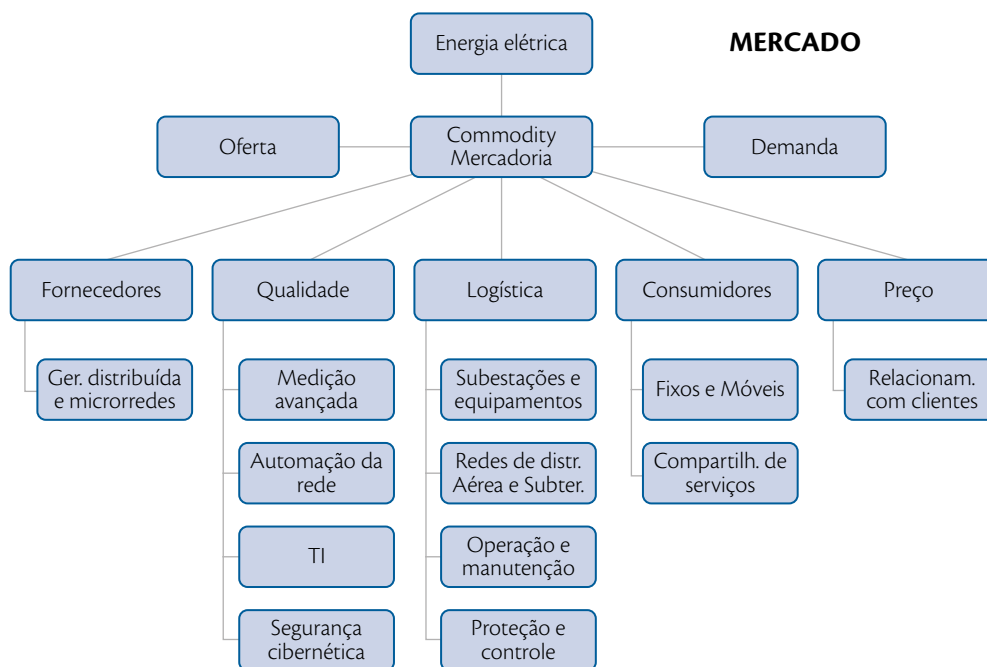


Figura 1 - Um modelo de mercado para a distribuição da energia elétrica

Fonte: Elaboração própria.

O modelo considerado vem bem representando o que ocorre internacionalmente com cada região ou país, destacando-se pelo avanço em aspectos e partes que lhe sejam estrategicamente convenientes.

Considerando a realidade brasileira e esse modelo, podem ser vislumbradas as principais tendências para a distribuição de energia elétrica:

Convergência a uma estrutura de mercado mais ampla e flexível

A mudança de uma estrutura para o atendimento de energia elétrica, ao migrar da forma governamental direta para a forma com participação privada e com regras de mercado, é normalmente feita de maneira gradual. A abertura aos mecanismos livres de mercado dificilmente é aceita de imediato. A migração se faz de maneira cuidadosa, por degraus de abertura que vão naturalmente se mostrando viáveis e necessários à luz da acomodação social e das aberturas propiciadas por novas tecnologias. Como tendências relacionadas pode-se considerar:



- Surgimento de um mercado de energia elétrica de baixa tensão, ágil, com portabilidade, permitindo a prática de comercialização livre entre geradores (centralizados e distribuídos) e consumidores de quaisquer níveis de tensão, sendo que o frete será definido pela efetiva ocupação dos meios logísticos para o deslocamento da energia elétrica contratada.
- Nova função da rede elétrica para atender à demanda individual em complementaridade à geração própria.
- Oferta de novos produtos relacionados à energia elétrica como a gestão de demanda de clientes, tarifas diferenciadas dinâmicas, armazenamento de energia, neutralização de reativos e outros serviços ancilares.
- Desacoplamento do negócio fio - energia, transformando a distribuição-fio num negócio semelhante a uma transmissão em baixa tensão.

Foco no atendimento ao cliente

Numa estrutura de mercado livre e competitivo, a figura do cliente é fundamental. Mesmo que, de certa forma, cada *stakeholder* possa ser considerado um cliente, na verdade o cliente final, o que é servido, é o que fica em evidência. Desse modo, suas necessidades passam a ser consideradas como ditames para que o mercado se acomode e supra os desejos manifestos. Nesse sentido, as estratégias de marketing e de bom atendimento mostram que é preciso conhecer as necessidades presentes e as futuras desse cliente, antecipando-se a elas. Isso resulta em tendências como as que seguem:

- Mutações do conceito de consumidor-usuário para o conceito de cliente, com um endereço virtual, como uma conta bancária, ficando o endereço físico, fixo ou móvel, como um simples atributo, como forma de solução aos consumos/gerações de carros elétricos.
- Maior interação com os usuários, consumidores e produtores (prossumidores), no tocante a uma comunicação responsiva e apoiada em aplicativos de dispositivos móveis.
- Aumento da exigência de qualidade nos produtos de energia elétrica além da disponibilidade, regularidade e confiabilidade.
- Melhoria no atendimento aos prossumidores pelo incremento do uso compartilhado de recursos, como os meios de tecnologia da informação e de recursos de terceiros, como é o caso de canais de comunicação para medição e controle de usuários.
- Melhoria da mobilidade de pessoas e objetos com o uso de energia elétrica, principalmente com o advento do carro elétrico, além da tração elétrica em meios públicos de transporte.
- Maior exigência dos prossumidores, alicerçada nos paradigmas de desempenho dos demais serviços públicos, como as telecomunicações, serviços bancários, dentre outros.

Modernização técnica e tecnológica

O natural uso e envelhecimento dos ativos para implementar a logística de fornecimento de energia elétrica faz com que, mesmo que com ciclos de vida de mais de 40 anos, seja prudente o planejamento da substituição e incorporação dos resultados do desenvolvimento tecnológico. Tais atualizações e modernizações são imprescindíveis para executar o trato e o fornecimento de energia a essa clientela, cada vez mais demandante. Com isso, tendências como as que seguem se sobressaem:

- Crescimento acelerado do novo tipo de medição da energia, bidirecional, em todos os seus aspectos: quantidade, regularidade, disponibilidade e pureza elétrica.
- Surgimento de uma elaborada automação da rede (Rede Elétrica Inteligente, também chamada de *Smart Grid*) para que os caminhos entre fontes e consumidores sejam assegurados em todas as situações, mesmo em emergências.
- Maior participação da tecnologia da informação como forma de dar agilidade aos atos de operação, bem como pela utilização de inteligência artificial, megadados (*big data*) e *analytics*, para permitir melhor desempenho logístico de frete e de ofertas de energia aos consumidores, com técnicas descentralizadas de dados e apoio de nuvens de dados operacionais
- Valorização da segurança cibernética, por consequência da segurança do próprio organismo gerador/consumidor de energia elétrica que, por sua integração e utilização de meios informáticos, demandará maiores cuidados na proteção contra ações acidentais ou mal-intencionadas.
- Modernização dos meios logísticos, como forma de viabilizar as soluções tecnológicas e do mercado futuro de energia elétrica, além da natural reposição de equipamentos e redes que atinja o final de vida útil material ou tecnológica.
- Incremento na valorização do planejamento, na operação e manutenção de redes e subestações e de suporte aos prosumidores, valendo-se das técnicas da tecnologia da informação.
- Preservação da integridade física e lógica dos meios logísticos, redes e equipamentos, valendo-se dos recursos da digitalização de sinais e de processos matemáticos aprimorados.
- Acumulação distribuída de energia elétrica em residências, conglomerados residenciais e comerciais.



Sustentabilidade e ética como política

Em função de uma consciência global, que cada vez toma mais espaço nas discussões sobre o futuro, todas as medidas de modernização e de expansão energética devem observar princípios que podem ser resumidos sob o conceito da sustentabilidade. Tais princípios focam quatro aspectos principais: o econômico, o social, o ambiental e o cultural. Somente inovações que respeitem a economicidade, a aceitação social, a coerência ambiental e que possam ser assimiladas culturalmente é que terão perspectivas de sucesso, na parte central deste século XXI. Com isso, pode-se vislumbrar tendências como as que seguem:

- Valorização das soluções sustentáveis em seus aspectos econômico, social, ambiental e cultural.
- Melhor ocupação do espaço urbano com o enterramento ou enclausuramento de redes elétricas e subestações.
- Melhora da qualidade do ambiente urbano, com o rearranjo da disposição de fios e cabos suportados por postes, ao longo das ruas e avenidas.

Independente das conjunturas nacionais e internacionais que influenciem as medidas de curto prazo, o Brasil continuará com as excelentes oportunidades de exploração e uso sustentável de seus recursos naturais e de sua capacidade de utilização da tecnologia que decida utilizar.

A prospecção tecnológica orientada e metodologicamente realizada permite a antecipação de ações estratégicas que melhor posicionarão a sociedade brasileira, frente ao cenário energético de suas necessidades e conveniências.



Capítulo 2



Capítulo 2

Macrotemática Medição Avançada

A macrotemática medição avançada foi dividida nas temáticas: interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador), aplicações de medição avançada no sistema de distribuição e durabilidade dos medidores, conforme Figura 2. Elas representam os temas em discussão atualmente no campo da medição avançada e que devem conduzir o desenvolvimento nos próximos anos.

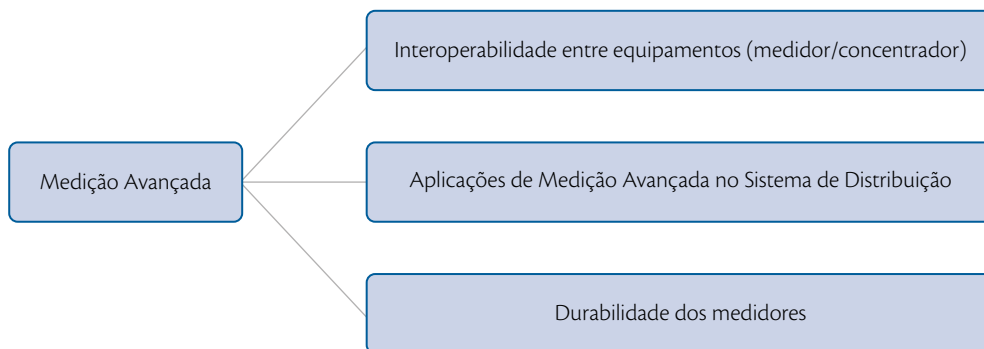


Figura 2 - Temáticas de medição avançada

Fonte: Elaboração própria.

2.1 Visão de futuro

2.1.1 Cenário setorial

A medição avançada será influenciada pelos seguintes estímulos do setor de distribuição de energia elétrica: perdas comerciais e inadimplência, evolução da geração distribuída e regulamentação de tarifas mais complexas. As perdas comerciais possuem forte apelo, pois a recuperação de receita

justifica economicamente as ações, que já foram iniciadas. Como toda geração distribuída necessitará de uma medição específica, conforme estabelecido na regulamentação da Aneel, a sua evolução causará automaticamente a evolução da medição avançada. Até 2030, haverá um crescimento das grandes centrais fotovoltaicas e depois disso haverá um forte crescimento da geração distribuída. As tarifas mais complexas devem evoluir mais efetivamente a partir de 2025, pois o Brasil assumiu o compromisso de reduzir a demanda de energia elétrica em 10% com base no consumo do ano de 2015, até 2030 como resultado por ações de uso racional da energia. Uma ferramenta para fazer isso é usar a medição avançada para implantar medidas de gerenciamento pelo lado da demanda. Após este horizonte, haverá um crescimento perene dessas ações.

2.1.2 Objetivo geral

O objetivo geral da medição avançada é prover ferramentas de eficiência energética, de eficiência comercial e de eficiência operativa para o sistema elétrico. Por eficiência comercial, entende-se, entre outras coisas, a minimização da inadimplência e das perdas comerciais. Devido ao Brasil ser um país em desenvolvimento, com baixo consumo médio de energia e altas perdas comerciais, assim como devido às suas características naturais, como disponibilidade hídrica, clima ameno e fenômenos políticos e econômicos, como o tratamento dado às crises de restrição energética do passado, a eficiência comercial torna-se um dos principais objetivos a serem perseguidos. Para as áreas de concessão com baixas perdas comerciais, destaca-se a elevada relevância do ganho em eficiência operacional - por meio de medição avançada, é possível diminuir custos de leituras, melhorar a identificação de faltas e o planejamento energético através do controle de cargas por corte e religa. Vale ressaltar que a questão das perdas comerciais é um fenômeno dos países em desenvolvimento e não desenvolvidos em geral. No entanto, as ações de eficiência vão crescer ao longo das próximas décadas, até 2050, tornando-as tema de interesse perene, tal como ocorre hoje na Europa (CGEE, 2017). Por fim, identifica-se que essa tecnologia alavanca oportunidades de novos negócios além do mercado cativo.

2.1.3 Objetivo específico

Curto prazo (2017-2020):

A medição inteligente representa um dos acessos para a Rede Elétrica Inteligente, também chamada de *Smart Grid*. Para a disponibilização dessas tecnologias, é necessário o apoio de uma infraestrutura de



comunicação confiável, com alta velocidade e bidirecional, baseada em uma padronização que permita a interoperabilidade entre os diversos fornecedores. Portanto, no curto prazo, até 2020, devemos ter:

- Normatização e padronização das arquiteturas de medição avançada e dos protocolos de comunicação, medição e grandezas a serem medidas, utilizados na medição avançada, de modo que permitam às concessionárias o acesso a fornecedores de produtos que realmente atendam aos seus requisitos.
- A normatização já deve contemplar a segurança cibernética, que será fundamental para a confiança na tecnologia e para a sua adoção em larga escala (TOLEDO; KAGAN, 2013).
- O aumento da confiabilidade e da vida útil dos medidores também será fundamental para consolidar a confiança na tecnologia.
- Definição dos impactos e motivação do modelo de tarifas complexas para a implantação das infraestruturas de medição avançada.

Médio prazo (2020-2030):

Em médio prazo, de 2020 a 2030, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) poderão ser implantadas, permitindo uma evolução para atingir os objetivos:

- Localização de perdas comerciais e ferramentas para redução de inadimplência. Assim, o objetivo geral será atingido nesse médio prazo.
- Desenvolvimento de diversas aplicações de medição avançada voltadas para o controle de demanda, baseadas em tarifação mais complexa e controle de carga, ou seja, o gerenciamento pelo lado da demanda.
- Aproveitamento da capilaridade do sistema para utilização da medição avançada para auxiliar na detecção e prevenção de problemas na rede, entre eles a qualidade de energia e a gestão de ativos.
- Metodologias utilizando medição avançada para localização de faltas.
- Definição de oportunidades de novos negócios a partir dos dados gerados pela medição avançada, bem como das necessidades de adequação da regulação.
- Depuração das infraestruturas para aumentar a sua confiabilidade e permitir sua operação a longo prazo.

Longo prazo (2030-2050):

Em longo prazo, entre 2030 e 2050, a integração da medição avançada com os processos das distribuidoras levará ao surgimento de ferramentas poderosas no gerenciamento em tempo real das redes ativas, medidores, consumidores e sistemas corporativos. Assim, teremos:

- Sistemas computacionais e aplicativos para o cliente/consumidor final, visto que o usuário final terá cada vez mais importância no contexto do setor elétrico do futuro, por exemplo, devido à sua nova característica de prosumidor (produtor + consumidor), gerando a necessidade de maior interação com o consumidor através de várias mídias de acesso.
- Integração de diversas aplicações utilizadas isoladamente no sistema de distribuição assim como o monitoramento, o diagnóstico e as informações da utilização de medição inteligente, incluindo novas funcionalidades que trarão melhor gerenciamento e maior confiabilidade da rede.
- Metodologias e ferramentas de *analytics* e inteligência artificial no aumento da eficiência e operação do sistema.

2.1.4 Fundamentação

A visão de futuro apresenta claramente os objetivos de curto, médio e longo prazo, alinhados com o mapa de conhecimento. Apresenta diretrizes relativas às rotas normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada, dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na *Home Area Network* (HAN), gerenciamento pelo lado da demanda, ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas, ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações, novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada, confiabilidade do sistema de medição, confiabilidade de infraestruturas e operação a longo prazo.

O foco dado à padronização e interoperabilidade é fundamental, pois permite às concessionárias estatais, que devem seguir o regramento previsto na Lei 8.666/93, adquirir equipamentos de forma eficaz em diferentes processos de compra para instalação e manutenção. Como a regulamentação brasileira especifica exatamente quais as quantidades que devem ser medidas, é necessário que o protocolo de medição, ou seja, o protocolo da camada de aplicação seja desenvolvido ou refinado para a aplicação de medição avançada, posto que ele não está completamente desenvolvido ainda (ABNT NBR 14522, 2008). Principalmente no que se refere ao desenvolvimento de segurança cibernética (INMETRO, 2012; VASCONCELLOS, 2015).



Além disso, as camadas inferiores de comunicação, de física e de enlace não são padronizadas para uso nas concessionárias. O que acontece é que cada concessionária e cada fabricante possuem a sua especificação. Obviamente, nenhuma delas é compatível com a outra. É necessário, portanto, um trabalho de padronização para que se tenha a interoperabilidade necessária. Um exemplo é o famoso padrão IEEE 802.15.4. Estar de acordo com esse padrão não significa ser interoperável, pois ele apresenta uma miríade de possibilidades. Para ser interoperável, deve ser selecionada qual das opções apresentadas será utilizada. Isso pode ser feito pela concessionária, mas idealmente pode ser feito por um padrão nacional. Igualmente ocorre com o conhecido protocolo DLMS. Ele é extremamente flexível, todavia, para ser interoperável entre diversos fornecedores, deve ser feita uma especificação complementar explicitando quais dos seus recursos serão utilizados e como. Podemos citar a Holanda que possui especificação nacional para isso e a EDP de Portugal que possui especificação corporativa (KEMA, 2008; EDP, 2013).

Este trabalho de padronização e normatização ocorrerá no curto prazo. Como pode ser visto pelas informações apresentadas nos últimos parágrafos, as informações e metodologias já estão disponíveis e uma parte do trabalho já está até iniciada pelo Inmetro e pela Abinee (ANDRADE, 2014; VASCONCELLOS, 2015).

Assim, espera-se até 2020 já termos esse trabalho pronto, disponibilizado para o mercado desenvolver os produtos. Além disso, existem pontos de partida em normas nacionais e internacionais, bastando fazer o refinamento das especificações que ainda estão faltando.

Em paralelo com a rota de normatização e padronização, ocorrerá a evolução da rota de confiabilidade do sistema de medição. Esse trabalho já foi iniciado pelos fabricantes e concessionárias e é de alto interesse de todos os participantes porque afeta diretamente a remuneração regulatória das concessionárias. Esse trabalho levará ao aumento da vida útil dos medidores, o que afetará diretamente a remuneração e a modicidade tarifária. Após este trabalho ser feito no curto prazo, os próximos passos a médio prazo serão relacionados com a melhoria da confiabilidade de toda a infraestrutura de fim-a-fim da medição avançada, envolvendo os equipamentos da última milha e os equipamentos e softwares do centro de operação. Também será necessário garantir a operação a longo prazo, analisando e planejando a obsolescência dos equipamentos e gerações tecnológicas, a garantia da cadeia de fornecimento durante toda a vida útil do sistema e a retrocompatibilidade das novas gerações tecnológicas com os sistemas legados.

As rotas de dispositivos de sensoriamento e controle da demanda e aplicações de medição avançada são referentes às novas aplicações que serão desenvolvidas em médio prazo. Uma vez que as tecnologias para implementar essas funcionalidades já estão disponíveis, existem duas justificativas

para elas somente ocorrerem no médio prazo. A primeira é que o desenvolvimento das normas e padrões de comunicação são pré-requisitos, e a segunda é que o ambiente político não é favorável no momento para essa implantação. A condução dada para as crises energéticas de 2001 e 2015 criou uma cultura que demorará a ser modificada, pois depende de reeducação (MAFRA JUNIOR, 2014). O cenário que se viu nos últimos anos foi não incomodar o consumidor e eleitor com assuntos impopulares. Além disso, a queda de consumo de energia devido à crise energética (ONS, s.d.), que aumentou os preços, e a crise econômica, que diminuiu a demanda demorará vários anos para se recuperar. Na crise energética de 2001, o consumo somente recuperou o valor observado antes da crise mais de três anos depois e somente atingiu a estimativa feita, incluindo o crescimento, quase 10 anos depois (Aneel, 2008). Outro fator que adiará o prazo de necessidade dessas tecnologias é a eficiência energética intrínseca dos novos produtos, como iluminação de LED, geladeiras, máquinas de lavar e condicionadores de ar com inversor, motores de alto rendimento e com inversor, por exemplo, em elevadores, etc. (EPE, 2015). Assim, estima-se que, nos próximos 15 anos, ter-se-ão as condições para essa implementação se efetivar, ou seja, em torno de 2030 (CGEE, 2017). Enquanto isso, essas tecnologias serão usadas por consumidores de baixa tensão que obtenham um *pay-back* positivo para isso, como os consumidores industriais e comerciais que são alimentados em baixa tensão, mas possuem tarifas com demanda e postos horários. Alguns consumidores residenciais de alto padrão também serão um nicho para esse mercado, em que o foco será a eficiência energética e a geração distribuída como justificativa para o investimento.

Com esse cenário para as aplicações de medição avançada, é natural que o surgimento do prossumidor e gerenciamento pelo lado da demanda se atrase assim como a disponibilização das ferramentas para esse fim.

Os cenários de médio e longo prazo já possuem as ferramentas e tecnologias disponíveis para serem integradas em novos produtos e aplicações. No entanto, o efetivo desenvolvimento e massificação dessas aplicações somente ocorrerão quando a regulamentação se alterar, o que, por motivos políticos, demorará. Aí sim, será criada a demanda e os produtos. O principal fator motivador para a adoção dessas tecnologias é o combate às perdas comerciais e à inadimplência. A inadimplência média no Brasil está atualmente em torno de 18% no primeiro mês e pode ser facilmente atacada pela medição avançada através da funcionalidade de corte do consumidor (Aneel, 2017).

Os dados disponíveis mostram que há uma relação direta entre as ações de corte do consumidor inadimplente e a queda deste indicador, como será demonstrado nas próximas seções. As perdas comerciais médias no Brasil giram em torno de 7%, o que justifica os investimentos, mas a sua implantação tem como pré-requisitos a definição dos protocolos e a instalação das novas tecnologias de TIC. Algumas concessionárias possuem perdas tão grandes cerca de 30%, mas estes são casos



específicos e não o caso geral do país. Esses temas de perdas comerciais e inadimplência permeiam diversas macrotemáticas e devem ser alinhados em termos de expectativas, prazos e indicadores. Para as concessionárias que possuem baixas perdas comerciais, a eficiência operacional será a principal justificativa para a adoção da medição avançada, já que ela propicia um alto nível de automação que se aplica a diversos processos das concessionárias, como o corte e religa, a recuperação e diagnóstico de falhas e da leitura em si.

Os dados obtidos com a medição avançada podem gerar novas oportunidades de negócio para a concessionária relacionados com a análise usando big-data e inteligência artificial. Esses novos negócios eventualmente podem demandar regulação específica ao menos sobre a privacidade do consumidor relativo ao compartilhamento dessa base de dados.

Uma premissa assumida para a viabilização dessa visão de futuro é a capacitação de mais profissionais nas concessionárias e nos setores da indústria, de serviços e na área acadêmica, que deve ser tratada adequadamente pelas macrotemáticas de recursos humanos. Principalmente, na concessionária, esta capacitação pode passar por ações de andragogia, como o ensino à distância e o uso de realidade virtual ou aumentada para habilitar à operação das novas tecnologias desenvolvidas para medição avançada.

2.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessária para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São enfatizados os aspectos e estímulos determinantes para a penetração da medição avançada, a saber: perdas comerciais, inadimplência, geração distribuída e gerenciamento pelo lado da demanda (GLD). Assim, as métricas de desenvolvimento constituem-se justamente desses fatores. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Perdas comerciais

As figuras a seguir apresentam as perdas totais, comerciais e técnicas por concessionária ou estado para a distribuição de energia elétrica para os anos de 2008 e 2015.

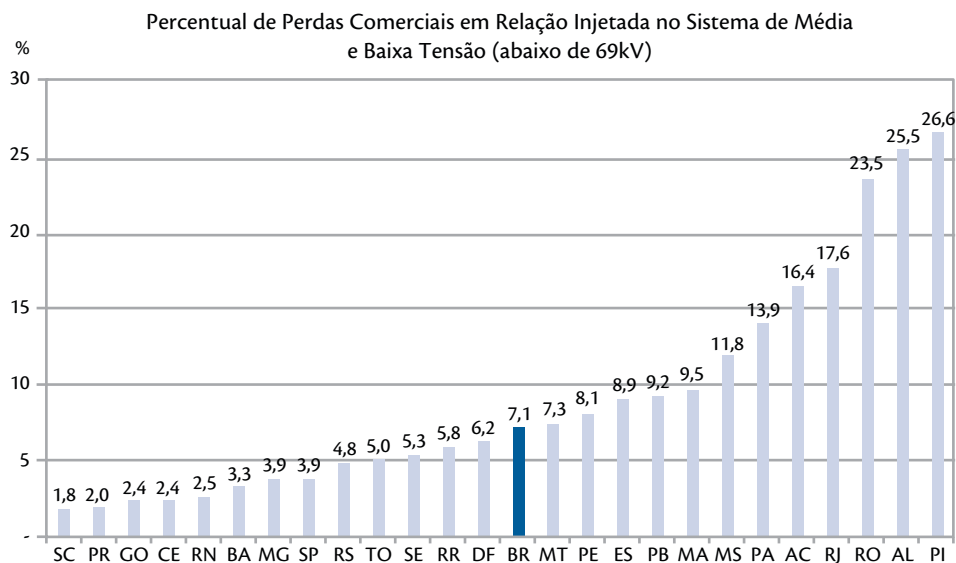


Figura 3 - Índice de perdas comerciais em 2008 nas empresas de distribuição de energia elétrica

Fonte: ROCHA, 2011.

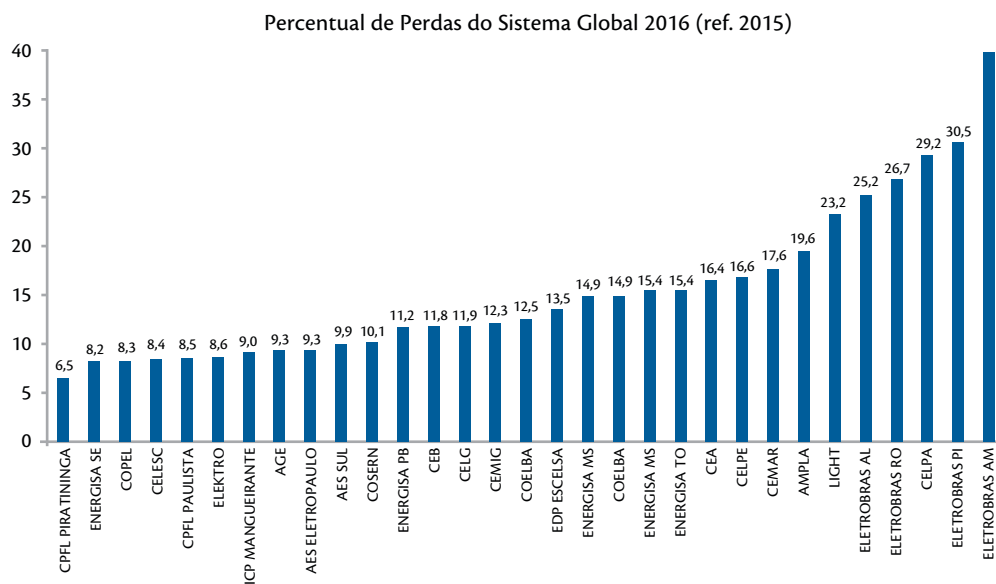


Figura 4 - Percentual de perdas do sistema global 2016

Fonte: ABRADÉE, 2017



A figura abaixo mostra que as perdas comerciais cresceram ligeiramente nos últimos 3 anos, de 5,60% para 5,74%. Há uma tendência de crescimento e a crise econômica de 2015 e 2016 apenas reforça essa tendência.

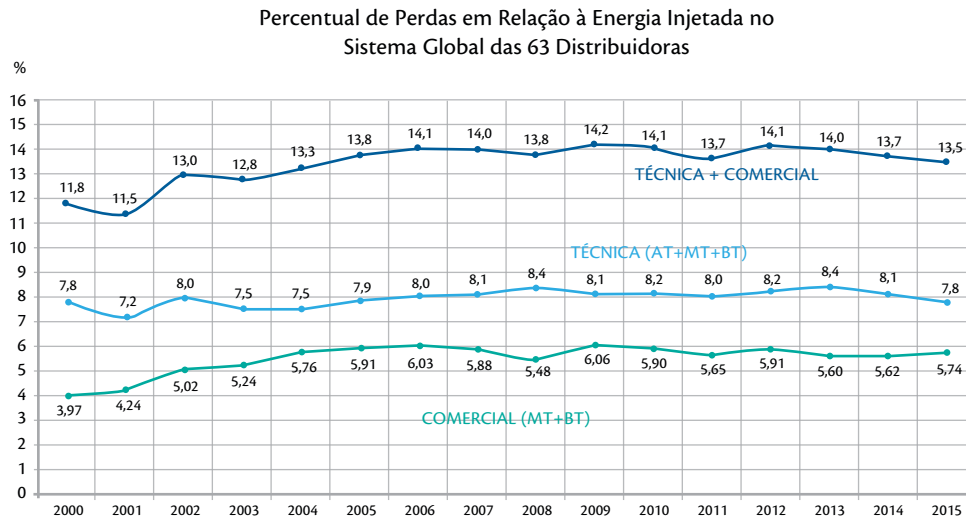


Figura 5 - Percentual de perdas em relação à energia injetada no sistema global das 63 distribuidoras

Fonte: ABRADDEE, 2017

A figura a seguir apresenta as perdas totais em torno de 20% para o sistema como um todo, geração, transmissão e distribuição, incluindo as perdas técnicas na geração e transmissão, perdas técnicas e comerciais na distribuição.

Assim, são cerca de 20% de perdas totais na geração, transmissão e distribuição. A distribuição tem apenas 13%, ou seja, 7% são perdas técnicas na geração e transmissão, já que, nesse caso, as perdas comerciais devem ser desprezíveis. E esses 13% são divididos em mais ou menos 7% de perdas comerciais e 7% de perdas técnicas. Então, temos mais ou menos parcelas iguais a 7% nas perdas técnicas da geração e transmissão, 7% nas perdas técnicas da distribuição e 7% nas perdas comerciais da distribuição.

Carga de Energia, Consumo e Perdas – Brasil						
SIN - Sistema Interligado Nacional					Brazilian Interc. Power System	
Carga de Energia	58.177	60.553	62.799	67.397	65.983	Energy load
Consumo	425.826	440.282	457.338	471.053	461.761	Consumption
Perdas	16,4	17,0	16,9	20,2	20,1	Losses

Figura 6 - Carga de energia, consumo e perdas - Brasil

Fonte: EPE, 2016b.

A figura abaixo mostra uma redução, no melhor caso, de 3,7% em 5 anos e, no pior caso, de 0,3%. Assim, uma estimativa de redução de 0,2% ao ano parece ser totalmente viável. O processo se iniciaria em 2025, quando se estima que a tecnologia estará disponível para instalação em massa. O tempo de implantação seria de 10 anos, assim até 2025 ficaria estável em 7%, então cairia 0,2% ao ano durante 10 anos, chegando em 2035 a 5% e mantendo esse patamar até 2050. Os 2% das perdas são algo como 3 bilhões de reais atualmente.

(em % no período de 2003-2007 para empresas com mais de 400 mil consumidores)

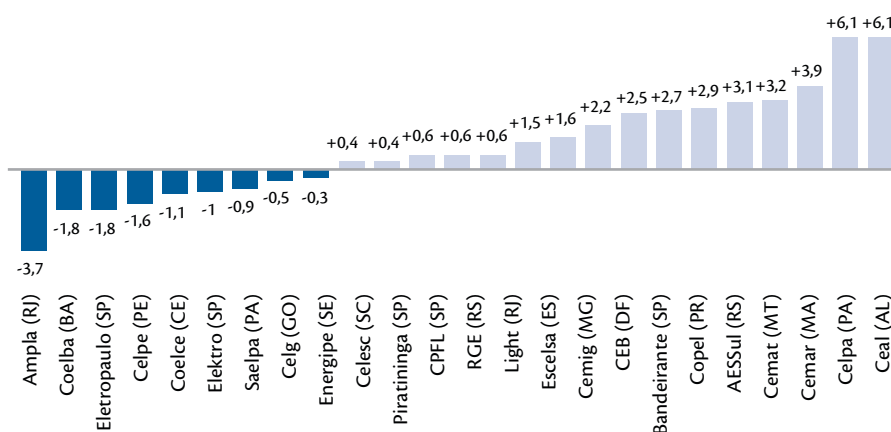


Figura 7 - Variação das perdas de energia no Brasil

Fonte: ROCHA, 2011.



De acordo com a pirâmide de mercado mostrada na Figura 12 - Pirâmide de mercado de consumidores de energia elétrica do Brasil¹¹, apresentada na discussão da geração distribuída, observa-se que na baixa tensão esses 7% correspondem a cerca de 11% dos consumidores. Para resolver este problema teria que instalar a medição avançada nesses consumidores.

A Figura 8 - Estatísticas básicas do consumo de energia elétrica - Brasil⁸ apresenta a quantidade de consumidores em 2015, e a Figura 9 - Domicílios consumidores por faixa de consumo 2013-2050⁹ permite concluir, por estimativa, que a EPE aumentará 56% o número de consumidores até 2050.

Brasil	2015
População	205.266 mil
Consumo na rede	465.203 GWh
Consumo <i>per capita</i>	2.266 kWh/hab
Clientes	78.885 mil
Clientes Residenciais	67.746 mil
Consumo Médio	491 mWh/mês
Consumo Residencial Médio	194 mWh/mês

Figura 8 - Estatísticas básicas do consumo de energia elétrica - Brasil

Fonte: EPE, 2016b.

Domicílios consumidores por faixa de consumo (2013-2050)		
Faixa de consumo (kwh)	2013	2050
0-30	6.889	985
30-100	18.044	19.693
100-200	18.581	31.509
200-300	13.574	21.170
300-400	2.783	12.308
400-500	1.265	6.154
500-1000	1.474	4.923
>1000	336	1.723
Total	62.947	98.466

Figura 9 - Domicílios consumidores por faixa de consumo 2013-2050

Fonte: Nota Técnica DEA 13/15 - Demanda de energia 2050, EPE, 2015

Assim, estima-se que, em 2015, a quantidade de consumidores do universo de perdas comerciais são 8,7 milhões e, em 2050, eles serão 13,5 milhões. Ainda segundo o estudo feito, apenas a partir de 2025, iniciaria a instalação da medição avançada para esse fim e esse trabalho duraria 10 anos.

Inadimplência

Considerando os dados apresentados na Figura 9 - Domicílios consumidores por faixa de consumo 2013-20509 e considerando que a inadimplência é o valor do primeiro mês, observamos que o índice médio do Brasil é 18%. Também observamos que, antes de 2014, o índice de inadimplência de 3 meses oscilava entre 7% e 10% e que, depois de 2014, esse índice caiu para 3%. Tudo indica que essa queda foi devida à multiplicação por 5 da atividade de corte do consumidor, como também se observa na Figura 10 - Inadimplência média e suspensão de fornecimento por classe – Brasil (Residência Total)⁹. No entanto, essa atividade de corte hoje é feita manualmente e tem um custo operacional elevado, além do tempo de execução que pode gastar semanas para justificar um efeito apenas no indicador de 3 meses.

Inadimplência média e suspensão de Fornecimento por Classe - Brasil								
PERCENTUAL DA RECEITA FATURADA NO ENÉSIMO MÊS ANTERIOR AINDA NÃO RECEBIDA NO MÊS DE REFERÊNCIA								
ANO	Brasil - Residencial Total							Quantidade de suspensão por inadimplemento
	24 (%)	21 (%)	18 (%)	12 (%)	6 (%)	3 (%)	1 (%)	
2012	4,62	4,22	4,73	4,91	5,68	7,12	16,54	1.277.237
2013	9,39	8,34	8,36	8,40	9,82	10,81	22,19	1.962.621
2014	1,47	1,56	1,58	1,86	2,25	3,24	17,22	12.373.216
2015	1,23	1,30	1,38	1,55	1,92	2,99	17,77	12.469.015
2016	0,57	0,59	0,62	0,87	1,52	2,84	18,63	10.101.607

Figura 10 - Inadimplência média e suspensão de fornecimento por classe – Brasil (Residência Total)

Fonte: Aneel, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/indicadores-da-distribuicao>>. Acesso: mar. 2017.

Existem concessionárias com indicadores bem piores que a média brasileira que devem fazer ações mais enérgicas do que apenas o corte. Um estímulo para as concessionárias deve ser reduzir o custo operacional da operação de corte em larga escala. Para isto, a automação se aplica bem e a medição avançada possui a solução em um custo adequado. Além disso, o corte pela medição avançada tem um apelo adicional. Por poder ser executada remotamente em minutos, ela tem o potencial de



reduzir o indicador do primeiro mês e não o do terceiro mês, como se observou no corte manual, que demora semanas, devido a razões operacionais e regulatórias. Assim, a estimativa pode ser feita considerando que, a partir de 2025, a tecnologia estará disponível para instalação em massa, e o corte pode ser feito em minutos e não em semanas para os 10 milhões de cortes feitos anualmente. A redução gradativa reflete o tempo gasto para instalar 10 milhões de pontos de medição avançada, exatamente nos consumidores que apresentam problema de inadimplência (ARAÚJO, 2007).

Geração distribuída

Como foi visto na Figura 8 - Estatísticas básicas do consumo de energia elétrica - Brasil⁸, um dos principais fatores motivadores (ou desmotivadores) para o consumidor fazer investimentos em geração distribuída é o consumo médio, de apenas 194 kWh/mês. A Figura 9 - Domicílios consumidores por faixa de consumo 2013-2050 apresenta uma estimativa do mercado potencial, através da quantidade de consumidores residenciais por faixa de consumo, segundo o estudo de demanda de energia até 2050 da EPE. Se for considerado que o mercado potencial são as residências com consumo maior que 500 kWh por mês, tem-se um mercado total de 1,8 milhão de consumidores em 2013 e 6,6 milhões em 2050. Pode-se estimar uma penetração de 20% nesse mercado, o que daria 360 mil consumidores residenciais em 2013 e 1,3 milhão em 2050.

Mas o mercado potencial também abrange a indústria e o comércio que recebem energia em baixa tensão. A figura a seguir apresenta o consumo e quantidade de consumidores de cada categoria.

	2011	2012	2013	2014	2015	X% (2015/2014)	Part % (2015)
Consumo (GWh)	433.016	448.177	463.134	474.823	465.203	-2,0	100
Residencial	111.971	117.646	124.908	132.302	131,295	-0,8	28,2
Industrial	183.576	183.475	184.685	179.106	168.854	-5,7	36,3
Comercial	73.482	79.226	83.704	89.840	90.893	1,2	19,5
Rural	21.027	22.952	23.455	25.671	25.900	1,2	19,5
Poder público	13.222	14.077	14.653	15.354	15.186	-1,1	3,3
Iluminação pública	12.478	12.916	13.512	14.043	15.334	9,2	3,3
Serviço público	13.983	14.525	14.847	15.242	14.730	-3,4	0,6
Consumo próprio	3.277	3.360	3.371	3.265	3.011	-7,8	0,6
Cosumidores (mil)	70.323	72.377	74.814	77,171	78.885	2,2	100
Residencial	59.907	61.697	63.862	66.007	67.746	2,6	85,9
Industrial	558	573	584	574	549	-4,4	0,7
Comercial	5.120	5,271	5,445	5,566	5,545	-0,4	7,0
Rural	4.055	4.129	4.200	4.279	4.303	0,6	5,5
Poder público	521	536	544	561	554	-1,3	0,7
Iluminação pública	79	83	87	88	93	5,2	0,1
Serviço público	71	83	87	84	86	5,2	0,1
Consumo próprio	12	12	12	14	9	-31,5	0,0

Figura 11 - Brasil: consumo e número de consumidores

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, EPE, 2016b



Ela é sintetizada pela pirâmide da Figura 12 - Pirâmide de mercado de consumidores de energia elétrica do Brasil¹² abaixo.

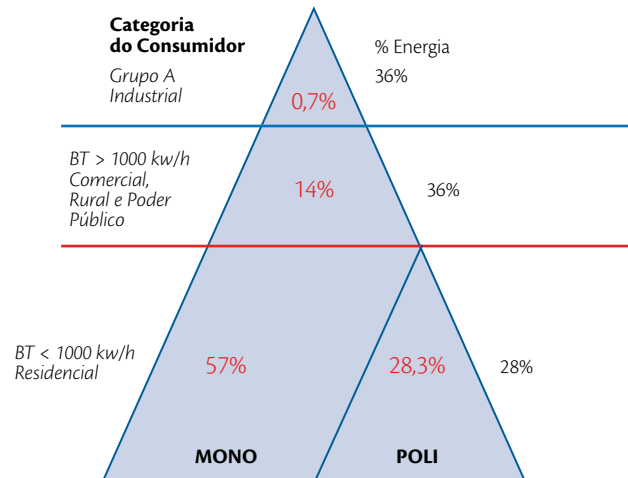


Figura 12 - Pirâmide de mercado de consumidores de energia elétrica do Brasil

Fonte: Elaboração própria.

Também é informado por meio do anuário que apenas 3% do consumo industrial, 50% do comercial e poder público e 60% do rural são em baixa tensão. Assim, na falta da estatística exata, desprezam-se os consumidores industriais em baixa tensão e considera-se que aproximadamente todos os consumidores comerciais, rurais e do poder público são alimentados em baixa tensão. Assim, usando dados de 2013 para manter a coerência, tem-se um mercado potencial de 14% de aproximadamente 75 milhões de consumidores, ou seja, 10 milhões. Considerando a mesma penetração de 20%, tem-se um mercado potencial de 2 milhões.

Assim, para a totalidade dos consumidores, há um mercado estimado para a geração distribuída em 2013 de 2,36 milhões de consumidores. Obviamente, é um mercado ainda não atendido, apenas potencialmente. Considerando que a EPE estimou um aumento de 56% na quantidade de consumidores de 2013 para 2050, haverá em 2050 um mercado de 3,7 milhões de consumidores que pode estar totalmente atendido.

A evolução do atendimento é estimada também pela EPE, de acordo com a Figura 13 - Potência instalada fotovoltaica distribuída acumulada¹³. Considerando que a potência média de pico por instalação seja 10 kWp, o que é um número razoável, considerando que envolve cerca de 30 m² de placas coletoras, verifica-se que, em 2050, pelo gráfico da EPE, ter-se-ia cerca de 7,8 a 11,8 milhões de

consumidores. No entanto considerando os dados da Figura 8 - Estatísticas básicas do consumo de energia elétrica - Brasil⁸ e da Figura 9 - Domicílios consumidores por faixa de consumo 2013-2050⁹, que mostram a quantidade de consumidores por consumo médio, acredita-se que o baixo ticket médio será determinante quando se tratar de alta escala. Observe que o mercado potencial estimado anteriormente é, em sua maioria, comercial e rural e não residencial exatamente devido a isso. Portanto a estimativa ficaria com o formato da evolução apresentada na Figura 13 - Potência instalada fotovoltaica distribuída acumulada¹³, mas com a quantidade para 2050 de 3,7 milhões de consumidores, obtendo a evolução apresentada na Tabela 1 - Estimativa da evolução da geração distribuída¹.

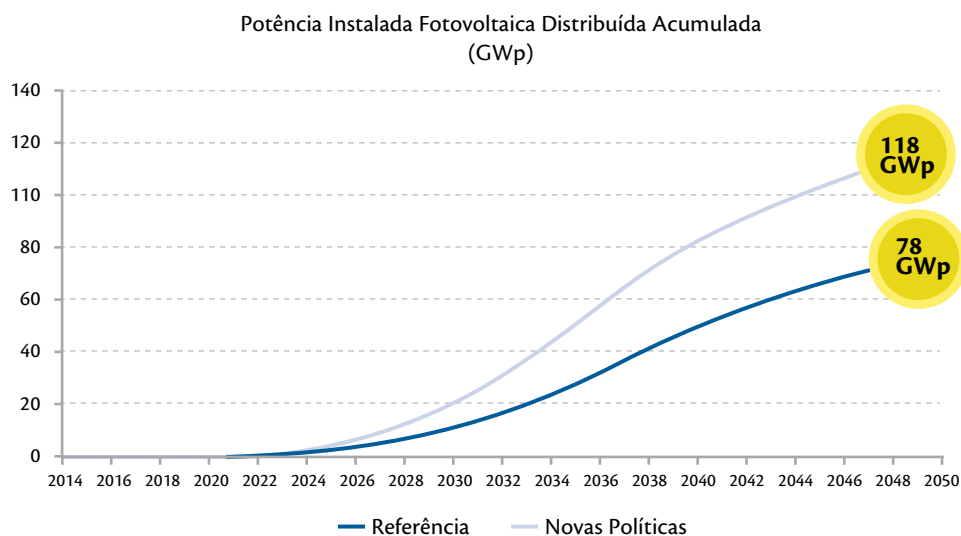


Figura 13 - Potência instalada fotovoltaica distribuída acumulada

Fonte: Nota técnica DEA 13/15 - Demanda de energia 2050 – EPE, 2016

Tabela 1 - Estimativa da evolução da geração distribuída

Ano	Milhares de consumidores
2025	100
2030	500
2040	2.400
2050	3.700

Fonte: Elaboração própria.



Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD)

A regulamentação atual da tarifa branca estabelece que seja opcional a sua adoção pelo consumidor. Estimamos que essa regulamentação não mude antes de 2030 por razões políticas, já que não parece parte de o cenário querer incomodar o consumidor-eleitor, principalmente sem precisar, pois já passamos pelas crises de energia de 2001 e 2015 com soluções de baixa tecnologia nesse aspecto. Mas, de acordo com o cenário enviado pelo CGEE, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir a demanda de energia elétrica em 10% com base no consumo do ano de 2015, até 2030 como resultado por ações de uso racional da energia (CGEE, 2017). Para isso ocorrer, tem-se que atuar nos consumidores com consumo maior que 300 kWh. De acordo com a Figura 9 - Domicílios consumidores por faixa de consumo 2013-2050, eles foram 5,8 milhões em 2013 e serão 25 milhões em 2050. Para maior precisão, devem ser subtraídos os consumidores já atendidos na geração distribuída fotovoltaica, assim se teriam 21,3 milhões em 2050.

Considera-se a estimativa do GLD a de maior incerteza, pois depende de mudança política e cultural. Existir um compromisso de reduzir a demanda não quer dizer que haverá vontade política para implementar quando chegar o momento, como já ocorreu no passado. Em um cenário pessimista, esses números poderiam reduzir uma ordem de grandeza, ou seja, 2,1 milhões em 2050.

À vista do apresentado, a estimativa da evolução da medição é consolidada na Tabela 2 - Estimativa da evolução da medição avançada². Para isso, são feitas as seguintes aproximações:

- O total de consumidores foi estimado considerando um aumento de 56% em relação ao atual, usando o mesmo fator que a EPE usou para estimar a quantidade de consumidores residenciais. Para os demais anos, foi feita uma interpolação.
- A instalação de perdas e inadimplência inicia em 2025, estando com metade instalada em 2030 e finalizando em 2035, mas isso aparecerá apenas em 2040, já que a tabela não possui o ano de 2030. Até 2050, foi seguido o crescimento da base de consumidores.
- Para o GLD, considerou-se também o início da instalação em 2025, mas com final em 2050. Os anos intermediários foram interpolados.
- Foram incluídos os medidores já previstos para serem instalados nos próximos anos nos projetos já em andamento. Eles foram incluídos na linha AMR (*Automatic Meter Reading*) porque não estão sendo instalados com um objetivo específico, como combate a inadimplência, diferente da simples leitura remota dos consumidores. Assim, eles são instalados indiferentemente em todos os consumidores de uma área. No futuro, estima-se que as instalações serão orientadas para os locais com retorno mais garantido, não se executando mais instalação em todos os consumidores de uma área.

Tabela 2 - Estimativa da evolução da medição avançada

Milhões de consumidores	Potencial	Estimativa				
	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Total de consumidores	79	82	85	91	105	123
AMR	0,10	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Perdas Comerciais	8,70	0,10	0,30	4,00	9,00	13,50
Inadimplência	10,00	0,10	0,30	5,00	10,00	11,50
GD	0,01	0,03	0,10	0,50	2,40	3,70
GLD	5,80	0,10	0,30	7,00	14,00	21,30
Total	24,61	1,33	4,00	19,50	38,40	53,00
Total %	31	2	5	21	37	43

Fonte: Elaboração própria.

Essa pode ser considerada a melhor estimativa baseada na visão de hoje, e que deve ser revista, caso haja alguma ruptura tecnológica ou regulatória importante, que promova uma redução expressiva dos custos de medidores e da comunicação, ou que altere significativamente os cenários dos estímulos. As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas nesse estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

2.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associados aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados por temática nos itens subsequentes.



2.3.1 Temática interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)

A temática interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador) contém duas rotas tecnológicas conforme apresentado na Figura 14 - Temática Interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)¹⁴. A rota normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada trata da interoperabilidade de equipamentos de medição, normalmente de propriedade das concessionárias. A rota dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN, por sua vez, aborda os sensores, atuadores e gerenciadores no ambiente do consumidor.

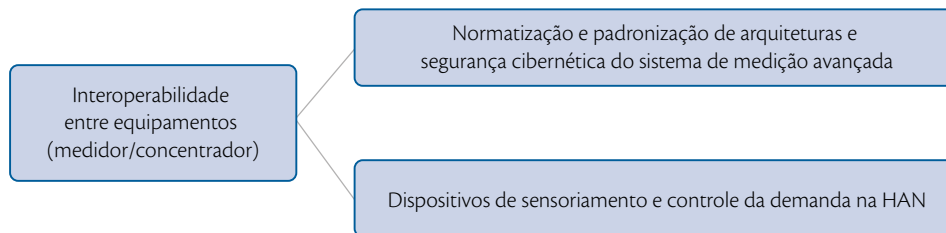


Figura 14 - Temática Interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas nos Gráfico 1 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada e Gráfico 2 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada

Para a rota normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada, a interoperabilidade é fator crítico, como destacado em quatro itens do mapa do conhecimento: desenvolvimento de métodos para avaliação da conformidade dos elementos do sistema de medição, desenvolvimento de normas para garantir a interoperabilidade e a qualidade da medição, estudo de requisitos para definição de um padrão de protocolo de medição, estudo de requisitos para definição de um padrão de protocolo de comunicação.

Assim, a padronização assume papel imprescindível. Isso pode ser feito através do mercado, como no caso da porta USB ou por um organismo normalizador. Como, após cerca de 30 anos, o mercado ainda não convergiu para um padrão, destaca-se a necessidade de atuação de um organismo como a ABNT, com o patrocínio da Aneel e Abradee, para elaboração de normas. Os quatro itens citados no mapa do conhecimento já detém normas nacionais e internacionais elaboradas, sendo necessária apenas uma harmonização (IEC, 2010; IEEE, 2011; NIST, 2014). Por exemplo, uma norma deve estipular entre os diversos padrões de RF existentes qual será usado no Brasil, outra deve estipular quais as grandezas serão apresentadas no display do medidor e como será o protocolo de transmissão, dentre as diversas opções também já existentes. Tudo isso negociado entre concessionárias, fabricantes e organismos governamentais, como o Inmetro, durante a elaboração da norma. Tendo em vista que é um tema que já existe uma base avançada, acredita-se que, com o estímulo correto em 2020, será possível ter normas elaboradas que atendam a esses quatro itens listados no mapa do conhecimento, acelerando o desenvolvimento da rota.

Portanto verifica-se que a normatização já vem sendo discutida na última década, mas ainda sem um consenso devido à falta de pressão da demanda de mercado. Já foram disponibilizadas opções não padronizadas e não interoperáveis para testes em laboratório, ambiente relevante e piloto. Esses resultados estão despertando a atenção do mercado para o potencial dessa solução para os problemas de perdas comerciais e inadimplência, como exposto anteriormente. Estima-se que já, em 2020, haverá a validação de sistemas interoperáveis, como resultado dos projetos em andamento ou que estão iniciando agora. Além disso, o mercado demandará dessa solução para atacar os problemas de perdas comerciais e inadimplência. No entanto dada a complexidade dos sistemas, espera-se que apenas em 2025 eles estarão demonstrados de fim-a-fim em ambiente relevante, com dados disponíveis de operação assistida, possíveis problemas encontrados já solucionados e a produção será estável.



Por fim, destaca-se que a faixa de variação observada no Gráfico 1 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada é devido à dispersão entre as diversas concessionárias no desenvolvimento da medição avançada. Enquanto algumas delas já estão bem avançadas e teriam condições de finalizar o processo em 2025, outras ainda têm um processo de aprendizado a fazer e devem retardar esse processo até 2030.

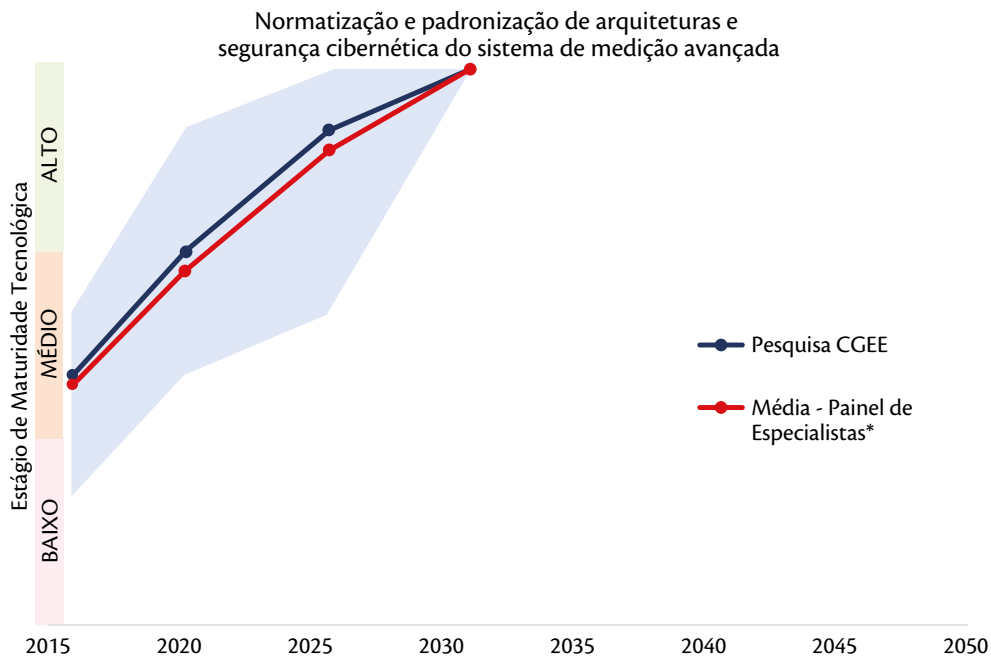


Gráfico 1 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada

Fonte: Elaboração própria.

Rota 2 - Dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN

Para compreensão da evolução da maturidade tecnológica da rota dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN (*Home Area Network*), destacam-se os aspectos de maior influência:

- Participação do GLD após 2030 - Apenas após a regulamentação de estrutura tarifária mais complexa, é que serão desenvolvidos novos produtos de GLD para o consumidor. Tendo em

vista as soluções adotadas para as crises de disponibilidade de energia ocorridas em 2001 e 2015, avalia-se que demorará até haver ambiente político adequado para adotar estrutura tarifária mais complexa (MAFRA JUNIOR, 2014). No entanto, a partir de 2030, o Brasil assumirá o compromisso de aumentar a eficiência energética e as primeiras implementações começarão a ser feitas (CGEE, 2017).

- Estrutura tarifária - Embora a partir de 2030 já devam existir tarifas complexas para aplicações de GLD, produtos para o prosumidor somente devem se popularizar de 2030 até 2050, quando estiver consolidada a geração distribuída fotovoltaica.

Assim, estima-se que em 2020 haverá interesse em participantes de importância no mercado visando provar um conceito abrangente, com validação em ambiente laboratorial em 2025 e em ambiente relevante em 2030. A partir de 2030, o sistema estará disponível para instalação. No entanto, como seguirá a demanda do mercado de consumo, estima-se que levará 10 anos até ter um parque instalado relevante e que já tenha os produtos de início de ciclo de vida do produto resolvidos, conforme evolução visualizada no Gráfico 2 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN.

Por fim, ressalta-se que a dispersão da visão dos especialistas afeta apenas os estágios intermediários, havendo praticamente um consenso que o processo finaliza entre 2040 e 2050. A principal causa da dispersão, que foi mais sensível nos anos iniciais, foi a discordância sobre o grau de maturidade dessa tecnologia no mercado. Para alguns, a tecnologia está embrionária, enquanto para outros já existe uma capacitação razoável. No entanto, sob o aspecto de escala, a experiência ainda é definitivamente embrionária, pois é verificada apenas em nichos de baixa escala. Isto, contudo, não afeta o estágio final de maturação.

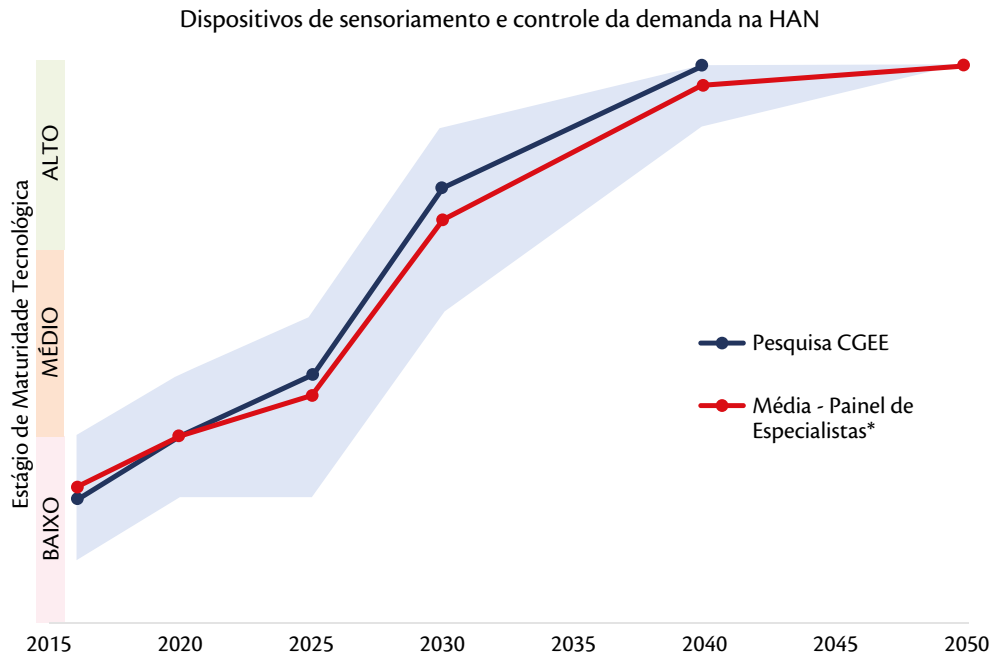


Gráfico 2 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados na tabela a seguir os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 3 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática Interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)	Normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada	Fatores portadores de futuro	Mercado, principalmente de concessionárias submetidas à lei 8666/93, deve demandar a interoperabilidade; adoção (ou oposição) de padrões internacionais por fabricantes; fraude e inadimplência devem ser estímulos			Compromisso de uso racional de energia deve ser estímulo para essa rota		
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			
	Dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN	Fatores portadores de futuro	Necessidade de normas e padrões	Baixa demanda mercadológica		Tarifas mais complexas estimulam o desenvolvimento de produtos; normas de conformidade de sensores e atuadores elaboradas pelas concessionárias		Prossumidor estimula o desenvolvimento de produtos
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

2.3.2 Temática aplicações de medição avançada no sistema de distribuição

A temática aplicações de medição avançada no sistema de distribuição contém quatro rotas tecnológicas: novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada; gerenciamento pelo lado da demanda; ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas; ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações.

O gerenciamento pelo lado da demanda se ocupa da avaliação do impacto na curva de carga do sistema dos mecanismos de GLD, estuda os estímulos tarifários adequados e avalia as possibilidades de uso dos sensores e gerenciadores usados pelo consumidor de energia. As ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas se ocupam da mitigação dessas perdas. As ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações se ocupam do uso das



tecnologias de medição avançada para gestão de ativos, da evolução dos medidores inteligentes e protocolos para incluírem novas medições de qualidade de energia, entre outras aplicações possíveis para a tecnologia. Por fim, a rota de novas oportunidades de negócios, a partir de medição avançada, trata do direcionamento e aproveitamento do crescimento da base de dados dos sistemas de medição avançada para geração de novos negócios. A Figura 15 - Temática aplicações de medição avançada no sistema de distribuição¹⁵ ilustra a temática e suas rotas.

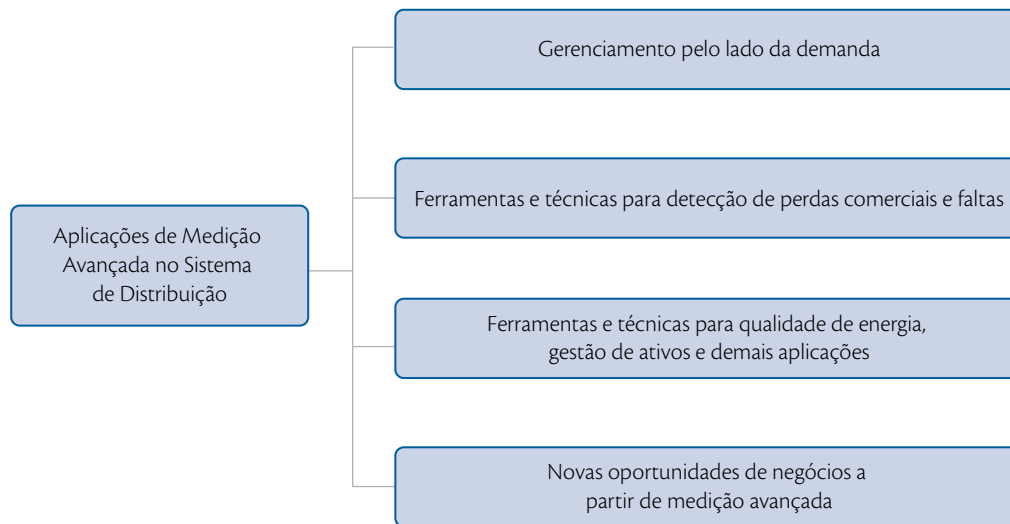


Figura 15 - Temática aplicações de medição avançada no sistema de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas nos Gráficos 3 a Gráfico 6. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 3 - Gerenciamento pelo lado da demanda

Em relação à rota gerenciamento pelo lado da demanda, destaca-se que, tendo em vista as soluções adotadas para as crises de disponibilidade de energia ocorridas em 2001 e 2015, avalia-se que demorará até haver ambiente político adequado para adotar estrutura tarifária mais complexa (MAFRA JUNIOR, 2014). No entanto, a partir de 2030, o Brasil já assumirá o compromisso de aumentar a eficiência energética e as primeiras implementações começarão a ser feitas (CGEE, 2017). Além disso, após 2030, esperam-se estímulos tarifários para a implantação das aplicações da medição avançada. Assim, o desenvolvimento da maturidade tecnológica desta rota é tal qual apresentado no Gráfico 3.

A faixa de variação, observada no gráfico abaixo, afeta mais fortemente os estágios intermediários, com uma tendência maior para que o processo finalize entre 2040 e 2050. A principal causa da dispersão, que foi mais sensível nos anos iniciais, foi a discordância sobre o grau de maturidade dessa tecnologia no mercado. Para alguns, a tecnologia está embrionária, enquanto para outros, já existe uma capacitação razoável. No entanto, sob o aspecto de escala, a experiência ainda é definitivamente embrionária, pois a experiência existente ocorre apenas em nichos de baixa escala. Isso, contudo, não afeta o estágio final de maturação.

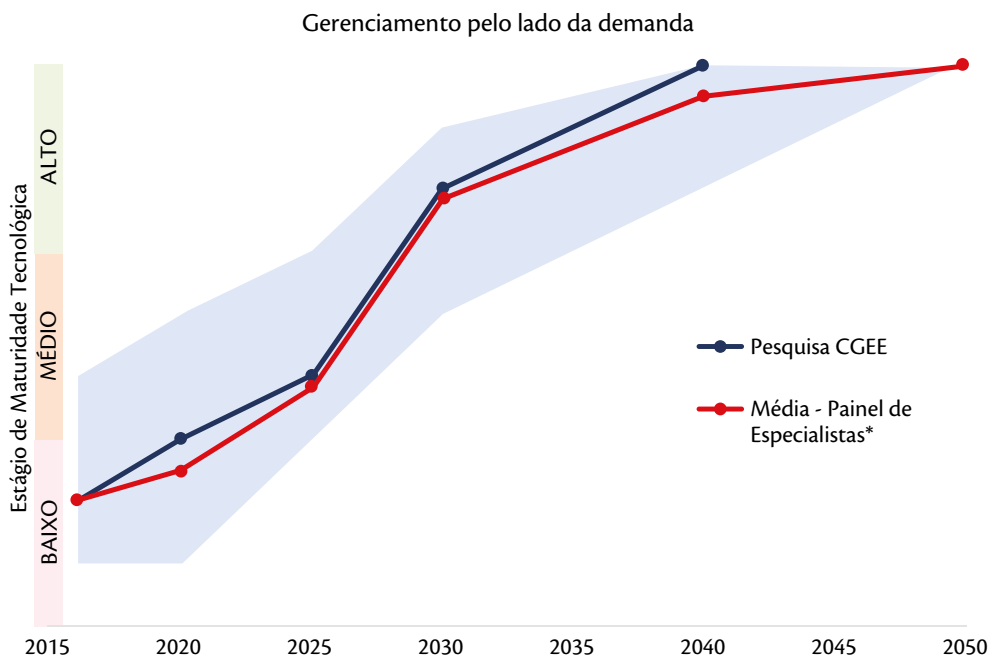


Gráfico 3 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de gerenciamento pelo lado da demanda

Fonte: Elaboração própria.



Rota 4 - Ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas

Para a rota Ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas, ressalta-se que serão desenvolvidas inicialmente as funcionalidades relativas à detecção de perdas comerciais e ao tratamento da inadimplência, que são as mais viáveis economicamente. Para o tratamento da inadimplência, será necessária a funcionalidade de conexão e desconexão remota do consumidor e toda a sua infraestrutura de comunicação associada. Ademais, necessita-se da elaboração de regulamentação mais harmonizada desses dois assuntos para evitar a judicialização. Considerando tais pontos, projeta-se a curva de evolução da maturidade tecnológica desta rota, vide Para a faixa de variação, há praticamente um consenso de que esta rota estará desenvolvida entre 2040 e 2050, porém com dispersão considerável nos estágios intermediários. Nesse caso, a discrepância se deve à diferença de percepção do cenário por dois atores, as concessionárias e os fabricantes de equipamentos, durante o debate. Enquanto as concessionárias percebem um estágio já avançado, os fabricantes têm uma visão mais conservadora. Isso pode ser justificado pelo fato de as concessionárias terem acesso às informações internas sobre detecção de fraude, que não são publicadas devido à sensibilidade do tema..

O nível inicial de maturidade é justificado, pois já se tem tecnologia disponível, com pesquisa aplicada na área (ROCHA, 2011; ALVES, 2017). Porém devido ao investimento necessário e à falta de reconhecimento regulatório para remuneração dos ativos, essa tecnologia ainda não foi adotada em escala. Para 2025, espera-se que, além de disponibilidade da tecnologia, haja bons resultados dos projetos pilotos assim como *business plan* positivo estimulando a adoção das ferramentas. O bom funcionamento da tecnologia deve disseminar o seu uso em escala até 2040.

Para a faixa de variação, há praticamente um consenso de que esta rota estará desenvolvida entre 2040 e 2050, porém com dispersão considerável nos estágios intermediários. Nesse caso, a discrepância se deve à diferença de percepção do cenário por dois atores, as concessionárias e os fabricantes de equipamentos, durante o debate. Enquanto as concessionárias percebem um estágio já avançado, os fabricantes têm uma visão mais conservadora. Isso pode ser justificado pelo fato de as concessionárias terem acesso às informações internas sobre detecção de fraude, que não são publicadas devido à sensibilidade do tema.

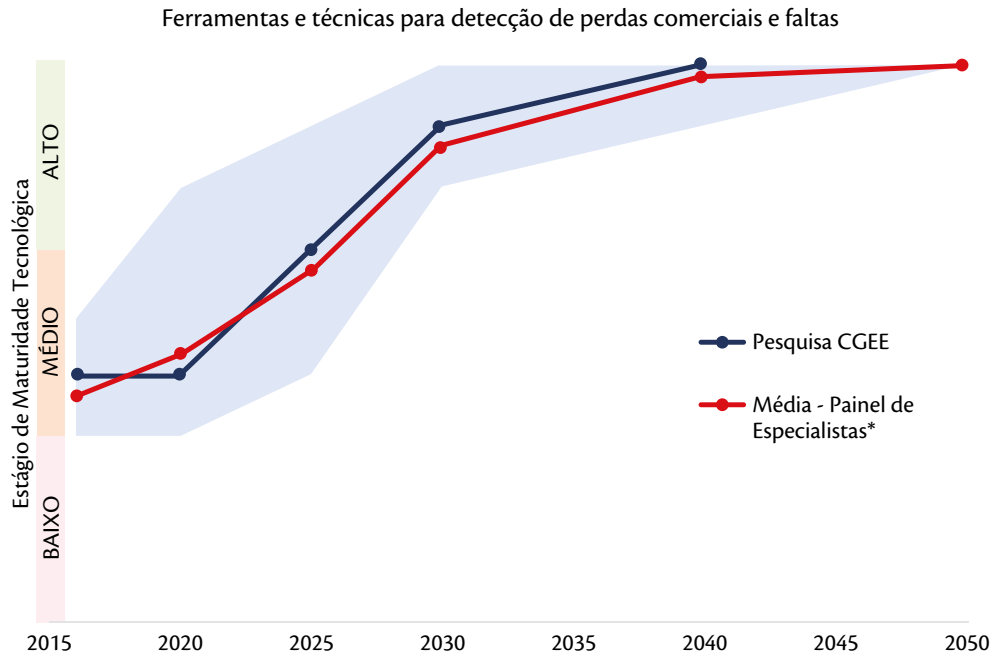


Gráfico 4 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas

Fonte: Elaboração própria.

Rota 5 - Ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações

Quanto à rota ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações, enfatiza-se a influência da regulamentação em seu desenvolvimento. Isto porque as funcionalidades relativas à qualidade de energia serão desenvolvidas para atender a regulamentação da Aneel já desenvolvida e para permitir o gerenciamento da rede, de forma a atingir metas mais rígidas de indicadores técnicos - os quais devem ser aperfeiçoados para estimular a melhoria contínua do serviço das concessionárias de energia.



Atualmente, os indicadores de qualidade de energia são padronizados pela Aneel por meio do módulo 8 do Prodist. Portanto será necessária a revisão desse módulo para a efetivação de novos indicadores. Embora não se vislumbre uma pressão do mercado por esse tipo de indicador ou padronização, acredita-se que a Aneel tenderá a incrementar a funcionalidade no mercado criando um padrão antes da demanda efetiva, com o objetivo de aperfeiçoar os indicadores de desempenho das concessionárias. Por isso, acredita-se que, em 2020, o módulo 8 do Prodist já estará revisado, motivando a evolução da maturidade tecnológica desta rota, conforme apresentado no Gráfico 5 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações. O desenvolvimento inicial observado, por sua vez, é justificado, embora a especificação das funcionalidades de qualidade de energia e de gestão de ativos já esteja disponível (IEC, 2009; Aneel, 2015), ainda é necessário desenvolver a tecnologia com o custo adequado para uso em escala.

Por fim, observa-se que a faixa de variação no gráfico abaixo afeta mais fortemente os estágios intermediários, com uma tendência maior para que o processo finalize em 2040. A principal causa da dispersão, que foi mais sensível nos anos iniciais, foi a discordância sobre o grau de desenvolvimento desse mercado, que também é fortemente dependente de regulamentação.

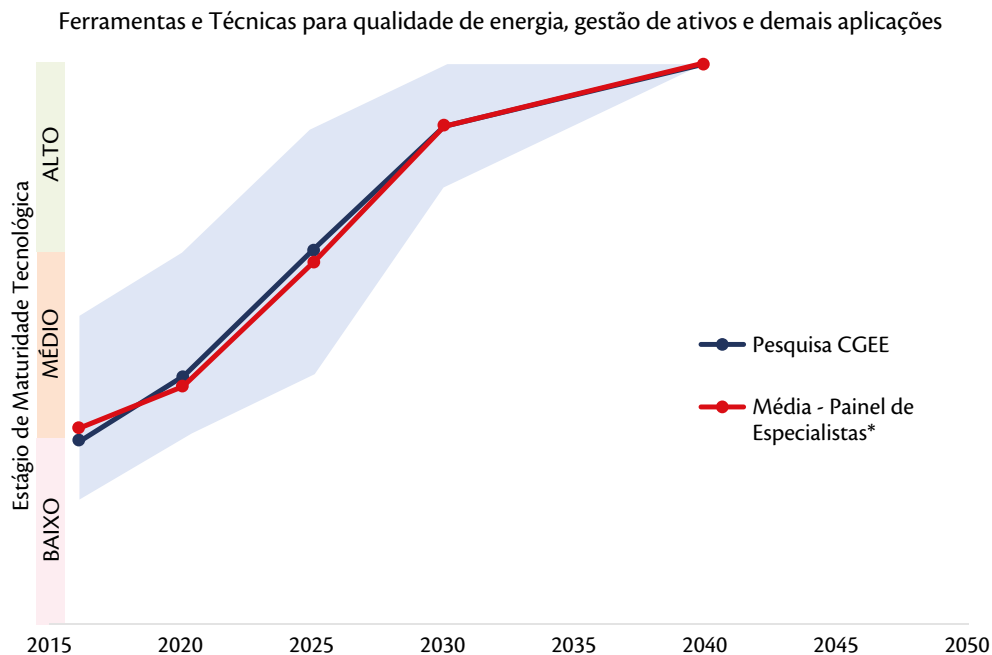


Gráfico 5 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações

Fonte: Elaboração própria.

Rota 6 - Novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada

Para a rota novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada, tem-se que o crescimento da base de dados dos sistemas de medição avançada já em funcionamento fornecerá matéria-prima para correlações diversas. Esses estudos, por sua vez, possibilitarão diversas aplicações, as quais, se bem-sucedidas, levarão à criação de novos negócios. Da mesma forma, o crescimento do GLD criará bancos de dados que também serão explorados para novas oportunidades de negócios.

Em um futuro mais remoto, ferramentas como *big data* e inteligência artificial podem permitir estruturas tarifárias bem mais complexas, otimizando o uso do sistema elétrico e sintonizando a geração, transmissão e distribuição com o consumo. Por exemplo, isso poderia ser feito com algum tipo de *real time pricing*, em que a nuvem da concessionária interage com os eletrodomésticos (notadamente



os de maior consumo de energia). Assim, conforme gráfico abaixo, espera-se que a partir de 2030, estimular-se-á o desenvolvimento de sistemas mais complexos dedicados ao mercado nacional.

Verifica-se que, por se tratar de um tema intrinsecamente especulativo, há uma dispersão razoável em todo o período de análise, sendo que a estimativa é que esteja pronto a partir de 2050. Novamente, observou-se, durante a discussão, a tendência de maior otimismo pelo lado das concessionárias e de menor pelos fabricantes, talvez pelo fato de os primeiros virem no dia a dia o potencial das inovações, e de os segundos os desafios existentes para a implementação. No entanto se observa uma tendência de evolução consistente nos próximos 30 anos.

Destaca-se, por fim, que, para o desenvolvimento conforme prospectado, pode ser demandada alguma regulação para garantir a privacidade e os mecanismos adequados para o seu compartilhamento ou comercialização. Isto porque as concessionárias e os provedores de serviços terão posse de um banco de dados abrangente com informações dos consumidores.

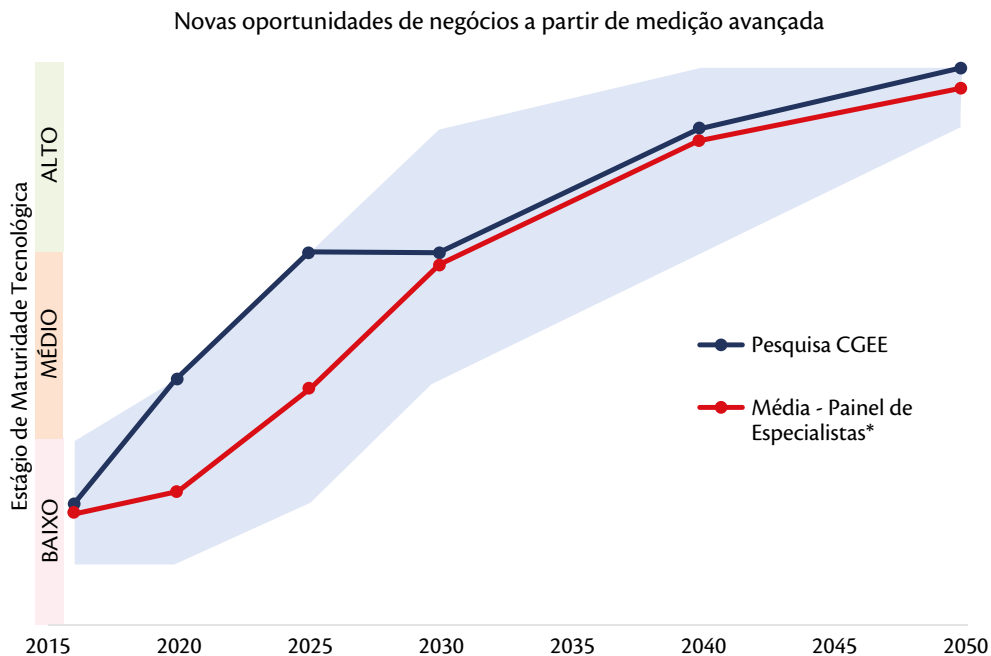


Gráfico 6 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 4 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática Aplicações de Medição Avançada no Sistema de Distribuição

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Aplicações de Medição Avançada no Sistema de Distribuição	Gerenciamento pelo Lado da Demanda	Fatores portadores de futuro	Regulamentação de remuneração de ativos da Aneel			Estímulos tarifários para aplicações de medição avançada e GLD; valor do ticket médio; compromisso de uso racional (meta de redução de consumo por eficiência energética) como estímulo		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas	Fatores portadores de futuro	Altas perdas comerciais e inadimplência como estímulo; demanda por novas aplicações de medição avançada; regulamentação de remuneração de ativos da Aneel			Infraestrutura de telecomunicações para funcionalidade de conexão e desconexão remota do consumidor; regulamentação harmonizada para evitar a judicialização		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
	Ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações	Fatores portadores de futuro	Especificações de qualidade já existentes; regulamentação de remuneração de ativos da Aneel; custo da tecnologia disponível		Revisões tarifárias dos indicadores de qualidade da energia como estímulo		Redução do custo da tecnologia	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada	Fatores portadores de futuro	Crescimento dos bancos de dados das concessionárias e de fornecedores de serviços		Preocupação relacionada à privacidade dos dados; crescimento do GLD e consequente maior base de dados; normatização da privacidade e compartilhamento de dados		Grande evolução das redes neurais e inteligência artificial; big data e inteligência artificial como forma de viabilizar tarifas mais complexas	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO	

Fonte: Elaboração própria.



2.3.3 Temática durabilidade dos medidores

A temática durabilidade dos medidores contém três rotas tecnológicas: confiabilidade do sistema de medição, confiabilidade de infraestruturas e operação a longo prazo. A confiabilidade do sistema de medição determinará as técnicas para avaliar a confiabilidade dos medidores e demais equipamentos através de cálculos teóricos, testes de laboratório e resultados de falhas em campo. A rota confiabilidade de infraestruturas avaliará o restante da infraestrutura da medição avançada, além do medidor inteligente, indo da última milha ao centro de operação. Finalmente, a rota operação a longo prazo contemplará o planejamento da obsolescência tecnológica, da cadeia de fornecimento durante a vida útil e a retrocompatibilidade com os sistemas legados. A Figura 16 - Temática da durabilidade dos medidores¹⁶ ilustra a temática e as rotas.

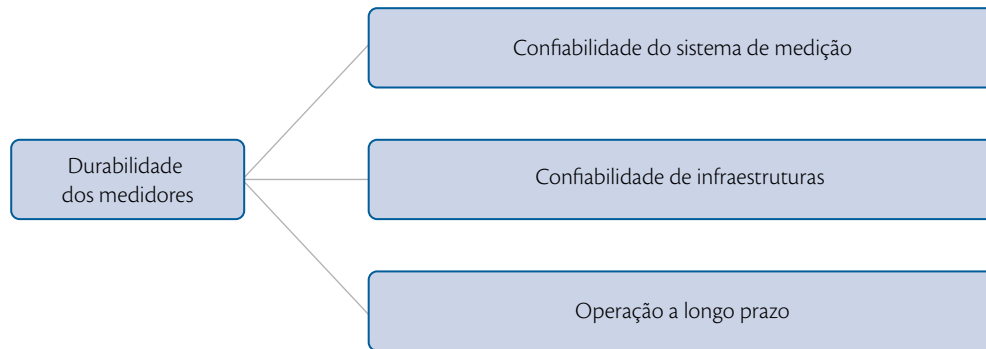


Figura 16 - Temática da durabilidade dos medidores

Fonte: Elaboração própria.

No que tange ao meio ambiente, destaca-se o impacto positivo das rotas dessa temática, devido à diminuição da quantidade de lixo. Isso ocorre, pois se diminui a taxa de falhas e consequentemente a quantidade de equipamentos e componentes descartados. Além disso, a vida útil aumenta, diminuindo a necessidade de substituição de equipamentos e a quantidade de equipamentos antigos descartados.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 7 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de confiabilidade do sistema de medição ao Gráfico 9 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de operação a longo prazo. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver

livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 7 - Confiabilidade do sistema de medição

A confiabilidade do sistema de medição está intrinsecamente ligada à taxa de falhas dos medidores inteligentes e a sua vida útil. Nos próximos 10 anos, serão desenvolvidos os produtos atuais, lançados há poucos anos e recentemente. Essa depuração usará os mecanismos usuais de melhoria contínua dos sistemas de qualidade dos fabricantes. Ela consistirá de depuração do software, eliminando bugs e aperfeiçoando a programação defensiva e eliminação de sensibilidades do hardware a transitórios elétricos de todos os tipos.

Em 2030, os produtos atuais estarão obsoletos e uma nova geração será projetada. Estarão disponíveis, então, componentes com maior nível de integração. Com isso, será possível projetar um medidor inteligente com menos chips, aumentando assim sua confiabilidade. Apesar de permitir o aumento da confiabilidade em uma ordem de grandeza, a evolução tecnológica só será efetivamente alcançada após a depuração dos produtos, que consiste em um processo longo. Após a depuração da nova geração, espera-se que seja alcançado todo o potencial da nova tecnologia.

Quanto às normas necessárias, ressalta-se que as normas internacionais já existem há vários anos e atendem muito bem às necessidades, já que esse é um campo do conhecimento básico para toda a tecnologia eletrônica e já muito bem desenvolvido (IEC, 2009). Podemos citar as normas de telecomunicações e militares de confiabilidade, que são usadas por todos os fabricantes para calcular e validar a confiabilidade de seus produtos. Essas normas são usadas inclusive pela indústria automobilística, que também não precisou criar suas próprias normas (Aneel, 2015).

A evolução da maturidade tecnológica desta rota, tal qual Gráfico 7 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de confiabilidade do sistema de medição, é, então justificada pelo fato de que, conforme já apresentado, esta é uma tecnologia bem dominada para os produtos eletrônicos. Já existe um movimento entre as concessionárias e fabricantes brasileiros para estimular esse estudo. Mas, para a área de medição das concessionárias, até há relativamente pouco tempo habituada a produtos eletromecânicos, esse assunto é novo e de primeira importância, tendo em vista a remuneração regulatória dos ativos ser baseada na vida útil estimada. Assim, estima-



se que já em 2025 os problemas encontrados já terão sido solucionados, e a produção será estável. Depois disso, esse ciclo será refeito para uma nova geração tecnológica, que deve surgir na próxima década.

Devido ao curto horizonte da rota durabilidade dos medidores, a dispersão foi especialmente grande, mas com indicação de finalização do processo entre 2025 e 2030. Houve um consenso de que o tema já tem um elevado grau de desenvolvimento, mas a dinâmica da evolução nos próximos anos tendeu a ser mais lenta do que a estimativa inicial. Isso se deve basicamente à dificuldade de negociação da normatização no ambiente de concessionárias, fabricantes e reguladores. Essa negociação pode demorar mais do que somente a possibilidade técnica permite, pois a formação de consenso demanda de tempo.

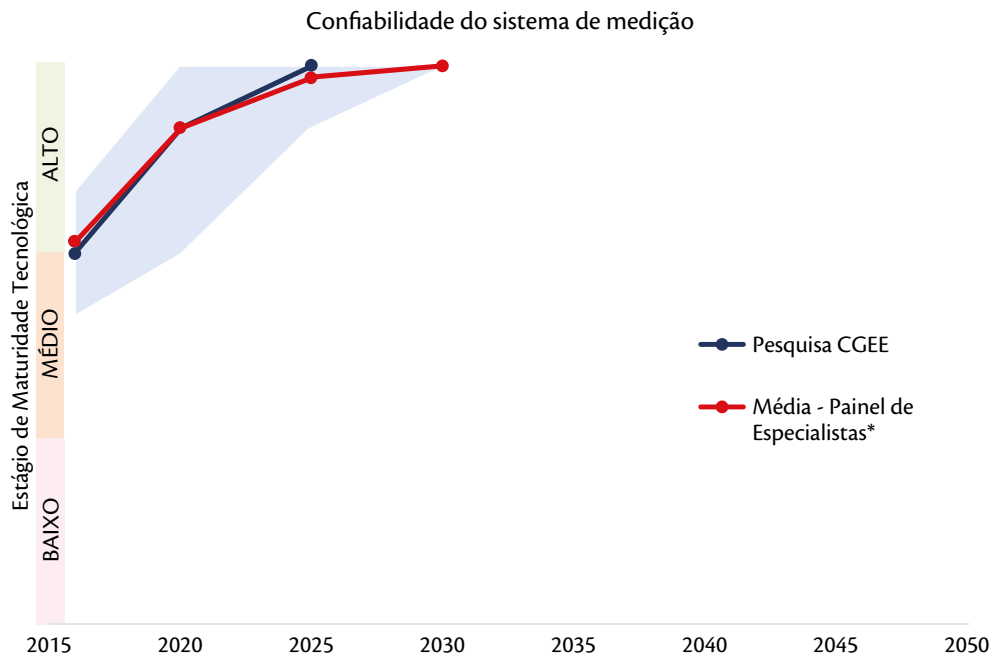


Gráfico 7 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de confiabilidade do sistema de medição

Fonte: Elaboração própria.

Rota 8 - Confiabilidade de infraestruturas

Para a rota confiabilidade de infraestrutura, destaca-se que a aplicação da medição avançada em alta escala demandará o aperfeiçoamento da confiabilidade do sistema de fim-a-fim, motivando a evolução de seu desenvolvimento tecnológico. Dado que os mecanismos para isso já são conhecidos, essa cultura terá apenas que ser absorvida pelas concessionárias. Em relação ao aumento do GLD, o efeito é semelhante, mas se estima que ele será percebido um pouco mais tarde. No entanto, além de afetar as concessionárias, os impactos serão sentidos também pelos prestadores de serviço, normalmente associados essa aplicação.

Novamente vale lembrar que normas internacionais para confiabilidade de sistemas já existem e devem ser usadas. No entanto, para a medição avançada, os protocolos e sistemas ainda estão em desenvolvimento. Quando os protocolos forem determinados, também devem ser normatizados mecanismos para garantir que o fluxo de dados não cause congestionamentos, especificando uma quantidade viável de informações para trafegar, tanto em quantidade de bytes quanto em frequência de transmissão de cada medidor. Por outro ponto de vista, também devem ser especificadas as velocidades de transmissão adequadas (fator também muito importante para evitar congestionamentos nos protocolos de gerenciamento da rede).

A evolução desenvolvimento tecnológico desta rota, tal qual Gráfico 8 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de confiabilidade de infraestruturas, explica-se, então, de as concessionárias já deterem experiência na infraestrutura de teleleitura para o grupo A (grupo de escala menor que o grupo B, mas de alto valor agregado). Portanto as soluções não serão as mesmas, pois a pressão de custo do grupo B será muito maior. No entanto os princípios básicos são os mesmos e já são conhecidos. Além disso, outras indústrias já resolveram esses problemas, servindo como referência, a indústria de telecomunicações em massa, como os celulares. Em 2020, estima-se que novas tecnologias como a IoT e o 5G devem apresentar as tecnologias adequadas para essa aplicação, permitindo a validação da tecnologia em 2025 e a consolidação de projetos pilotos em 2030. Para 2040, espera-se que os problemas encontrados já tenham sido solucionados e a produção seja estável.

A dispersão observada no gráfico abaixo para a rota confiabilidade de infraestruturas aparentemente é grande, em torno de 6 anos para o término do processo de evolução, mas isso pode ser apenas consequência da discretização usada, já que as opções de escolha têm um intervalo de 10 anos entre si. Mais uma vez as concessionárias foram mais otimistas que os fabricantes durante o debate.

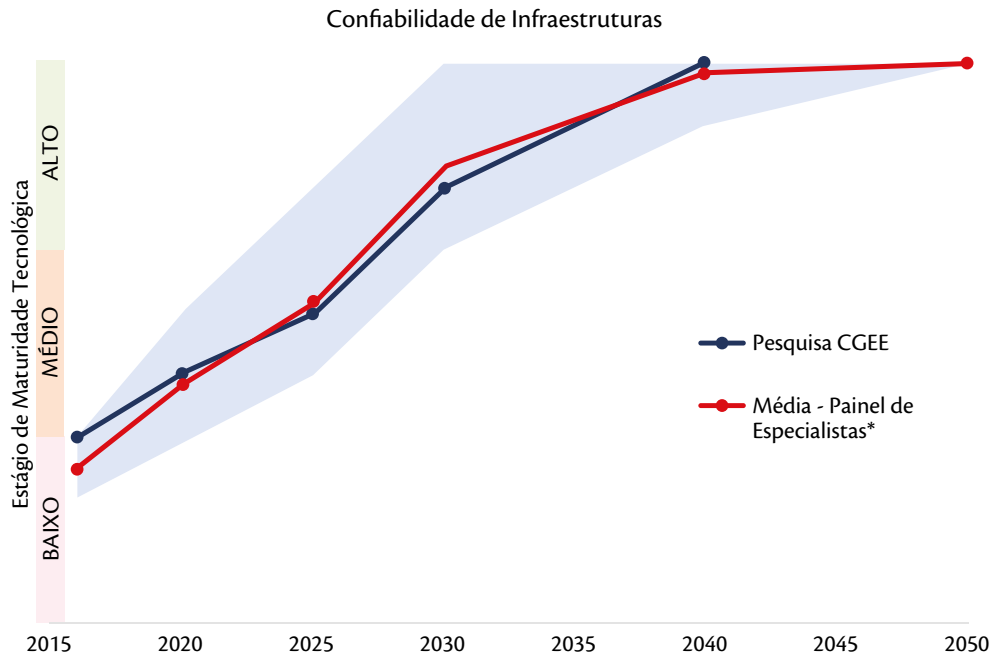


Gráfico 8 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de confiabilidade de infraestruturas

Fonte: Elaboração própria.

Rota 9 - Operação a longo prazo

Para a rota operação a longo prazo, a aplicação da medição avançada em alta escala demandará o desenvolvimento da cadeia de fornecedores com contratos garantindo o fornecimento de peças de reposição e suporte durante a vida útil dos produtos, de forma a incentivar seu desenvolvimento. Em relação ao aumento do GLD, o efeito é semelhante, mas se estima que ele será percebido um pouco mais tarde. Além de afetar as concessionárias, o aumento de GLD afetará também os prestadores de serviço, normalmente associados a essa aplicação.

Quanto à regulação, as concessionárias precisarão publicar normas especificando a retrocompatibilidade dos novos sistemas com os seus sistemas legados. Esta é uma atividade complexa que demandará um grande esforço, incluindo a ajuda de consultorias especializadas.

Para os anos iniciais, a evolução do desenvolvimento tecnológico desta rota, tal qual Gráfico 9 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de operação a longo prazo, justifica-se também pelas concessionárias já deterem experiência na infraestrutura de teleleitura para o grupo A (grupo de escala menor que o grupo B, mas de alto valor agregado). Portanto as soluções não serão as mesmas, pois a pressão de custo do grupo B será muito maior. No entanto os princípios básicos são os mesmos e já são conhecidos. Além disso, outras indústrias já resolveram esses problemas, servindo como referência, a indústria de telecomunicações em massa, como os celulares.

Quanto à faixa de variação, também se observou um desvio de 6 anos para a finalização do processo. Essa rota depende basicamente da negociação de contratos com os fornecedores da tecnologia, conseqüentemente cada concessionária e cada região podem ter realidade diferentes, justificando a dispersão. Para 2020, estima-se que a cadeia de fornecedores já estará desenvolvida e os métodos de trabalho devem ser determinados para ser negociados com esses fornecedores, com formação do ecossistema da cadeia de fornecimento completamente desenvolvido em 2025 e desenvolvimento pleno atingido em 2040.

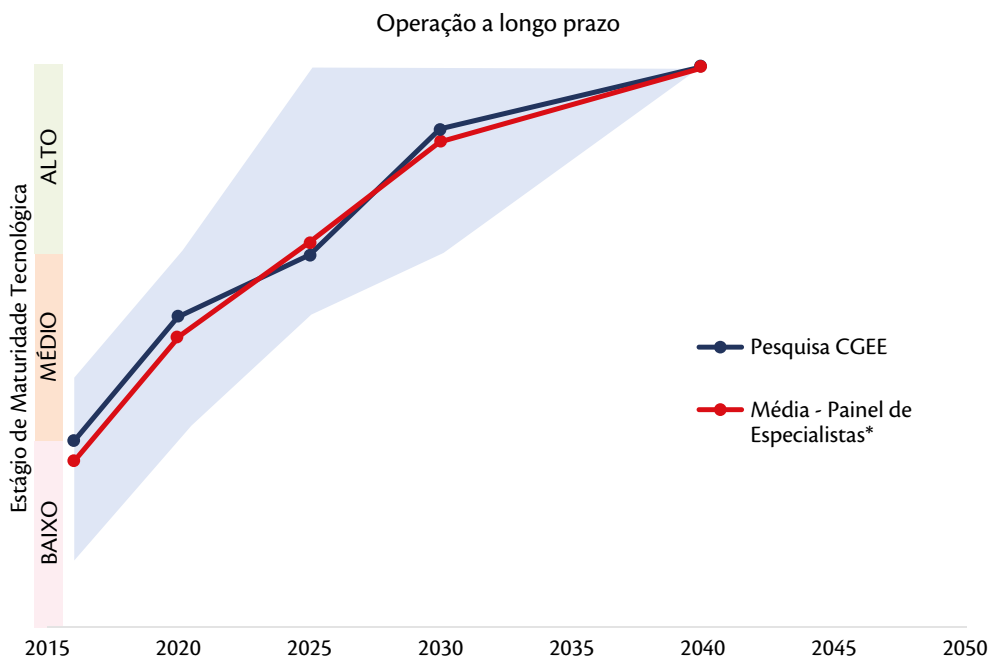


Gráfico 9 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de operação a longo prazo

Fonte: Elaboração própria.



Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados na tabela a seguir os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução.

Tabela 5 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática durabilidade dos medidores

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Durabilidade dos medidores	Confiabilidade do sistema de medição	Fatores portadores de futuro	Excesso de demanda por manutenção estimula avanço; necessidade de cultura da confiabilidade de produtos eletrônicos nas concessionárias; vida útil de 13 anos reconhecida para remuneração regulatória desestimula avanço			Desenvolvimento de nova geração de produtos, contando com componentes com maior nível de integração e consequente menor número de chips		
		Maturidade	MÉDIO	ALTO				
	Confiabilidade de infraestruturas	Fatores portadores de futuro	<p>Suporte de normas internacionais já existentes; experiência das concessionárias com infraestrutura de teleleitura para o grupo A; alto custo pode desestimular a adoção da redundância de equipamentos</p>	Desenvolvimento de novas tecnologias como a IoT e o 5G; especificações para evitar congestionamento (de alta complexidade)	A evolução da medição avançada demandará infraestruturas mais confiáveis		A evolução do GLD demandará infraestruturas mais confiáveis	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Operação a longo prazo	Fatores portadores de futuro	Experiência das concessionárias com infraestrutura de teleleitura para o grupo A	Estudo de especificação para retrocompatibilidade (alta complexidade)	Publicação de normas das concessionárias especificando a retrocompatibilidade; negociação de contratos por parte das concessionárias com os fornecedores da tecnologia; a evolução da medição avançada demandará infraestruturas mais confiáveis		A evolução do GLD demandará infraestruturas mais confiáveis	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

2.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na Macrotemática Medição Avançada. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da Macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

A priorização consistiu em ordenar crescentemente as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota 9, pois são nove rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na tabela 6.

Tabela 6 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática medição avançada

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada	Interoperabilidade
2	Ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas	Aplicações de medição avançada
3	Operação a longo prazo	Durabilidade dos medidores
4	Gerenciamento pelo lado da demanda	Aplicações de medição avançada
5	Confiabilidade do sistema de medição	Durabilidade dos medidores
6	Confiabilidade de infraestruturas	Durabilidade dos medidores
7	Ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações	Aplicações de medição avançada
8	Novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada	Aplicações de medição avançada
9	Dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN	Interoperabilidade

Fonte: Elaboração própria.



De acordo com o cenário apresentado, as rotas definidas devem ser todas necessárias e todas devem acontecer em maior ou menor grau, independentemente de estímulos adicionais. No entanto as rotas mais necessárias são as rotas de normatização e padronização do sistema de medição avançada e de ferramentas técnicas e comerciais da medição avançada. A primeira porque é pré-requisito para a adoção em larga escala de todas as outras rotas. A segunda porque ataca um problema de eficiência grave, a saber a perda comercial e inadimplência.

Assim, já justificada a razão das duas primeiras prioridades, a operação a longo prazo ocupou o terceiro lugar porque já é uma preocupação atual das concessionárias que possuem projetos piloto de medição avançada. Como a rota afeta diretamente a operação desses projetos, ela será priorizada internamente. Na sequência, tem-se o GLD - devido ao cenário regulatório e ao compromisso assumido pelo Brasil para o consumo racional de energia a ser atingido até 2030.

A confiabilidade do sistema de medição é uma rota de fácil evolução, com estágio avançado e desempenho aceitável, portanto apresenta prioridade inferior a outras menos desenvolvidas. Pelo mesmo motivo, justifica-se a prioridade dada à rota confiabilidade de infraestruturas.

Quanto à rota ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações, a prioridade baseou-se na dependência desta rota em relação ao cenário regulatório. A prioridade das novas oportunidades de negócio, por sua vez, reside no apelo de inovação e crescimento econômico que a rota apresenta para as concessionárias e fornecedores.

Por último, tem-se a rota dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN. Considerando o mercado de consumidores de baixa tensão, em sua maioria residenciais e de baixo ticket médio do consumidor de energia brasileiro, esta rota tem um mercado de certa forma limitado, dado que essa combinação não justifica investimentos e esforços da parte do consumidor para racionalizar o consumo com mudança de comportamento.



Capítulo 3



Capítulo 3

Macrotemática Automação da Rede

A macrotemática de automação da rede foi estruturada em três diferentes temáticas para investimento em PD&I, conforme 17.

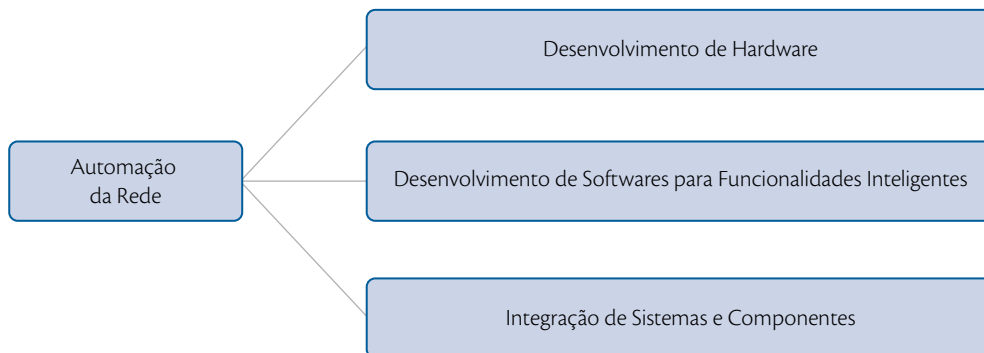


Figura 17 - Macrotemática de automação da rede

Fonte: Elaboração própria.

A temática de desenvolvimento de hardware contemplou rotas tecnológicas que visam a investimentos para o desenvolvimento de sensores e elementos finais de automação a serem instalados ao longo da rede de distribuição. Logo não são abrangidos por essa temática os sensores e atuadores internos às subestações transformadoras de energia elétrica.

A temática de desenvolvimento de software para funcionalidades inteligentes contemplou rotas tecnológicas que visam investimento para o desenvolvimento de metodologias e algoritmos que podem apoiar a operação e o planejamento das redes de distribuição de energia elétrica. Nesse contexto, foram considerados os principais processos internos realizados pelas empresas de distribuição

de energia uma vez que a automatização desses poderia contribuir para a melhoria do desempenho frente a problemas particulares do contexto nacional, como redução de perdas, melhoria dos níveis de continuidade do fornecimento de energia elétrica, etc.

Por fim, a temática de integração de sistemas e componentes contemplou as rotas tecnológicas que focam investimentos para o desenvolvimento de ambientes para a avaliação das tecnologias relativas as outras duas temáticas, de forma integrada aos sistemas legados das empresas de distribuição de energia elétrica. Logo, questões relativas a padrões de troca de dados, arquiteturas de integração, interoperabilidade de sistemas e equipamentos, etc. foram abrangidas por essa temática.

3.1 Visão de futuro

3.1.1 Cenário setorial

De acordo com a literatura técnica, o setor elétrico apresenta algumas características particulares que devem ser evidenciadas nesta seção, de modo a contextualizar o cenário brasileiro para 2050 e justificar a realização de investimentos em automação da rede de distribuição de energia elétrica.

De acordo com a EPE, em 2015, a demanda por energia elétrica deve atingir cerca de 1605 TWh, representando um crescimento de aproximadamente 312,26% em relação ao patamar atual (cerca de 514 TWh).

Além da preocupação com o atendimento a uma demanda crescente, merecem destaque as mudanças tecnológicas impostas às redes de distribuição, devido, por exemplo, à integração de tecnologias de Geração Distribuída (GD) e Armazenamento de Energia. Atualmente, tais mudanças podem ser evidenciadas por meio da Resolução Normativa 482/2012 da Aneel e suas atualizações, que estabelecem as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica de modo a quantificar os possíveis impactos, pode-se ainda referenciar projeções de penetração de GD de médio e pequeno porte feitas na EPE, em 2016 (Aneel, 2017). Tais projeções indicam níveis de 2,85 GW_{médios} para GD a partir de biogás e 11,80 GW_{médios} para GD fotovoltaica.



Também cabe mencionar o gradativo aumento do rigor dos padrões técnicos para operação e planejamento das redes de distribuição e a incerteza regulatória presente no setor. Com relação ao rigor dos limites técnicos, pode-se referenciar as mais recentes atualizações dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Já a incerteza regulatória pode ser exemplificada ainda por meio do estudo apresentado em EPE, em 2016. A princípio, os níveis de penetração de GD de médio e pequeno portes indicados anteriormente são níveis conservativos, pois o mesmo estudo aponta a possibilidade de se atingir níveis de $5,19 \text{ GW}_{\text{médios}}$ para GD a partir de biogás (82,11% superior em relação ao nível anterior) e $18,03 \text{ GW}_{\text{médios}}$ para GD fotovoltaica (52,80% superior em relação ao nível anterior), dependendo de novas políticas que podem ser definidas dentro do período.

Nesse contexto, a operação e a expansão de uma rede prioritariamente aérea representa um grande desafio para os centros de controle das empresas de distribuição brasileiras. Ainda se considerando as particularidades climáticas e a grande extensão territorial, o investimento em automação da rede de distribuição torna-se uma alternativa atraente, uma vez que permite a realização dos procedimentos técnicos de forma mais precisa e mais rápida, contribuindo para a melhora do desempenho, a redução de custos operacionais, um melhor aproveitamento da infraestrutura, o aumento da segurança de pessoas e das instalações, bem como, a superação de limitações tecnológicas impostas por uma rede que é predominantemente radial.

Atualmente, observa-se, a princípio, que a automação da rede de distribuição de energia elétrica vem sendo desenvolvida com o intuito de mitigar impactos na qualidade de energia elétrica, que são advindos, prioritariamente, de interrupções no fornecimento e de variações no nível de tensão em regime permanente. Dessa forma, procura-se atender aos padrões regulatórios já vigentes, sem impactar significativamente os custos operacionais das empresas.

Mas, em um segundo momento, a automação da rede certamente será peça fundamental para aprimorar o desempenho dos sistemas de distribuição, contribuindo para a redução de perdas, viabilizando a operação em malha para aproveitamento dos recursos energéticos distribuídos, e otimizando, ainda mais, os padrões de qualidade de energia elétrica ofertados aos consumidores.

3.1.2 Objetivo geral

Considerando o respectivo cenário, o foco principal dos investimentos em PD&I está em desenvolver metodologias e algoritmos que contribuam para mitigar o impacto de distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica ofertada aos consumidores finais. Tais metodologias e algoritmos devem ser capazes de:

- disponibilizar orientações mais precisas para lidar com eventuais contingências;
- aumentar a rapidez na correção de defeitos;
- reduzir OPEX (redução de intervenção das equipes de campo, gestão de ativos, entre outros).

Consequentemente, tais metodologias e algoritmos promoverão uma melhora dos indicadores técnicos e uma redução dos custos operacionais das empresas.

Além disso, é foco da PD&I o desenvolvimento de metodologias, arquiteturas, algoritmos e protocolos que contribuam para o aumento da capacidade de supervisão e monitoração das redes de distribuição, especialmente as de média e baixa tensão, permitindo:

- um melhor aproveitamento da infraestrutura de rede elétrica disponível;
- a operação com recursos energéticos distribuídos;
- a identificação de eventuais focos de perdas não-técnicas.

Para tanto, os investimentos em PD&I podem ser direcionados para o desenvolvimento de tecnologias de sensoriamento e atuação, especialmente para redes de média e baixa tensão, de modo a:

- aumentar a oferta de equipamentos e, consequentemente, reduzir os custos desses;
- aumentar a capacidade de supervisão e atuação remotas, contribuindo para uma maior agilidade no atendimento de eventuais ocorrências e aumentando a segurança das equipes de campo, das pessoas e das instalações;
- aumentar a capacidade de monitoração remota, de modo a permitir uma maior precisão por parte das metodologias e algoritmos presentes nos sistemas de gerenciamento da distribuição de energia elétrica.

Acrescenta-se a isso, com uma prioridade menor, os investimentos em PD&I que podem ser direcionados para o desenvolvimento de metodologias e algoritmos de apoio a gestão da demanda, focando a utilização mais eficiente da infraestrutura de rede de distribuição de energia elétrica, viabilizando a operação otimizada da rede de distribuição com recursos energéticos distribuídos.



3.1.3 Objetivo específico

Para suportar o objetivo geral, são necessários que se obtenham por meio da PD&I:

Curto prazo (2017-2020):

- A criação de métodos e algoritmos mais precisos para apoiar a operação na realização de manobras automáticas (*self-healing* para mitigação de contingências, reconfiguração da rede para gerenciamento de índices técnicos), especialmente para as redes de média e baixa tensão.
- A criação de métodos e algoritmos mais eficientes para o controle de tensão e do fluxo de reativos, especialmente para as redes de média e baixa tensão.

Médio prazo (2020-2030):

- O desenvolvimento de novos sensores e atuadores, especialmente, para as redes de média e baixa tensão.
- A criação de métodos e algoritmos mais precisos para a localização de faltas, especialmente, para as redes de média e baixa tensão.
- A criação de métodos e algoritmos mais eficientes para gestão operacional de ativos, especialmente, para as redes de média tensão e de baixa tensão.
- O desenvolvimento de padrões, a exemplo de arquiteturas de solução de automação e integração de protocolos, que viabilizem a troca de dados entre os diversos sistemas presentes nas empresas de distribuição de energia elétrica.
- O desenvolvimento de ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de vanguarda ou aqueles em desenvolvimento pela própria PD&I, considerando a integração de dados com sistemas legados das empresas de distribuição de energia (DMS - *Distribution Management System*, OMS - *Outage Management System*, SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition System*, GIS - *Geographic Information System*, MDM - *Metering Data Management*, ERP - *Enterprise Resource Planning System*, etc.).

Longo prazo (2030-2050):

- Métodos e algoritmos para gestão de recursos energéticos distribuídos, a exemplo de *Virtual Power Plants* (VPP).
- A criação de métodos e algoritmos eficientes para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica, visando otimizar a operação das redes de distribuição, especialmente, para as redes de média tensão e de baixa tensão.

3.1.4 Fundamentação

Devido a fatores de ordem econômica, a tecnologia de automação de redes disponível para o transporte de energia elétrica é aplicada de forma muito pontual e com pouca expressão nas redes de distribuição de energia elétrica. Obviamente, os montantes de energia transportados em linhas de transmissão justificam investimentos em equipamentos e sistemas para a supervisão e gerenciamento, com o intuito de promover a segurança no fornecimento de energia elétrica. Já nas redes de distribuição, tipicamente, tal argumentação não é válida, uma vez que o montante de energia transportado por um alimentador de média tensão é significativamente menor.

Atualmente, nota-se uma tendência de alteração nesse cenário, fundamentada principalmente pela gradativa rigidez dos indicadores técnicos, focados em especial na qualidade do serviço de fornecimento de energia elétrica e na necessidade de redução dos custos operacionais para o atendimento a uma demanda por energia crescente.

No caso brasileiro, a automação de rede representa uma alternativa atraente por proporcionar uma maior observabilidade da rede elétrica e assim, permitir uma redução das perdas técnicas através de um controle de reativos mais eficiente e um combate às perdas comerciais.

Logo, para ampliar a capacidade de supervisão nos sistemas de distribuição, bem como a capacidade de manobra e gerenciamento desses, é importante que a PD&I incentive o desenvolvimento de sensores e atuadores de baixo custo. Desse modo, torna-se possível a justificativa desses investimentos em redes de distribuição. Obviamente que, para a redução de custos, pode-se considerar sensores mais simples e dedicados e sem a necessidade de uma ampla gama de funcionalidades, como é o caso dos sensores e atuadores tipicamente empregados em sistemas de transmissão. O incentivo do desenvolvimento de novos equipamentos, mais simples e com funcionalidades relevantes para a aplicação nas redes de distribuição - sejam elas subterrâneas, sejam elas aéreas de alta, média



ou baixa tensão - proporcionaria uma redução nos custos de aquisição desses equipamentos e, conseqüentemente, na disseminação do seu uso.

Sabe-se que, em países desenvolvidos, como o Japão e os Estados Unidos, que têm sistemas de distribuição baseados prioritariamente em redes aéreas, a qualidade de serviço é bem superior à das empresas brasileiras. Nos Estados Unidos, índices médios de interrupção por consumidor têm valores da ordem de 58,49 minutos por ano e 1,11 interrupções por ano (Aneel, 2017). No Japão, índices médios de interrupção por consumidor têm valores da ordem de 5 minutos por ano e 0,07 interrupções por ano (JOSEPH, 2017). Enquanto isso, no Brasil, os índices médios de interrupção por consumidor têm valores da ordem de 15,82 horas por ano e 8,86 interrupções por ano (Aneel, 2017). Além da diferença dos padrões de rede, uma grande justificativa para essa diferença é o nível da automação de redes.

Para o aprimoramento dos indicadores de qualidade de serviço, faz-se necessário o incentivo a PD&I em técnicas de:

- localização de faltas;
- isolamento e restauração do serviço de fornecimento de energia (*Self-Healing*).

No contexto das Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*), essas funcionalidades são abordadas de forma conjunta, por meio de soluções de FLISR (*Fault Location, Isolation and Service Restoration*). Apesar de ambas funcionalidades abordarem questões relativas à redução do tempo de interrupção, tratam-se de problemas diferentes e com soluções complementares.

No caso da localização de faltas, os métodos e algoritmos são produtos de pesquisas desenvolvidas com o intuito de aumentar a precisão geográfica para a definição da localização do local de defeito. Bons resultados têm sido alcançados com a utilização de equipamentos sofisticados de monitoração, baseados na oscilografia dos sinais de tensão e correntes elétricas. No entanto ainda há demanda por PD&I nessa linha de pesquisa, principalmente com relação a investigações e desenvolvimento de metodologias envolvendo localização de faltas de alta impedância, as quais ainda são tipicamente mais difíceis de serem localizadas, uma vez que os níveis de corrente detectados se confundem com corrente tipicamente demandada pelo sistema. Ainda nessa linha de pesquisa, outro desafio recai na utilização de dados mais simples pelos algoritmos de localização de faltas, e que já são acessíveis às redes de distribuição por meio do cruzamento das informações já disponíveis nos sistemas corporativos das empresas de distribuição.

No caso do isolamento e restauração do serviço, os métodos e algoritmos também são produtos de pesquisas desenvolvidas para auxiliar na transferência de cargas entre alimentadores e, assim, reduzir o número de consumidores afetados durante uma interrupção. Atualmente, tais métodos não levam em consideração todo o potencial operacional da rede de distribuição, uma vez que não consideram, por exemplo, a possibilidade de alívio prévio de carga, para então dispor de capacidade para atender parte dos consumidores afetados por um defeito. Nesse sentido, ainda há espaço para o investimento em PD&I envolvendo projetos que proponham a elaborar metodologias que viabilizem o melhor aproveitamento da infraestrutura de rede já disponível para o atendimento durante as contingências, ou que orientem na determinação de posições estratégicas da rede de distribuição para a instalação de recursos de seccionamento e proteção telecomandados. Ainda nessa linha de pesquisa, outro desafio recai na investigação da possibilidade de formação de microrredes temporárias durante os períodos de defeito para limitação do número de consumidores interrompidos. Vale ressaltar que metodologias para a reconfiguração da topologia das redes de distribuição ainda podem apoiar na otimização do uso da infraestrutura em condições normais de operação, determinando a configuração do sistema que minimiza as perdas técnicas do sistema, por exemplo.

Com relação ao controle de tensão e reativos, é possível observar que as iniciativas de PD&I nacionais se concentram em pesquisas de métodos e algoritmos muito simplificados, sem a representação detalhada da rede elétrica, e com apenas algumas experiências vinculadas à implantação em campo ou à integração com sistemas supervisórios. No contexto setorial brasileiro, o controle de tensão e reativos tem uma importância significativa, pois, além de garantir os padrões de qualidade do produto e colaborar para um melhor aproveitamento da infraestrutura de rede elétrica vigente, ele também pode contribuir para a redução das perdas técnicas. Nesse sentido, visando a complementar a necessidade do setor de distribuição de energia elétrica, é interessante o incentivo a PD&I para o desenvolvimento em soluções para o controle e tensão de reativos mais precisas, partindo de um maior detalhamento da rede elétrica e da demanda, e com níveis de desempenho interessantes, garantindo que os resultados determinados pelas metodologias inovadoras sejam de fato refletidos em campo dentro de intervalos de tempo que evitem possíveis transgressões de limites técnicos. Ainda vale mencionar a relevância do incentivo da PD&I para a elaboração de metodologias e algoritmos que orientem na determinação de posições estratégicas da rede de distribuição para a instalação de recursos de controle de tensão e reativos telecomandados. A criação desses novos métodos complementa as atividades de operação das redes elétricas e hoje são enfrentadas por algumas empresas como atividade integrante dos serviços de automação de rede.

Ainda no contexto de controle de tensão e reativos, também cabe a PD&I incentivar o desenvolvimento de metodologias e algoritmos para o controle de tensão e reativos que leve em consideração os recursos energéticos distribuídos. Nesse contexto, os centros de controle das empresas de distribuição de



energia elétrica passam a ter que considerar a nova realidade das suas redes, onde não se pode mais garantir a unidirecionalidade do fluxo de potência. Nessa nova condição, existem aspectos incertos com relação à operação das redes de distribuição. A integração dos recursos energéticos distribuídos podem provocar problemas de atuação indevida do sistema de proteção, causar sobretensões, afetar as perdas técnicas e gerar uma maior dificuldade na localização de faltas e reconfiguração da rede elétrica durante o atendimento de contingências, sobretudo no que se refere à conexão de unidades de GD monofásicas e bifásicas em baixa tensão, que ainda são passíveis de uma maior investigação no que se refere aos possíveis impactos na rede de distribuição. Os recursos energéticos distribuídos certamente influenciam a operação das redes de distribuição de energia elétrica, podendo dificultar o atendimento aos níveis de qualidade de produto estabelecidos pelo PRODIST. Atualmente, observa-se que os esforços de PD&I se concentram no desenvolvimento de tecnologias de GD, bem como na elaboração de metodologias para previsão do impacto da conexão de unidades de GD.

Com relação às soluções para o gerenciamento pelo lado da demanda, os incentivos em PD&I contribuem para o desenvolvimento de métodos e algoritmos que permitem aumentar a eficiência na utilização da infraestrutura de distribuição de energia elétrica. Nesse sentido, a investigação recai em aspectos relativos à priorização de cargas para um possível corte seletivo do fornecimento de energia a equipamentos não essenciais (como aparelhos de ar condicionado) em situações de pico do sistema de energia elétrica. Os resultados apresentados atualmente se limitam ao desenvolvimento de estudos teóricos, com pouco detalhamento na modelagem de rede, bem como nas questões relativas à integração dos sistemas de medição com os centros de controle da operação abrangendo redes reais.

Já no que se refere ao gerenciamento dos recursos energéticos distribuídos, os incentivos de PD&I devem contribuir para o desenvolvimento de métodos e algoritmos que permitam a operação segura e eficiente das redes de distribuição, visando a incentivar o uso de recursos energéticos distribuídos e mais próximos das cargas. Logo tornam-se relevantes investimentos em metodologias e normas para apoiar a operação e o planejamento das redes de distribuição. Particularmente, no caso da automação de rede, a principal preocupação recai em possibilitar uma maior capacidade de monitorar e influenciar os despachos das unidades de geração distribuídas.

Ainda cabe destacar que a PD&I voltada para a automação de rede de distribuição deve identificar as vantagens e desvantagens de padrões de arquiteturas para integração das soluções de automação. Tais investigações devem ter como um de seus principais enfoques a interoperabilidade. Tal aspecto contribui para evitar a dependência em tecnologias proprietárias. Apesar dos significativos avanços teóricos, por meio da elaboração de normas e padrões, ainda não se dispõe de resultados significativos das aplicações em empresas de distribuição de energia elétrica nacionais. Alguns projetos desenvolvidos relevam apenas a troca de informações entre os sistemas legados das empresas, prioritariamente

os sistemas de cadastros georreferenciado. No entanto a oportunidade e o embasamento teórico permitem integrações muito mais sofisticadas, envolvendo também os sistemas de gerenciamento de energia e faturamento, entre outros.

Por fim, é importante ressaltar que, apesar da consciência das empresas distribuidoras nos benefícios advindos da automação de redes de distribuição de energia elétrica, há um pequeno desenvolvimento no setor na implantação das soluções relacionadas. Em um primeiro momento, pode estar relacionado aos investimentos consideráveis para a adoção e implantação de novas tecnologias. Na realidade, os maiores custos não estão simplesmente na aquisição da tecnologia em si, mas nos demais aspectos que a ela estão vinculados, como capacitação de pessoal e mudança de procedimentos operacionais, além de atrasos de implantação. Logo se torna interessante o incentivo de PD&I em iniciativas que permitam desenvolver ambientes onde seja possível a realização de simulações da operação de redes e testes controlados nos equipamentos envolvidos, de modo a identificar, antes da implantação em campo, possíveis problemas e/ou deficiências. Tal abordagem contribuiria para a redução dos riscos associados com a adoção das tecnologias de vanguarda da automação de redes e reduziria a inércia para a adoção dessas.

3.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessárias para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

A partir do Cenário Setorial Geral (ver livro "Documento executivo"), entende-se que a automação da rede pode contribuir para facilitar a integração de unidades de GD e de armazenamento. Conforme apontado, há uma perspectiva para que unidades de GD correspondam a cerca de 10% do mercado de energia logo em 2030, envolvendo todos os segmentos de consumo (industrial, comercial e residencial). Sob a perspectiva do grupo temático Distribuição de Energia Elétrica, a conexão de unidades de GD e armazenamento certamente é benéfica por possibilitar o aproveitamento de fontes energéticas renováveis e por aproximar a geração à carga (reduzindo as perdas com a distribuição de energia). No entanto alterações na direcionalidade dos fluxos de potência nas redes de distribuição podem ser provocados, causando efeitos indesejados no atendimento aos padrões de nível de tensão de atendimento e na eliminação de defeitos.



A perspectiva de aumento de utilização de veículos elétricos também contribui para uma maior dificuldade na operação de redes de distribuição de energia, uma vez que detém potencial de impactar significativamente a demanda por energia durante os períodos de pico do sistema.

Investimentos em automação da rede constituem uma alternativa para apoiar o gerenciamento do desempenho das redes de distribuição, sem a necessidade de aumento de OPEX e, certamente, contribuindo para a modicidade tarifária. A automação da rede aumenta a capacidade de supervisão dos sistemas de distribuição de energia elétrica e apoia operação em tempo real. Através da instalação de um número maior de sensores ao longo das redes de alta, média e baixa tensão, promove-se um aumento da observabilidade das redes de distribuição. O aumento da observabilidade aliado a sistemas inteligentes, com algoritmos sofisticados, permitem estimar os níveis de tensão de atendimento e os carregamentos com uma precisão maior. Assim, subsidiam-se os operadores com decisões inteligentes para atendimento a demanda com uma maior segurança e eficiência energética, seja pela redução dos tempos e frequências de defeitos, seja por meio da reconfiguração da topologia para redução de perdas, ou até mesmo para viabilizar o aproveitamento de recursos energéticos renováveis distribuídos.

Nesse contexto, apresentam-se as métricas que influenciarão a evolução da automação da rede, bem como o seu comportamento ao longo do horizonte considerado pelo projeto. São elas:

- Perdas técnicas
- Perdas comerciais
- Duração Média de Interrupção por Consumidor (DEC)
- Frequência Média de Interrupção por Consumidor (FEC)
- Gastos com o pagamento de compensações por transgressões dos limites de interrupções
- Gastos com o pagamento de compensações por transgressões dos limites de tensão de fornecimento
- Capacitação técnica de pessoal
- Laboratórios e centros técnicos para apoio à inserção de novas tecnologias
- Nacionalização de equipamentos
- Interoperabilidade de sistemas e equipamentos
- Entrada de GD e sistemas de armazenamento
- Evolução na regulamentação de limites de qualidade
- Estratégia setorial

A automação da rede pode, claramente, contribuir para a redução dos indicadores de qualidade de serviço e pagamento de compensações. Comparando com os níveis de desempenho atuais de outros países desenvolvidos, pode-se esperar uma redução expressiva no horizonte até 2050, devido ao espaço de melhora disponível atualmente. No que se refere às perdas, certamente a automação da rede contribuirá para o aprimoramento do nível de monitoração e supervisão do sistema, podendo auxiliar na localização de fraudes e roubos, bem como na reconfiguração da topologia para melhoria da perda técnica.

Para que seja possível atingir esses novos patamares de desempenho, certamente há a necessidade de investimentos na capacitação de pessoal e no desenvolvimento de equipamentos nacionais. A capacitação de pessoal permitirá que o corpo técnico das empresas de distribuição seja preparado para lidar com a mudança tecnológica imposta por um aumento no nível de automação da rede, e, conseqüentemente, na complexidade dos sistemas atrelados à rede de distribuição. Já a nacionalização de equipamentos contribuirá para a redução dos seus preços, bem como adaptação às particularidades das redes de distribuição nacional, incentivando a ampla utilização desses.

O desenvolvimento de laboratórios e centros técnicos de apoio constitui uma forma de mitigar os riscos associados com a adoção das novas tecnologias em um ambiente onde os profissionais estão sendo capacitados. Nesses ambientes, as tecnologias poderão ser testadas e protocolos de integração poderão ser desenvolvidos, de forma a contribuir para uma definição mais clara das dificuldades a serem transpostas durante os processos de integração de equipamentos e sistemas. Além disso, os investimentos em laboratórios e centros técnicos também podem auxiliar no desenvolvimento de casos de estudo e elaboração de rotinas que serão utilizadas na capacitação de pessoal.

Outra diretriz a ser seguida para contribuir para a automação da rede é o desenvolvimento de tecnologias de interoperabilidade. Apesar dos esforços atuais com a elaboração de normas e flexibilização dos equipamentos, nota-se uma preocupação com questões relacionadas à facilidade de reposição de equipamentos e redução de custos de comissionamento. Certamente, com a ampliação da automação da rede, os esforços de interoperabilidade se tornarão ainda mais necessários, devido ao aumento do número de dispositivos.

Em termos de estratégia setorial, avalia-se que a automação da rede pode ser impactada diretamente por questões regulatórias. Por exemplo, por meio da instalação de equipamentos telecomandados ou automatizados, pode-se contornar os limites tecnológicos da infraestrutura de rede e atender padrões de desempenhos fixados pela Aneel. Certamente, os investimentos



em automação de rede são dependentes das condições financeiras das empresas e da regulação tarifária, sendo necessário reduzir riscos de investimento e viabilizar a adoção de tecnologias modernas, que podem contribuir para uma redução dos custos operacionais.

É importante ressaltar que as questões de ordem política, governança e incentivos podem influenciar significativamente de forma indireta. Seja por meio da necessidade de uma maior rapidez no atendimento a contingências, seja pela pressão para aprimoramento das atividades operacionais e consequente redução nos custos do serviço de distribuição, a automação de rede certamente é uma das alternativas a serem consideradas para se atingir tais objetivos. Logo incentivos financeiros, seja por meio de linhas de investimentos, seja por meio do reconhecimento de investimentos específicos, podem contribuir para a redução de riscos das empresas nos investimentos de novos sistemas, equipamentos e capacitação de pessoal, proporcionando uma mudança de paradigma operacional das empresas e atendendo as pressões da sociedade, muitas vezes refletidas por meio de um maior rigor nos padrões técnicos de atendimento e que têm impacto direto na cadeia produtiva.

Também dada a condição em que a realidade nacional se encontra, frente àquela verificada em países desenvolvidos, pode-se notar que há um grande espaço para contribuições nacionais em termos de produção científica, seja por meio de artigos em congressos nacionais e internacionais, seja por meio de produção de patentes nacionais e internacionais. Como, nos países desenvolvidos, os níveis de automação da rede são relativamente altos, se comparados com os níveis nacionais, a produção científica deve permanecer estável, de modo atender às necessidades em andamento. Já no Brasil, como há a oportunidade de um momento de crescimento nos níveis de automação da rede, as chances de um aumento de contribuições também é maior. A possível mudança de paradigma, proporcionada pela disseminação da automação de rede, também permitirá que o Brasil seja inserido em redes colaborativas de desenvolvimento das tecnologias envolvidas, por meio de contribuições que irão refletir as particularidades dos problemas nacionais, portanto serão inovadoras.

3.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

3.3.1 Temática desenvolvimento de hardware

Nesta temática, foram abordados aspectos relativos ao desenvolvimento de equipamentos que atuam como elementos iniciais de controle (sensores) e equipamentos que atuam como elementos finais de controle (atuadores) de forma geral. Tais equipamentos são responsáveis por interagir diretamente nas redes de distribuição de energia elétrica, permitindo a obtenção de informações que subsidiem cálculos e algoritmos de controle, e, conseqüentemente, reflitam na própria rede os resultados dos cálculos e algoritmos por meio de modificações das configurações dos equipamentos.

No contexto da automação das redes, foram destacadas quatro rotas tecnológicas relacionadas com a temática de desenvolvimento de hardware, conforme ilustrado na Figura 18 - Temática de desenvolvimento de hardware¹⁸. As rotas foram assim categorizadas devido à sua relevância para as redes de distribuição de energia elétrica, a qual levou em consideração, predominantemente, a perspectiva de contribuição que tais equipamentos podem proporcionar para a melhoria do desempenho técnico ao longo do horizonte de análise.

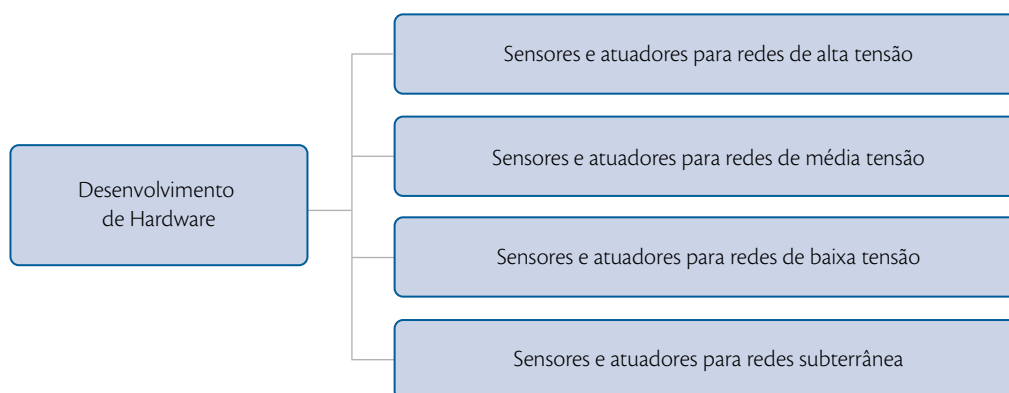


Figura 18 - Temática de desenvolvimento de hardware

Fonte: Elaboração própria.



Destaca-se que os sensores e atuadores dessa rota também podem exercer suas funções localmente, como já o fazem em muitos casos no contexto atual. No entanto ainda cabem espaços para sofisticação de atuação local de equipamentos de manutenção, tornando-os mais eficientes e com contribuições mais eficazes para a melhoria do desempenho técnico das redes de distribuição. Mesmo assim, espera-se que a melhoria de desempenho ainda seja mais expressiva por meio de metodologias e algoritmos executados de forma centralizada.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução do desenvolvimento tecnológico das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 10 ao Gráfico 13 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para rede subterrânea¹³. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Sensores e atuadores para redes de alta tensão

Em termos de equipamentos de AT, o nível de desenvolvimento tecnológico já é significativo, o que implica a evolução mais rápida apresentada no Gráfico 10. O entrave está na aplicação da tecnologia nas redes de AT das empresas de distribuição. Por normalmente terem configurações mais simples do que aquelas encontradas no Sistema Interligado Nacional, o potencial das tecnologias disponíveis não é aplicado. Um entrave significativo nesse caso é a capacitação do corpo técnico das distribuidoras, que ainda não está acostumado com questões técnicas complexas relacionadas com a adoção de tais tecnologias. Nesse sentido, a PD&I deve incentivar ações que minimizem essas dificuldades, por meio de projetos com aplicações pilotos, envolvendo a determinação de guias para orientação na realização de novos projetos e estruturação de cursos de especialização.

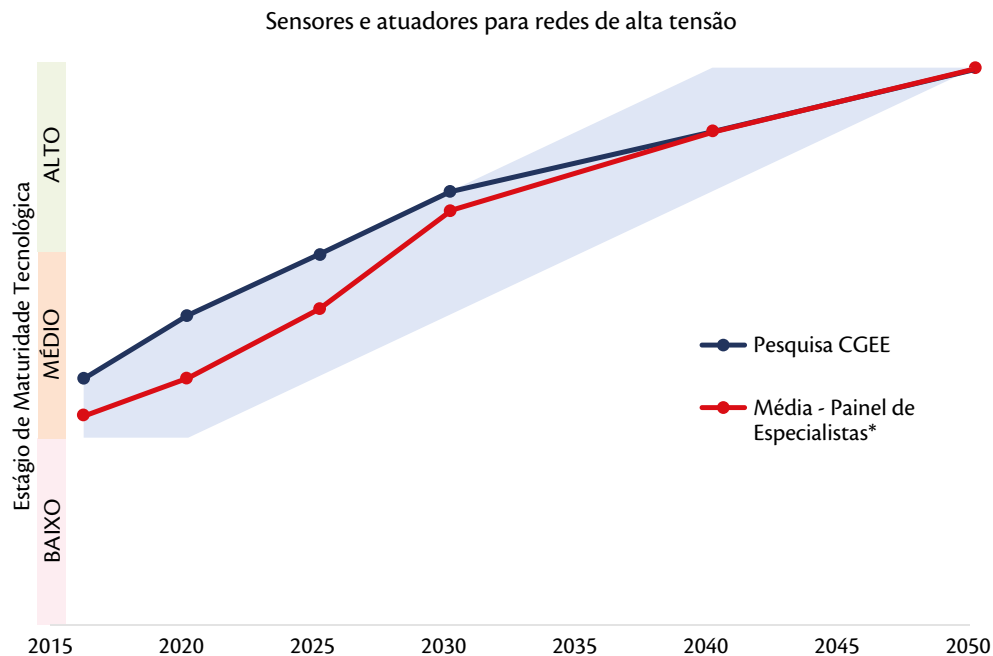


Gráfico 10 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para redes de alta tensão

Fonte: Elaboração própria.

Rota 2 - Sensores e atuadores para redes de média tensão

Já no caso dos equipamentos de MT, o nível tecnológico aplicado nas redes é considerado baixo. Há poucos equipamentos disponíveis na rede primária de distribuição, justamente pela dificuldade do reconhecimento dos investimentos necessários. A tecnologia disponível, a princípio, é direcionada para o nível de AT. Logo muitas das funcionalidades disponibilizadas e que encarecem os equipamentos não são relevantes para o nível de MT, devido à simplicidade das configurações topológicas das redes. Nesse sentido, a PD&I deve trabalhar a possibilidade de incentivar projetos para o desenvolvimento de equipamentos nacionais mais simples e, conseqüentemente, mais baratos. O órgão regulador também deve buscar uma readequação regulatória, visando a incentivar investimentos em novos padrões de infraestrutura, que vão além da simples possibilidade de conexão dos clientes. Os novos padrões devem ter um nível tecnológico agregado que contribua para melhoria da qualidade de fornecimento, disponibilizando os níveis demandados pela sociedade, e também contribua para a



redução de perdas, aumentando a receita das empresas e, conseqüentemente, reduzindo os custos de atendimento.

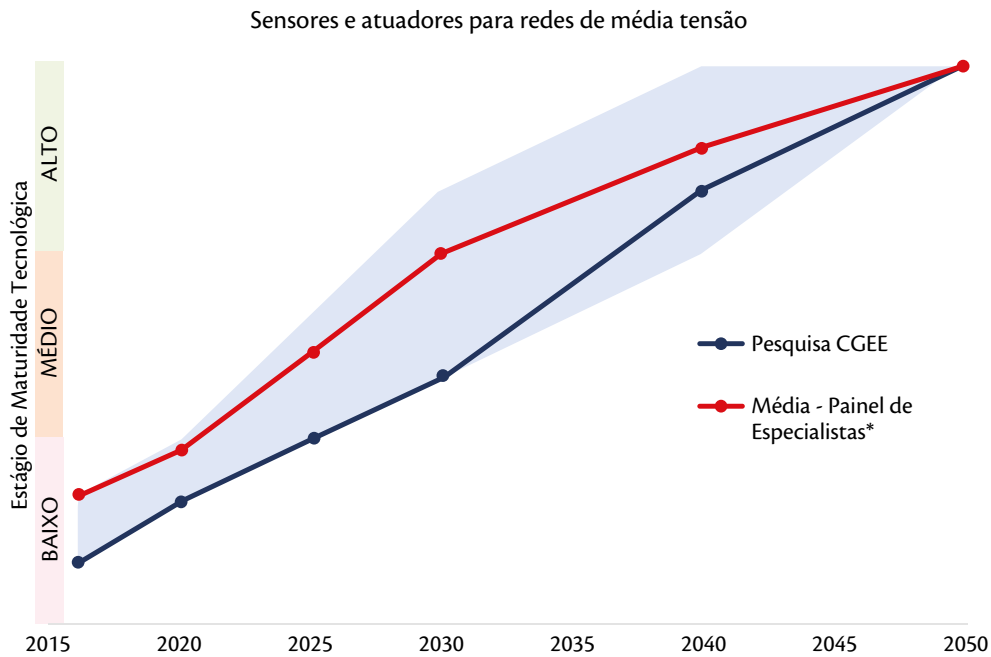


Gráfico 11 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para redes de média tensão

Fonte: Elaboração própria.

Rota 3 - Sensores e atuadores para redes de baixa tensão

Com relação aos equipamentos de BT, os incentivos a PD&I devem ser orientados a aspectos relacionados com telemedição, telecomando e concentração de informações sobre o fornecimento de energia aos consumidores. Nesse sentido, projetos como transformadores inteligentes e medidores inteligentes se destacam por agregarem valores indiretos, como a redução de custos operacionais em ações de leitura e corte/religa, além de auxiliarem no controle da qualidade de energia disponibilizada para os consumidores. A definição clara e rápida de normas e guias orientadores sobre os requisitos mínimos que tais equipamentos devam dispor torna-se um aspecto importante para permitir a nacionalização de tais tecnologias.

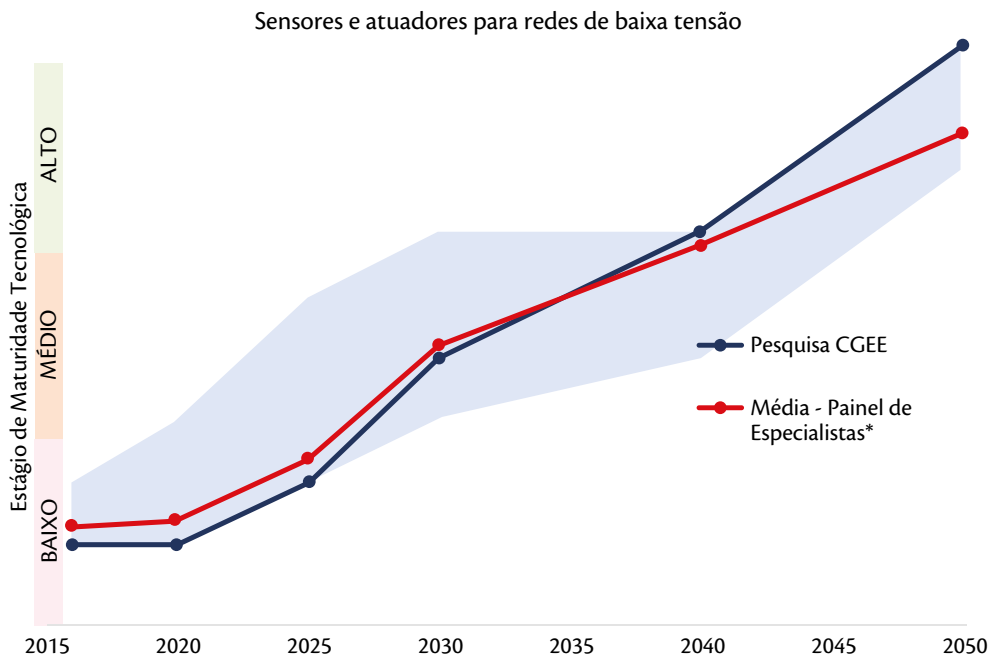


Gráfico 12 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para redes de baixa tensão

Fonte: Elaboração própria.

Rota 4 - Sensores e atuadores para redes subterrâneas

Por fim, com relação aos equipamentos relacionados com as redes subterrâneas, a PD&I deve ser incentivada numa proporção inferior. Como se trata de uma parcela pequena da infraestrutura de rede atualmente disponível, os incentivos no desenvolvimento de novos equipamentos devem ser compatíveis com a perspectiva de enterramento da rede. Nesse sentido, a PD&I deve contribuir para a nacionalização da tecnologia, de modo a facilitar a aplicação das tecnologias envolvidas, devido ao aumento de opções disponíveis e existência de corpo técnico capacitado para dar suporte na realização de novos projetos.

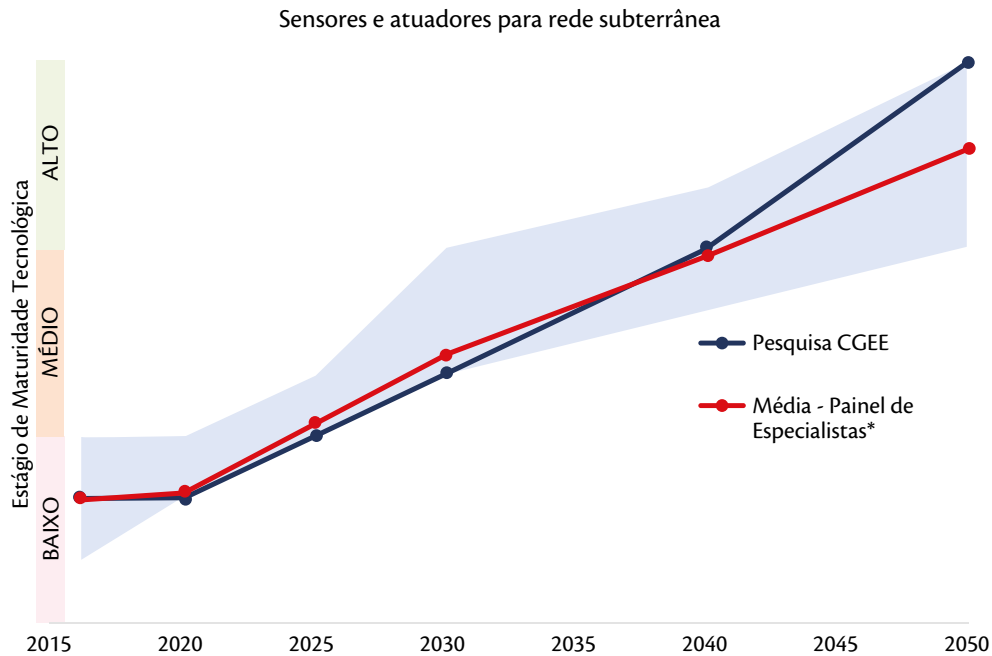


Gráfico 13 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para rede subterrânea

Fonte: Elaboração própria.

Observando-se os gráficos acima, é possível notar que as rotas sensores e atuadores para equipamentos para redes de BT e sensores e atuadores para equipamentos de rede subterrânea apresentam níveis de evolução de desenvolvimento inferiores àqueles observados nas rotas sensores e atuadores para equipamentos para redes de MT e sensores e atuadores para equipamentos para redes de AT. Esse comportamento deve-se à priorização entre as rotas. Como as rotas relacionadas à AT e MT têm uma perspectiva maior de proporcionarem retornos significativos em termos de melhoria dos indicadores técnicos, por estarem relacionadas com montantes de energia e comprimentos de rede mais significativos, é razoável que essas rotas tenham uma evolução mais expressiva que àquelas relacionadas com BT e redes subterrâneas.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados na tabela a seguir os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de desenvolvimento tecnológico das rotas.

Tabela 7 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas

da temática desenvolvimento de hardware

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Desenvolvimento de Hardware	Sensores e atuadores para redes de alta tensão	Fatores portadores de futuro	<p>Capacitação técnica de pessoal, em termos de conceitos de automação e integração de sistemas (reformulação de currículo e cursos técnicos); desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação podem ser incentivados; limites de qualidade mais rígidos como estímulo; realização de estudos para a definição de padrões visando interoperabilidade; definições claras de requisitos de desempenho</p>			<p>Definição de funcionalidades dos equipamentos com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; confecção de normas técnicas específicas; identificação da mudança de padrões de rede, agora equipada com uma maior quantidade de dispositivos de monitoração, supervisão e telecomando</p>		<p>Padronização e certificação dos equipamentos, com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; incentivo a redes mais robustas, considerando padrões malhados, de modo a proporcionar maior segurança ao fornecimento de energia</p>	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			
	Sensores e atuadores para redes de média tensão	Fatores portadores de futuro	<p>Capacitação técnica de pessoal, em termos de conceitos de automação e integração de sistemas (reformulação de currículo e cursos técnicos); desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação podem ser incentivados; limites de qualidade mais rígidos como estímulo; realização de estudos para a definição de padrões visando interoperabilidade; definições claras de requisitos de desempenho</p>			<p>Definição de funcionalidades dos equipamentos com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; maior entrada de GD, exigindo equipamentos de baixo custo que viabilizem monitoramento de fluxo de energia; confecção de normas técnicas específicas; maior perspectiva de automação da rede, com redução do custo de investimento; identificação da mudança de padrões de rede, agora equipada com uma maior quantidade de dispositivos de monitoração, supervisão e telecomando</p>		<p>Padronização e certificação dos equipamentos, com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; alta penetração de GD, exigindo equipamentos com funções complementares, que permitam o gerenciamento e a atuação remota para o controle de despacho</p>	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			



Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Desenvolvimento de Hardware	Sensores e atuadores para equipamentos para redes de baixa tensão	Fatores portadores de futuro	Capacitação técnica de pessoal, em termos de conceitos de automação e integração de sistemas (reformulação de currículo e cursos técnicos); desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação podem ser incentivados; limites de qualidade mais rígidos como estímulo; realização de estudos para a definição de padrões visando interoperabilidade; definições claras de requisitos de desempenho; estudos para avaliação de possíveis impactos advindos de tarifação dinâmica e desenvolvimento de funcionalidades ligadas à resposta à demanda		Definição de funcionalidades dos equipamentos com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; maior entrada de GD, exigindo equipamentos de baixo custo que viabilizem monitoramento de fluxo de energia; confecção de normas técnicas específicas; identificação da mudança de padrões de rede, agora equipada com uma maior quantidade de dispositivos de monitoração, supervisão e telecomando		Padronização e certificação dos equipamentos, com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; inserção de funcionalidades de supervisão e controle nos transformadores MT/BT; agregação de funcionalidades de corte-religa e supervisão da qualidade de energia nos medidores inteligentes; alta penetração de GD, exigindo equipamentos com funções complementares, que permitam o gerenciamento e a atuação remota para o controle de despacho
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		
	Sensores e atuadores para rede subterrânea	Fatores portadores de futuro	Capacitação técnica de pessoal, em termos de conceitos de automação e integração de sistemas (reformulação de currículo e cursos técnicos); desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação e comunicação podem ser incentivados; limites de qualidade mais rígidos como estímulo; realização de estudos para a definição de padrões visando interoperabilidade; definições claras de requisitos de desempenho		Definição de funcionalidades dos equipamentos com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; maior entrada de GD, exigindo equipamentos de baixo custo que viabilizem monitoramento de fluxo de energia; confecção de normas técnicas específicas; maior perspectiva de automação da rede, com redução do custo de investimento; identificação da mudança de padrões de rede, agora equipada com uma maior quantidade de dispositivos de monitoração, supervisão e telecomando		Esgotamento do limite tecnológico das redes aéreas MT; incentivo significativo à expansão da rede subterrânea; reconhecimento do investimento em rede subterrânea como alternativa prudente para expansão do sistema; padronização e certificação dos equipamentos, com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; alta penetração de GD, exigindo equipamentos com funções complementares, que permitam o gerenciamento e a atuação remota para o controle de despacho
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2 Temática desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes

Na temática em questão, foram abordados aspectos relativos ao desenvolvimento de metodologias e algoritmos capazes de auxiliar nos processos relativos ao planejamento e operação das redes de distribuição de energia elétrica. As metodologias e algoritmos podem ser materializados em sistemas de gerenciamento, tipicamente presentes em centros de operação de empresas de distribuição ou em *softwares* utilizados durante as atividades de planejamento técnico da expansão e da manutenção das redes de distribuição de energia elétrica.

No contexto da automação das redes, foram destacadas seis rotas tecnológicas relacionadas com a temática de desenvolvimento de *softwares* para funcionalidades inteligentes, divididas em agrupamentos conforme ilustrado na Figura 19 - Temática de desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes¹⁹. Essas rotas foram categorizadas dessa forma, uma vez que cada uma está relacionada com as particularidades de um processo típico presente nas empresas de distribuição de energia elétrica ou que tem a perspectiva de vir a ser desenvolvido por essas, dada a evolução tecnológica do setor.

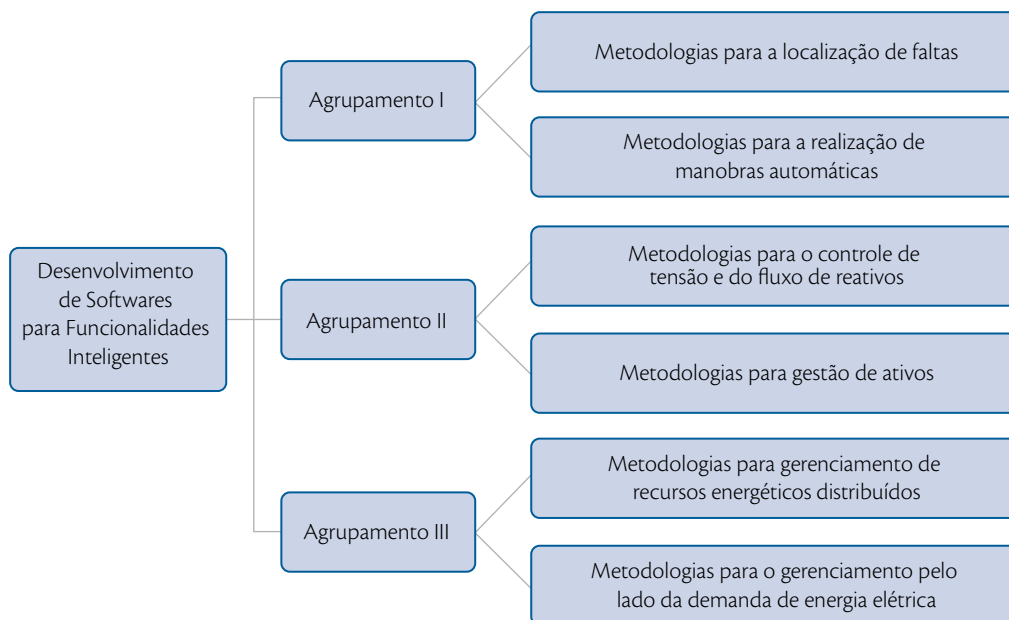


Figura 19 - Temática de desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes

Fonte: Elaboração própria.



Com relação aos níveis de perdas e indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica, atribui-se às rotas dessa temática uma parcela particular mais significativa em termos da influência que essas podem proporcionar no potencial de evolução apontado na cenarização geral. É através dessas tecnologias que há um maior potencial de aprimoramento do uso da infraestrutura de rede, justamente devido à possibilidade de definição de configurações e ações globais otimizadas.

Vale ressaltar, porém, que, em termos de aplicação das tecnologias de automação de rede, é difícil separar os potenciais, uma vez que as funcionalidades inteligentes exigem que haja um nível de telemonitoramento e telecomando já implantado, para efetivar a otimização advinda de melhorias nos processos internos das empresas de distribuição.

A fim de melhor visualização, as rotas dessa temática foram subdivididas em agrupamentos. Para cada um desses agrupamentos, apresenta-se no Gráfico 14 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para a localização de faltas¹⁴ a Gráfico 19 a seguir a evolução da maturidade tecnológica das respectivas rotas. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução do desenvolvimento tecnológico das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 14 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para a localização de faltas¹⁴ ao Gráfico 19. A fim de melhor visualização, as rotas foram subdivididas em agrupamentos, conforme afinidade. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Agrupamento de Rotas I: Rotas 5 e 6 - Metodologias para a localização de faltas e metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas

Observando-se os gráficos abaixo, é possível notar que as rotas metodologias para a localização de faltas e metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas apresentam desenvolvimento tecnológico mais acelerado que as demais dessa temática. Essa perspectiva é devida

à clara percepção atual de que a tecnologia de automação de rede pode subsidiar substancialmente na melhoria dos índices de qualidade do fornecimento de energia elétrica, seja para a redução dos tempos de localização dos defeitos, como no caso da primeira rota considerada, seja para a redução dos consumidores afetados pelos defeitos durante a realização de reparos na rede de distribuição, como no caso da segunda rota. Ainda com relação a rota metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas, pode-se observar que o potencial de desenvolvimento dessa acontece numa velocidade ligeiramente superior ao da rota metodologias para a localização de faltas, justamente pela capacidade de influenciar no desempenho de outros índices técnicos, como a questão de adequação de níveis de tensão e perda por meio da transferência de carga entre alimentadores. A principal limitação para o desenvolvimento das tecnologias em questão recai na facilidade para que as empresas distribuidoras venham adquirir e implantar tais sistemas, normalmente complexos e com riscos associados nem sempre muito claros.

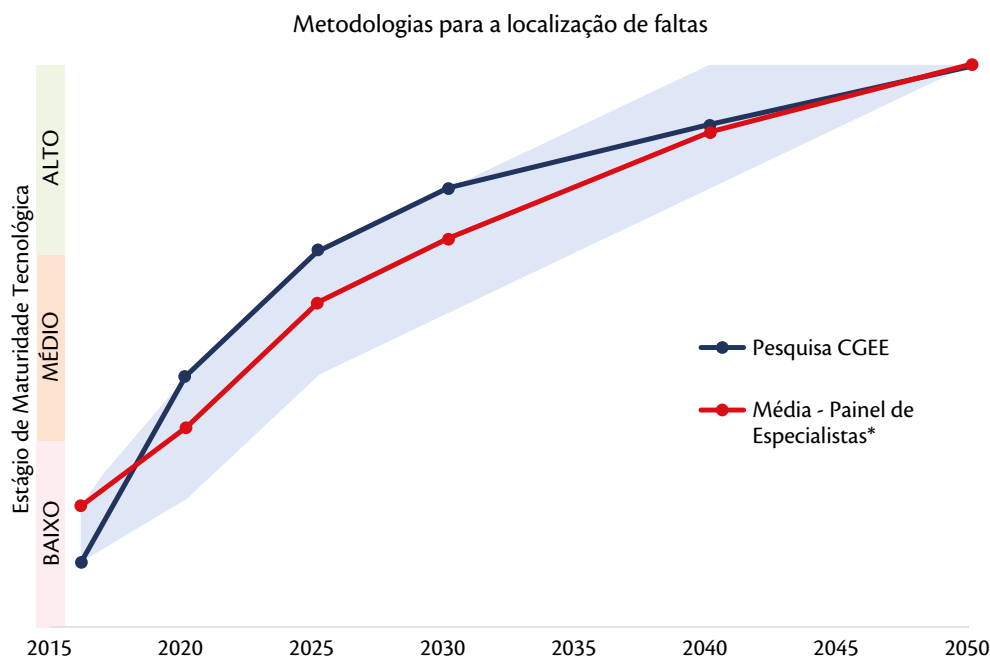


Gráfico 14 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para a localização de faltas

Fonte: Elaboração própria.

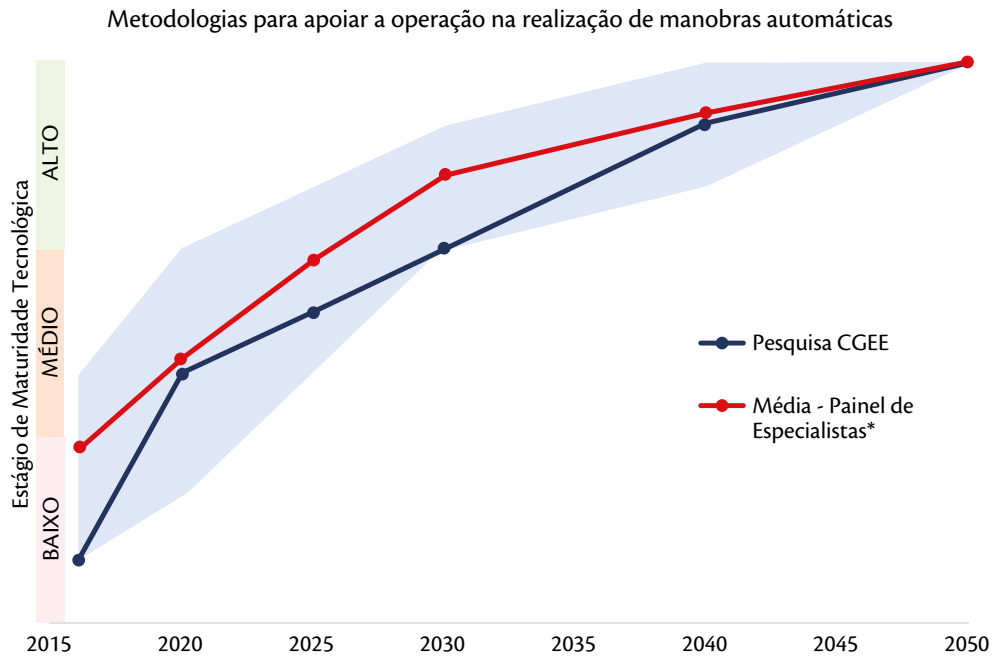


Gráfico 15 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Neste contexto, ressalta-se que, em termos setoriais, é imprescindível que haja o desenvolvimento de linhas de financiamento especiais ou incentivadas para mitigar os riscos das empresas distribuidoras na aquisição de sistemas com funcionalidades inteligentes. Atualmente, tais sistemas constituem um investimento significativo e os riscos associados nem sempre estão claros, pois, algumas vezes, podem estar associados a aspectos culturais do pessoal presente nas empresas e que são muito difíceis de serem alterados. A PD&I também pode contribuir, por meio da orientação, para a realização de estudos que avaliem a priori o impacto da adoção de novas tecnologias. Nesse sentido, laboratórios e centros de pesquisa aptos a realizarem atividades de cossimulação ganham destaque, pois podem verificar em um ambiente controlado, onde a rede elétrica é representada por meio de simuladores

e emuladores, como seria o funcionamento de novas tecnologias de forma integrada aos sistemas legados para operação e gestão já tipicamente presentes nas empresas de distribuição.

Tabela 8 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes I

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes	Metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas	Fatores portadores de futuro	Reestruturação de currículos de formação superior; desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; desenvolvimento de estudos com o intuito de definir claramente a expectativa de benefício devido inserção de níveis de automação significativos nas redes de distribuição; limites de qualidade mais rígidos como estímulo; perspectiva de melhora dos índices de qualidade do fornecimento de energia elétrica; avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação e comunicação podem ser incentivados; risco associado aos elevados níveis de investimento para equipamentos de automação; incentivos à instalação de equipamentos automáticos e telecomandados; reconhecimento dos custos envolvidos na realocação de equipamentos (banco de capacitores, reguladores de tensão) como obras para melhoria do desempenho das redes de distribuição)			Desenvolvimento de treinamentos para a operação e planejamento de redes, considerando novos algoritmos de cálculo e nova realidade advinda de sistema com alto grau de automação; desenvolvimento de ambiente controlado para a cossimulação de sistemas tipicamente empregados em empresas (SCADA, MDM, OMS, DMS, GIS, ERP, etc.); realização de estudos para permitir a integração de sistemas		Integrar a supervisão e controle de GDs nos sistemas de operação das empresas de distribuição; incentivo à adoção de sistemas centralizados de supervisão e controle com funcionalidades inteligentes para a gestão operacional da rede elétrica; avaliação regulatória de modo a permitir a formação de microrredes isoladas como alternativa para a melhoria da qualidade do serviço	
			Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO	



Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes	Metodologias para a localização de faltas	Fatores portadores de futuro	Reestruturação de currículos de formação superior; desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; desenvolvimento de estudos com o intuito de definir claramente a expectativa de benefício devido inserção de níveis de automação significativos nas redes de distribuição; limites de qualidade mais rígidos como estímulo; perspectiva de melhora dos índices de qualidade do fornecimento de energia elétrica; avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação e comunicação podem ser incentivados; risco associado aos elevados níveis de investimento para equipamentos de automação			Desenvolvimento de treinamentos para a operação e planejamento de redes, considerando novos algoritmos de cálculo e nova realidade advinda de sistema com alto grau de automação; incentivo regulatório para a instalação e integração de equipamentos de monitoração instalados ao longo da rede como alternativa para apoiar metodologias de localização de faltas; desenvolvimento de ambiente controlado para a cossimulação de sistemas tipicamente empregados em empresas (SCADA, MDM, OMS, DMS, GIS, ERP, etc.); realização de estudos para permitir a integração de sistemas			Integrar a supervisão e controle de GDs nos sistemas de operação das empresas de distribuição; incentivo à adoção de sistemas centralizados de supervisão e controle com funcionalidades inteligentes para a gestão operacional da rede elétrica		
			Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO					

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento de Rotas II: Rotas 7 e 8 - Metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos e metodologias para a gestão de ativos

Com relação às rotas metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos e metodologias para a gestão de ativos, a evolução da maturidade é apresentada no Gráfico 16 - Evolução do desenvolvimento da rota de metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos¹⁶ e Gráfico 17 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para gestão de ativos¹⁷. No caso da rota metodologias para a gestão de ativos, os principais fatores limitantes estão na ausência de metodologias que permitam a sistematização de análise de necessidade de manutenção com base na avaliação da degradação mais precisa dos ativos (metodologias de manutenção preditiva). Nesse sentido, a PD&I de novos algoritmos e metodologias, principalmente envolvendo a realização de ensaios de envelhecimento, torna-se uma alternativa para contornar tal limitação. Já no caso da rota metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos, observa-se que essa não é prioritária nas ações das empresas de distribuição, uma vez que não infligem em problemas significativos atualmente. Normalmente, os problemas são considerados de ordem local e temporários, uma vez que tendem a ser solucionados com obras de expansão da rede de distribuição. Obviamente, as recentes alterações

nos procedimentos de distribuição, obrigando a monitoração constante de todos os consumidores, pode ser o principal incentivador a evolução de desenvolvimento, juntamente com a capacidade de redução de perdas por controle do fluxo de reativos. Um dos principais fatores limitantes para essa rota foi justamente a desobrigação regulatória dos consumidores de baixa tensão na manutenção de índices elevados de fator de potência.

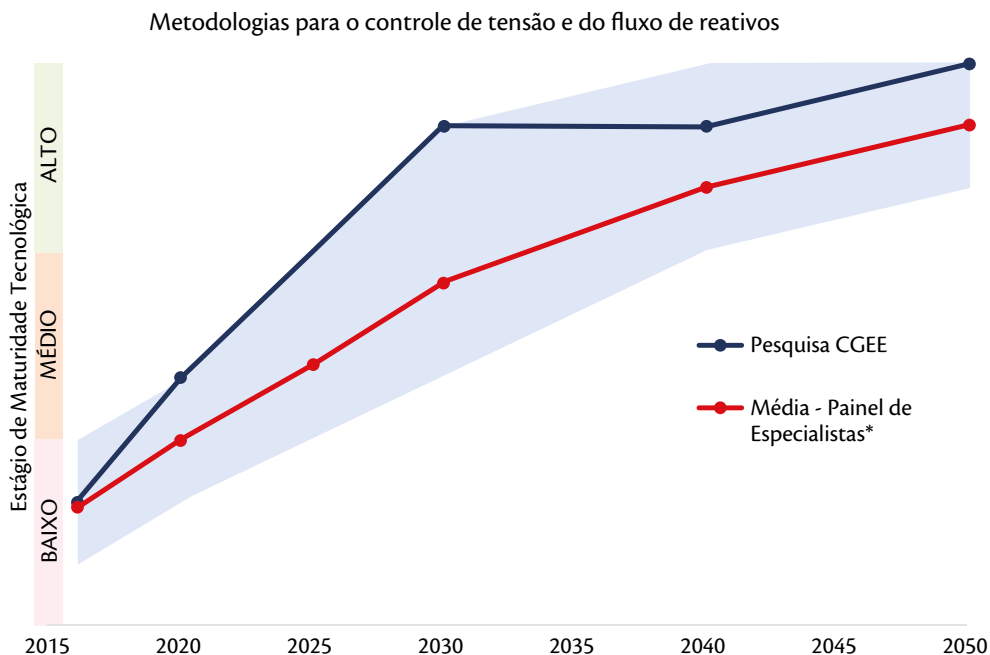


Gráfico 16 - Evolução do desenvolvimento da rota de metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos

Fonte: Elaboração própria.

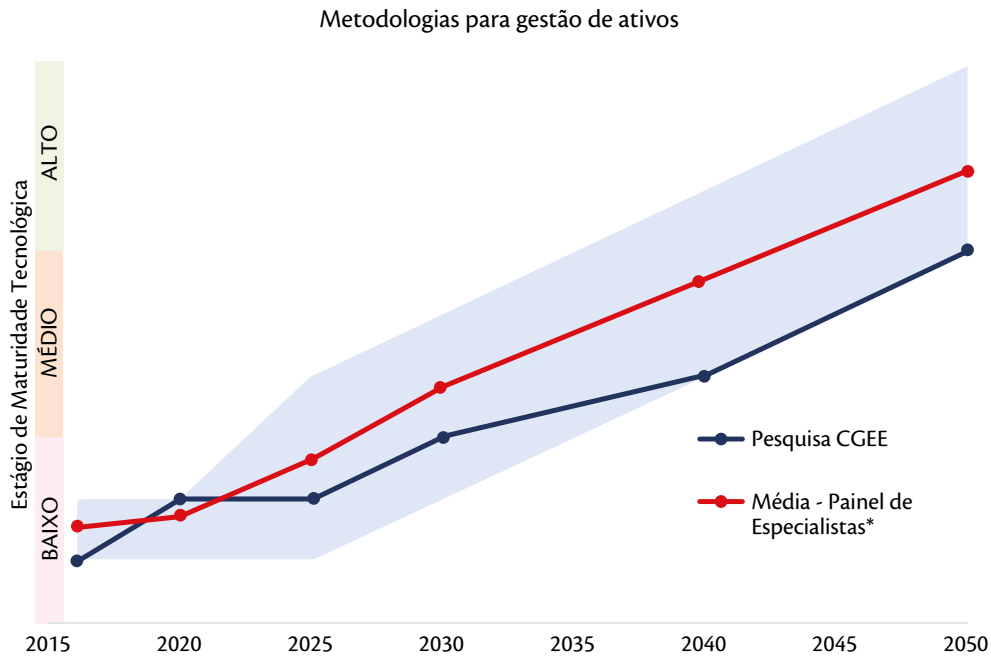


Gráfico 17 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para gestão de ativos

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 9 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes II

Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes	Metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos	Fatores portadores de futuro	Reestruturação de currículos de formação superior; desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; perspectiva de melhora dos índices de qualidade do fornecimento de energia elétrica; regulação envolvendo a monitoração contínua por parte dos medidores inteligentes dos níveis de tensão em regime permanente de todas as unidades consumidoras; incentivos à instalação de equipamentos automáticos e telecomandados; reconhecimento dos custos envolvidos na realocação de equipamentos (banco de capacitores, reguladores de tensão) como obras para melhoria do desempenho das redes de distribuição; risco associado aos elevados níveis de investimento para equipamentos de automação			Desobrigação regulatória dos consumidores de baixa tensão na manutenção de índices elevados de fator de potência; desenvolvimento de treinamentos para a operação e planejamento de redes, considerando novos algoritmos de cálculo e nova realidade advinda de sistema com alto grau de automação; desenvolvimento de ambiente controlado para a cossimulação de sistemas tipicamente empregados em empresas (SCADA, MDM, OMS, DMS, GIS, ERP, etc.); desenvolvimento de estudos com o intuito de definir claramente a expectativa de benefício devido inserção de níveis de automação significativos nas redes de distribuição; realização de estudos para permitir a integração de sistemas			Integrar a supervisão e controle de GDs nos sistemas de operação das empresas de distribuição; necessidade de alterações nos procedimentos de rede; incentivo à utilização do transformador MT/BT como equipamento para controle de tensão e reativos; incentivo à utilização de FACTS; incentivo à utilização de GD como alternativa para auxiliar no controle de tensão e reativos; necessidade de sistemas centralizados de supervisão e controle com funcionalidades inteligentes para a gestão de tensão e reativos, isolamento e reconfiguração automática, resposta a demanda, etc.		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO				
	Metodologias para gestão de ativos	Fatores portadores de futuro	Reestruturação de currículos de formação superior; desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; perspectiva de melhora dos índices de qualidade do fornecimento de energia elétrica; desenvolvimento de estudos com o intuito de definir claramente a expectativa de benefício devido inserção de níveis de automação significativos nas redes de distribuição; reconhecimentos dos investimentos em infraestrutura de apoio ao combate a perdas não técnicas; risco associado aos elevados níveis de investimento para equipamentos de automação; incentivo à utilização de equipamentos para monitoração de temperatura, umidade, formação de gases, etc.			Desenvolvimento necessário de metodologias que permitam a sistematização de análise de necessidade de manutenção com base na avaliação da degradação mais precisa dos ativos (metodologias de manutenção preditiva); desenvolvimento de treinamentos para a operação e planejamento de redes, considerando novos algoritmos de cálculo e nova realidade advinda de sistema com alto grau de automação; desenvolvimento de ambiente controlado para a cossimulação de sistemas tipicamente empregados em empresas (SCADA, MDM, OMS, DMS, GIS, ERP, etc.); Realização de estudos para permitir a integração de sistemas			Incentivo à utilização do transformador MT/BT como equipamento para controle de tensão e reativos; integração de metodologias de manutenção preditiva com funcionalidades de manobras automáticas, controle de tensão e reativos e localização de faltas, como alternativa para prolongar vida útil dos equipamentos; necessidade de sistemas centralizados de supervisão e controle com funcionalidades inteligentes para a gestão de tensão e reativos, isolamento e reconfiguração automática, resposta a demanda, etc.		
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO					

Fonte: Elaboração própria.



Agrupamento de Rotas III: Rotas 9 e 10 - Metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos e metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica

Com relação às rotas metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos e metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica, pode-se observar uma evolução de maturidade um pouco mais lenta que as demais, conforme visualizado no Gráfico 18 e Gráfico 19. No caso da rota metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos, as empresas distribuidoras já demonstraram preocupação com essa questão, abordando isso em diversos projetos de PD&I. Hoje, critérios para a conexão estão mais claros e tem se observado, de fato, um aumento expressivo nos pedidos de conexão de unidade de GD. No entanto ainda há uma falta de sinalização clara sobre questões que possam incentivar ainda mais a penetração de unidades de GD, como a obrigatoriedade de existência de acordos operativos (por mais simples que esses possam ser) e a formação de microrredes temporárias, para mitigação de contingências. Nesse sentido, a PD&I torna-se relevante como ferramenta para a realização de muitos mais estudos, os quais orientam de forma mais clara a sinalização regulatória e, assim, contribuem o desenvolvimento da maturidade tecnológica dessa rota. De forma similar, a rota metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica precisam de estudos que possam ser realizados por meio da PD&I, que possam orientar para uma sinalização regulatória mais evidente. Nesse caso, os principais limitantes recaem na formação de acordos operativos entre os consumidores e as empresas de distribuição, que viabilizem a gestão da demanda, bem como a adoção de uma tarifação mais dinâmica, que contribuiria para sinalizar os períodos de pico do sistema e incentivaria o deslocamento da demanda para horários fora da ponta. Obviamente, devem existir esforços paralelos que contribuam para a evolução do desenvolvimento dessa rota, como a definição clara dos requisitos e funcionalidade dos padrões e equipamentos para medição.

Metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos

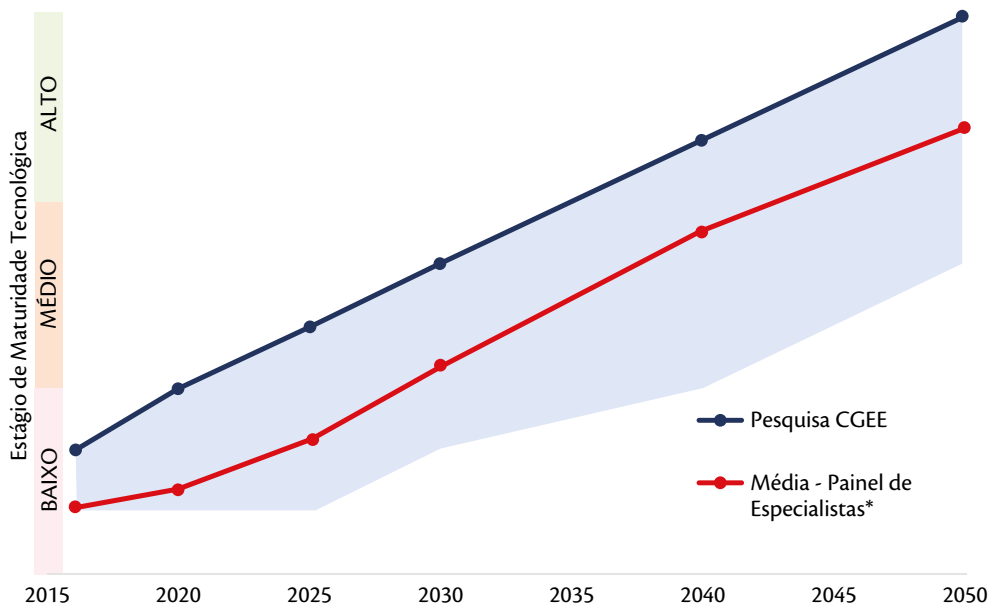


Gráfico 18 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos

Fonte: Elaboração própria.

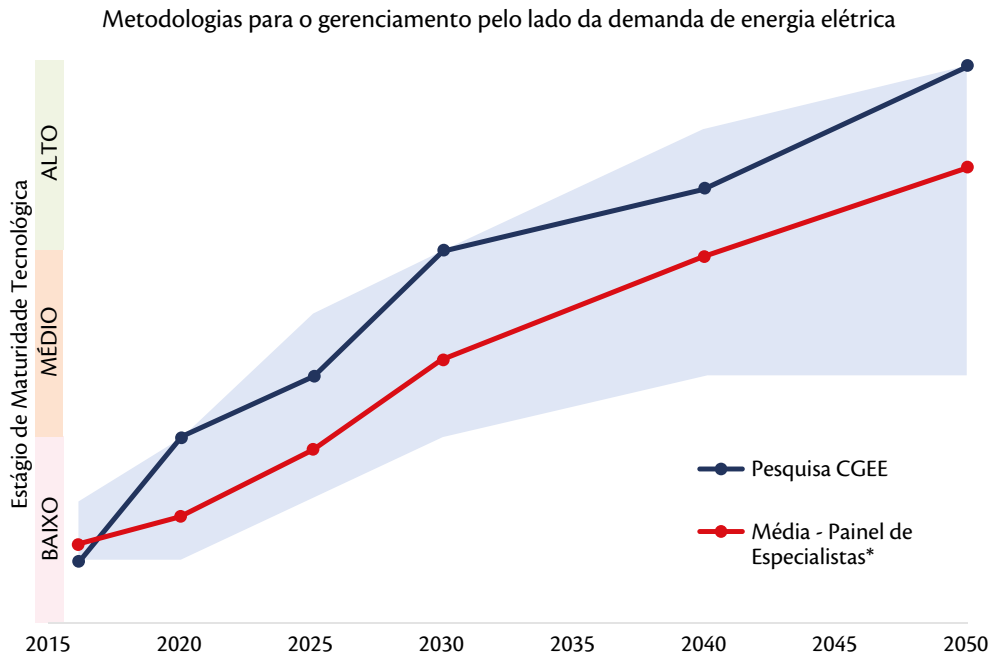


Gráfico 19 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de desenvolvimento tecnológico das rotas.

Tabela 10- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes III

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes	Metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos	Fatores portadores de futuro	<p>Reestruturação de currículos de formação superior; desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; perspectiva de melhora dos índices de qualidade do fornecimento de energia elétrica; incentivos à instalação de equipamentos automáticos e telecomandados; desenvolvimento regulatório de modo a permitir a realização de contratos para a definição de limites operacionais; risco associado aos elevados níveis de investimento para equipamentos de automação; desenvolvimento de estudos com o intuito de definir claramente a expectativa de benefício devido inserção de níveis de automação significativos nas redes de distribuição; desenvolvimento de regulação para reconhecimento de serviços ancilares remunerados</p>				
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		
	Metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica	Fatores portadores de futuro	<p>Reestruturação de currículos de formação superior; desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; perspectiva de melhora dos índices de qualidade do fornecimento de energia elétrica; incentivos à instalação de equipamentos automáticos e telecomandados; avaliação regulatória de modo a permitir a realização de contratos para gerenciamento de carga; risco associado aos elevados níveis de investimento para equipamentos de automação; desenvolvimento de estudos com o intuito de definir claramente a expectativa de benefício devido inserção de níveis de automação significativos nas redes de distribuição</p>				
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



3.3.3 Temática integração de sistemas e componentes

Na temática, foram abordados aspectos relativos à integração de sistemas e componentes. No contexto da automação das redes, foram destacadas duas rotas tecnológicas relacionadas com a temática de integração de sistemas e componentes, conforme ilustrado na Figura 20 - Temática de integração de sistemas e componentes²⁰. Essas rotas foram categorizadas dessa forma, pois estão relacionadas com o desenvolvimento, avaliação e viabilização dos aspectos abordados pelas temáticas apresentadas anteriormente.

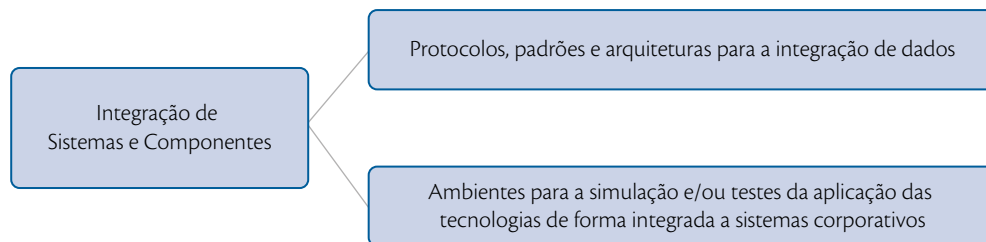


Figura 20 - Temática de integração de sistemas e componentes

Fonte: Elaboração própria.

É importante destacar que os aspectos relacionados à temática em questão não são diretamente vinculados às atividades finais do setor de distribuição. A integração de sistemas e equipamentos atua justamente como uma ponte para viabilizar as otimizações oriundas de sistemas inteligentes, com novas metodologias de apoio à gestão das redes elétricas e algoritmos mais precisos e rápidos para o auxílio da operação do sistema. No entanto o desenvolvimento de atividades de integração é crucial, uma vez que os problemas oriundos dessas inviabilizam toda a cadeia de automação de redes. Nesse sentido, atribui-se uma parcela responsável pelo aprimoramento do desempenho técnico frente a indicadores relacionados com perdas e qualidade de fornecimento de energia elétrica.

Destaca-se, ainda, que, no que tange à integração de unidades de GD, certamente a integração de sistemas de apoio à operação das concessionárias de distribuição de energia com as unidades dispersas na rede pode ser um ponto decisivo na viabilização de tais tecnologias. Para isso, há a necessidade de uma evolução nos padrões e protocolos que podem ser utilizados. Certamente, a PD&I pode contribuir para a definição de regulamentações claras, por meio de incentivos a estudos de impactos realizados em projetos que determinem novas formas de avaliação do comportamento dos sistemas.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução do desenvolvimento tecnológico das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 20 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados²⁰ e no Gráfico 21 - Evolução da maturidade tecnológica da rota Ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 9 - Protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados

No caso da rota protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados o principal fator limitante é o baixo incentivo da PD&I para realização de projetos que investiguem os aspectos relacionados com essa de forma integrada aos sistemas corporativos. Certamente, os órgãos reguladores assim como as associações de instituições devem incentivar a participação efetiva do Brasil em grupos internacionais de discussão de normas e padrões, de modo a incutir a importância da integração de sistemas como meio para viabilizar uma otimização do desempenho das redes de distribuição. De fato, há uma grande dificuldade em estruturar tais projetos, pois esses devem interagir com os sistemas legados das empresas e, nem sempre existe a possibilidade de fazê-lo. Nesse sentido, os laboratórios e centros de pesquisa podem colaborar para contornar essas dificuldades, estruturando ambientes controlados independentes, que reproduzem a realidade das empresas de distribuição.

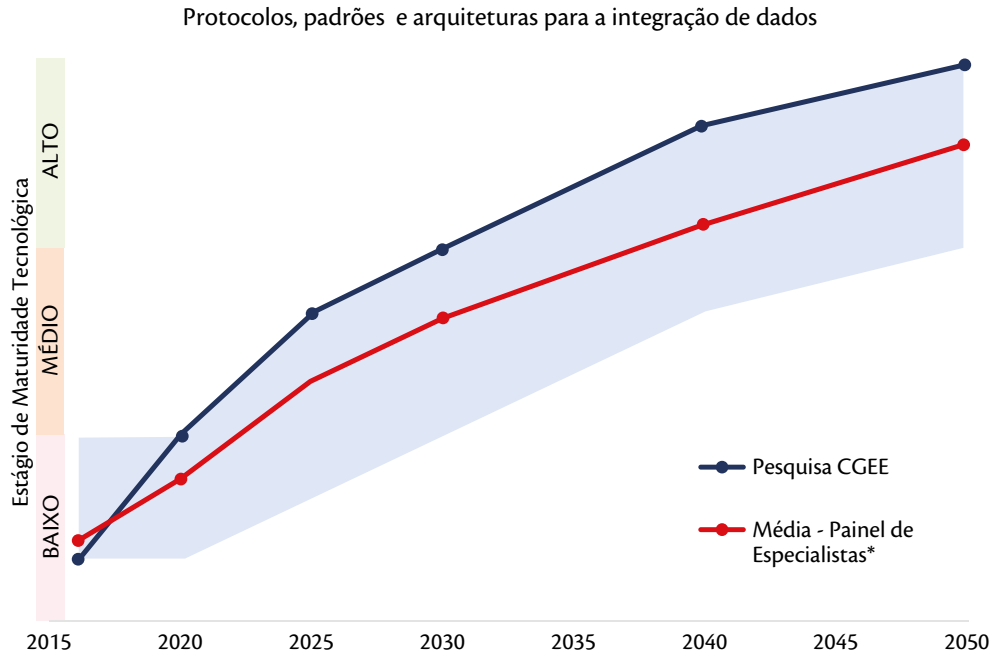


Gráfico 20 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados

Fonte: Elaboração própria.

Rota 10 - Ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos

Por apresentar as mesmas condicionantes do Gráfico 20 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados e atender às necessidades de estruturação dos projetos de integração, a evolução da maturidade tecnológica da rota ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos praticamente acompanha a evolução da rota protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados, vide Gráfico 21 - Evolução da maturidade tecnológica da rota Ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos²¹. Logo a PD&I, em aspectos relacionados à formação e adequação de laboratórios e centros de pesquisa, deve ser entendida como um fator facilitador para a evolução da integração entre sistemas, sendo comprometida com a participação em fóruns de discussão e estabelecendo novas diretrizes de formação de profissionais.

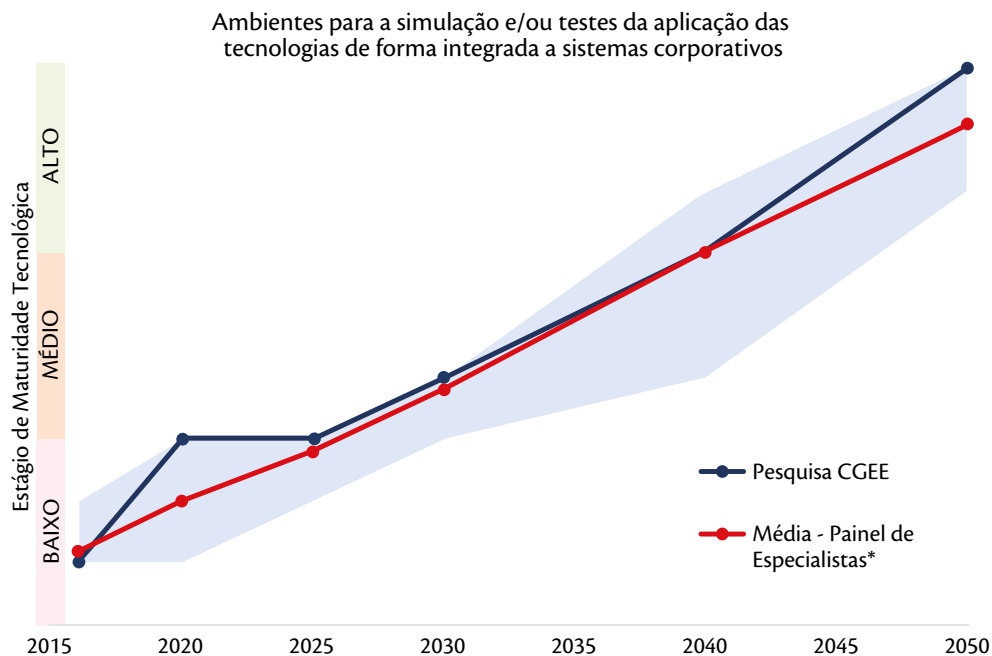


Gráfico 21 - Evolução da maturidade tecnológica da rota Ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de desenvolvimento tecnológico das rotas.



Tabela 11 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de integração de sistemas e componentes

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Integração de sistemas e componentes	Protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados	Fatores portadores de futuro	<p>Capacitação técnica de pessoal, em termos de conceitos de automação e integração de sistemas (reformulação de currículo e cursos técnicos); desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; desenvolvimento de treinamentos para aplicação de tecnologias com funcionamento em rede; avaliação regulatória de como investimento em equipamentos de automação podem ser incentivados; limites de qualidade mais rígidos como estímulo; realização de estudos para a definição de padrões visando interoperabilidade; definições claras de requisitos de desempenho; incentivo à participação do Brasil em grupos internacionais; interação de projetos com sistemas legados das empresas</p>					
			<p>Definição de funcionalidades dos equipamentos com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; confecção de normas técnicas específicas; maior perspectiva de automação da rede MT, proporcionando mudança de paradigma no funcionamento das redes de distribuição</p>					
Maturidade			BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Integração de sistemas e componentes	Ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos	Fatores portadores de futuro	Capacitação técnica de pessoal, em termos de conceitos de automação e integração de sistemas (reformulação de currículo e cursos técnicos); desenvolvimento de laboratórios e centros de pesquisa; desenvolvimento de treinamentos para aplicação de tecnologias com funcionamento em rede; realização de estudos para a definição de padrões visando interoperabilidade; integração de projetos com sistemas legados das empresas; reconhecimento dos custos envolvidos na realocação de equipamentos (banco de capacitores, reguladores de tensão) como obras para melhoria do desempenho das redes de distribuição); risco associado aos elevados níveis de investimento para equipamentos de automação			Definição de funcionalidades dos equipamentos com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; confecção de normas técnicas específicas; maior perspectiva de automação da rede MT, proporcionando mudança de paradigma no funcionamento das redes de distribuição; desenvolvimento de treinamentos para a operação e planejamento de redes, considerando novos algoritmos de cálculo e nova realidade advinda de sistema com alto grau de automação; desenvolvimento de ambiente controlado para a cossimulação de sistemas tipicamente empregados em empresas (SCADA, MDM, OMS, DMS, GIS, ERP, etc.); desenvolvimento de estudos com o intuito de definir claramente a expectativa de benefício devido inserção de níveis de automação significativos nas redes de distribuição; realização de estudos para permitir a integração de sistemas			Padronização e certificação dos equipamentos, com o suporte de laboratórios e centros de pesquisa; desenvolvimento de novas funcionalidades de supervisão e controle nos equipamentos de rede; elaboração de normas e procedimentos para a integração de equipamentos e sistemas nos processos de empresas de distribuição de energia; desenvolvimento de padrões para a telemonitoração e telecontrole de unidades de GD		
			Maturidade	BAIXO			MÉDIO			ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

3.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na Macrotemática **Automação da Rede**. Conforme explicado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foi levada em consideração a visão de futuro da Macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados nas tabelas de fatores portadores de futuro).



A priorização consistiu em ordenar, de forma crescente, as rotas de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **10**, pois são **dez** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira rodada, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 12 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática automação da rede¹².

Tabela 12 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática automação da rede

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas (self-healing, reconfiguração para gerenciamento de índices técnicos)	Software
2	Metodologias para a localização de faltas	Software
3	Sensores e atuadores para equipamentos para redes de média tensão	Hardware
4	Metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos	Software
5	Metodologias para gestão de ativos	Software
6	Protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados	Integração
7	Metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos	Software
8	Ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos	Integração
9	Sensores e atuadores para equipamentos para redes de alta tensão	Hardware
10	Metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica	Software
11	Sensores e atuadores para rede subterrânea	Hardware
12	Sensores e atuadores para equipamentos para redes de baixa tensão	Hardware

Fonte: Elaboração própria.

A partir da priorização fica evidente que a maior contribuição esperada para a automação da rede na distribuição de energia elétrica recai no apoio à operação do sistema de média tensão.

A priorização de metodologias para o apoio de manobras deve-se à capacidade de reconfiguração das redes de distribuição ainda ser pouco explorada. Tal capacidade pode contribuir significativamente para a melhoria dos níveis de desempenho do sistema, sem a necessidade de grandes alterações na infraestrutura de rede existente.

Na sequência da priorização são abordadas metodologias para a localização de faltas, as quais são apenas um pouco menos prioritárias que as anteriores. Apesar da importância similar a rota anterior, o impacto dessa nos indicadores de qualidade de serviço e no atendimento de questões de segurança são muito significativos. No entanto, para a aplicação dessa nas redes de distribuição não é tão imediata quanto a rota anterior, devido à necessidade de sensores mais sofisticados e incertezas dos efeitos, tornando-a um pouco menos atraente inicialmente.

Em seguida à priorização, ressalta-se a necessidade de PD&I no desenvolvimento de sensores e atuadores de redes de média tensão, pois esses são essenciais para viabilizar os efeitos e a ampla aplicação de metodologias de apoio a manobras e de localização de faltas. A PD&I nesta rota deve-se, substancialmente, a viabilizar uma disseminação da automação de rede nos sistemas de distribuição. Para tanto, faz-se necessária a disponibilidade de uma ampla gama de equipamentos periféricos eficientes e de baixo custo.

A priorização de metodologias para controle de tensão e reativos é inferior às anteriores por estas abordarem diretamente padrões de fornecimento que são transgredidos com menos frequência e, portanto, provocam menos preocupação para as empresas distribuidoras que as interrupções de fornecimento.

As metodologias para gestão de ativos têm importância um pouco menor que as anteriores, pois não estão relacionadas diretamente a indicadores de desempenho técnicos de desempenho das redes de distribuição. Enquanto as rotas anteriores podem contribuir diretamente para melhoria dos indicadores, mitigando os efeitos de contingências ou condições operativas anormais, as metodologias de gestão de ativos tendem a contribuir indiretamente, reduzindo os riscos de problemas no fornecimento de energia elétrica.

A PD&I envolvendo protocolos, padrões e arquiteturas de integração de dados são menos prioritários do que os anteriores justamente por abordar aspectos intermediários. Enquanto que as rotas anteriores estavam diretamente vinculadas às questões relacionadas à atividade-fim, isto é, o fornecimento de energia elétrica, a rota tecnológica que abrange protocolos, padrões e arquiteturas de integração de dados serve de apoio para que haja a correta transferência de informações entre sistemas e equipamentos, visando, justamente, viabilizar os efeitos das demais.

Apesar de abordar uma questão considerada extremamente relevante para o futuro próximo da operação e planejamento das redes de distribuição de energia elétrica, a priorização de metodologias para o gerenciamento de recursos energéticos distribuídos foi considerada menos prioritária que as rotas tecnológicas anteriores justamente por abordar uma questão que ainda não atinge o desempenho do



sistema de forma significativa. Logo a PD&I nessa área torna-se relevante, justamente como forma de preparar o serviço de distribuição de energia elétrica para quando o nível de penetração de unidades distribuídas de geração for significativamente superior ao atual.

Na sequência, a PD&I envolvendo ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos foi considerada menos prioritária do que as anteriores por não contribuir diretamente para a melhoria do desempenho das redes de distribuição de energia elétrica. A rota tecnológica, em questão, auxilia na capacitação de pessoal e no desenvolvimento de procedimentos para redução de impactos advindos da adoção de novas tecnologias e equipamentos. Logo os investimentos atribuídos a essa rota podem contribuir indiretamente para a melhoria de desempenho do serviço de distribuição, por meio da redução de custos de expansão e aprimoramento do sistema.

Em seguida à priorização, ressalta-se a necessidade de PD&I no desenvolvimento de sensores e atuadores de redes de alta tensão. O nível de prioridade para relevância deve-se à existência de redes de alta tensão no setor de distribuição de energia. Logo investimentos na PD&I de aspectos relacionados com a rota em questão podem contribuir para melhoria de desempenho, especialmente devido aos montantes de energia vinculados a esses sistemas e a robustez reduzida, em termos de flexibilidade de transferências, se comparada com a infraestrutura equivalente do setor de transmissão.

As metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica foram consideradas menos prioritárias do que as rotas tecnológicas anteriores, pois a evolução desta rota tecnológica ainda apresenta entraves consideráveis para a sua efetiva aplicação, como a possibilidade de pagamentos aos consumidores por corte de carga em horários de ponta. Nesse sentido, no caso da automação de rede, o gerenciamento pelo lado da demanda exigiria a possibilidade de tarifas dinâmicas, bem como o desenvolvimento de equipamentos para realização de corte seletivos na unidade consumidora. Apesar da importância clara desses aspectos na evolução do setor de distribuição, nota-se que esses não podem contribuir significativamente para a melhoria do desempenho do serviço de distribuição no curto prazo.

A rota tecnológica envolvendo sensores e atuadores para rede subterrânea foi considerada mesmo prioritária que as demais, justamente devido à restrita aplicação no contexto nacional atual. Como o percentual de redes de distribuição subterrâneas é muito inferior ao de redes aéreas, o desenvolvimento de PD&I envolvendo esse tópico torna-se menos relevante do que os demais. No entanto o aspecto foi lembrado como rota tecnológica justamente por se tratar de um padrão de infraestrutura que deve ser ampliado significativamente nos próximos anos.

Por fim, a PD&I envolvendo sensores e atuadores para equipamentos para a rede baixa de tensão foi considerada menos prioritária, pois os benefícios desta só seriam percebidos de forma significativa a partir da aplicação massiva das tecnologias relacionadas. As principais contribuições seriam advindas do desenvolvimento dos medidores de energia, adicionando-se funcionalidades especiais, como corte/religa remotos e alarmes de ausência de tensão, e de padrões especiais de redes de baixa tensão. Com exceção dos alarmes de ausência de tensão, que podem auxiliar na localização de faltas, os demais aspectos não estão diretamente relacionados com a automação de rede. E, mesmo assim, as abordagens preliminares envolvendo essa aplicação, em particular, estão orientadas para a instalação de sensores de falta de tensão em transformadores MT/BT.



Capítulo 4



Capítulo 4

Macrotemática Compartilhamento de Serviços no contexto das Cidades Inteligentes

Devido à natureza multidimensional das cidades inteligentes, considerar a complexidade do funcionamento integrado de todos os aspectos técnicos e sociais é fundamental para o adequado desenvolvimento desta temática. Deste modo, a divisão das tarefas em aspectos multidimensionais e funções de trabalho técnicos ajuda a manter o foco do objetivo geral e a aplicação de novas tecnologias.

Para elaboração desta temática, relatórios e estudos nacionais e internacionais relacionados a projetos de cidades inteligentes foram utilizados para fundamentação e determinação do estado da arte, conceituando o atual nível de desenvolvimento desta macrotemática, recomendações, propostas, visão de futuro, desafios encontrados e tendências de desenvolvimento tecnológico e evolução das cidades inteligentes (GSMA, 2013; IET, 2016).

Essa variedade de requisitos, envolvidos na habilitação, criação de aplicações e serviços inovadores para o vasto espectro de áreas de aplicação de cidades inteligentes, requer a fundamentação dos aspectos particulares relacionados a tecnologias, arquiteturas e infraestruturas que suportam o desenvolvimento de sistemas para Cidades Inteligentes (BILLET, 2014; QIN, 2015).

A macrotemática de compartilhamento de serviços no contexto de Cidades Inteligentes tem sido objeto de estudo em vários grupos de pesquisa no país e se mostrado uma área de interesse para municípios, institutos de pesquisa e setor privado. À vista do desenvolvimento econômico, social e novas oportunidades de negócio que a implementação deste conceito poderá gerar, levando em consideração o contexto nacional em face do mercado internacional, são desenvolvidas as temáticas de Infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes e aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes, conforme Figura 21.

Com isto, espera-se que o desenvolvimento desta macrotemática seja um instrumento para alavancar o desenvolvimento das cidades inteligentes e ao mesmo tempo promover o empreendedorismo, atrair o capital de investidores e estimular a criação de *startups*.

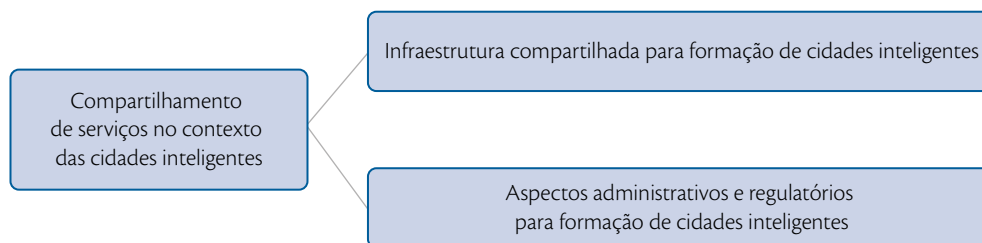


Figura 21 - Temáticas de compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes

Fonte: Elaboração própria.

4.1 Visão de futuro

4.1.1 Cenário setorial

O aumento dos índices de urbanização e crescimento do setor de serviços, associados ao compromisso com a eficiência e segurança energética e ao significativo crescimento de GD em áreas urbanas, com previsão de representação de 10% do mercado de energia até 2030, requisitará um melhor aproveitamento dos espaços e maior interação entre os serviços e os agentes. Esse cenário trará desafios técnicos, econômicos, sociais e governamentais, sendo fundamental o desenvolvimento de novas tecnologias habilitadoras, novos modelos de negócio para viabilização dos investimentos, preocupação com o impacto social e profundas discussões sobre questões regulatórias. Nesse contexto, entende-se que essa macrotemática representará um papel fundamental para o desenvolvimento do setor elétrico apresentando novas oportunidades de negócios, melhoria da eficiência operacional e energética e aumento da qualidade do produto. Ademais, o desenvolvimento dos setores não-elétricos também será beneficiado, por meio da promoção da infraestrutura necessária para a difusão dos diversos serviços através do compartilhamento de serviços no contexto de cidades inteligentes. Atualmente, encontra-se em andamento a segunda geração de projetos de cidades inteligentes, sendo a identificação de um modelo dominante, que suporte as exigências do mercado e impulse sua adoção em massa, o principal desafio desta etapa.



4.1.2 Objetivo geral

Considerando o respectivo cenário, são necessários investimentos em PD&I para a formação do ecossistema das cidades inteligentes, com segurança cibernética; buscando, assim, o desenvolvimento tecnológico necessário ao atendimento do vasto espectro de áreas de aplicação e serviços habilitados por este conceito. Nesse contexto, o foco da PD&I deve ser promover o desenvolvimento tecnológico do 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. Além disso, os investimentos em PD&I também devem ser direcionados à integração de tecnologias, sistemas e modelos de negócio compartilhados voltados a cidades inteligentes.

4.1.3 Objetivo específico

Curto prazo (2017-2020):

- arquitetura de referência para integração de tecnologia e sistemas com interoperabilidade de operação;
- middlewares para interoperabilidade entre os dispositivos e equipamentos;
- conectores para interligação dos diversos sistemas corporativos em barramentos de interoperabilidade;
- metodologias de acesso à base de dados, avaliação de riscos e impactos no negócio relacionados à segurança da informação;
- diretrizes e controles de segurança da informação para integridade, controle de acesso, confidencialidade e privacidade de sistemas;
- requisitos e especificidade de medição para os serviços prestados pelas concessionárias;
- requisitos de iluminação pública inteligente;
- algoritmo validado de perdas para conexão de consumidor livre à rede.

Médio prazo (2020-2030):

- métricas para avaliação do nível de intercâmbio de informação entre agentes;
- avaliação de alternativas para compartilhamento da infraestrutura de comunicação e dos dados coletados;
- desenvolvimento de sistemas de gestão e otimização energética embarcados a infraestrutura de medição compartilhada;
- desenvolvimento de inteligência operacional para correlação de dados e informações para a promoção de padrões de demanda e gerenciamento do consumo;
- eficiência energética através da integração dos serviços e informações coletadas pelos agentes dispersos na cidade;
- *living labs* para transporte e mobilidade urbana, monitoramento e controle ambiental e demais serviços de cidades inteligentes;
- modelo de conectividade e compartilhamento de serviços ligados à inserção de GDs, a exemplo de solar fotovoltaica, hidro - PCH e CGH, térmica - gás natural e resíduos (ciclos simples e combinado);
- políticas e ferramentas para gerenciamento energético - eficiência e segurança;
- modelos colaborativos para infraestruturas de cidades inteligentes, como microgeração, gestão de demanda, proteção de redes, etc.;
- métricas de desempenho e execução de análises para avaliação da eficiência do sistema no contexto das microrredes inteligentes.

Longo prazo (2030-2050):

- sistema de compartilhamento de serviços visando garantir o aumento da capacidade de atendimento (fator de carga);
- métodos para controle e gerenciamento da microrrede quando em operação ilhada em relação à rede principal;
- modelo de conectividade e compartilhamento de serviços ligados a sistemas de armazenamento e a operação VEHs, como unidades despacháveis.



4.1.4 Fundamentação

O foco na formação do ecossistema das cidades inteligentes, buscando o desenvolvimento tecnológico para habilitação do vasto espectro de áreas de aplicação e serviços proporcionado por este conceito, requer uma visão global de natureza multidimensional.

Esta visão deve considerar o impacto de fatores macrotemáticos como tecnologias para a difusão de informações, progressão e mudança dos modelos em busca de um projeto decisivo, definição do atual nível de desenvolvimento desta temática, recomendações, visão de futuro, projetos em andamento, desafios encontrados e tendências de desenvolvimento tecnológico e evolução das cidades inteligentes.

Uma perspectiva com foco individual em cada um dos aspectos fundamentais ao desenvolvimento do processo tecnológico também deve ser realizada, em conjunto com os aspectos relacionados às arquiteturas e infraestruturas que suportam o desenvolvimento de aplicações e sistemas para cidades inteligentes.

Destacam-se, ainda, os paradigmas das TICs sobre a macrotemática, como a computação intensiva em dados (big data), *open data*, sistemas distribuídos em grande escala, internet das coisas, computação físico-ciber-social, e em nuvem, além de automação da rede, medição avançada e segurança cibernética.

Para firmar o conceito de cidades inteligentes, também é imprescindível promover a investigação e a inserção de GDs, a utilização de armazenadores de energia e a operação VEHs (unidades despacháveis políticas e ferramentas para gerenciamento energético), com eficiência e segurança, o desenvolvimento de ferramentas para análise, a operação e o planejamento de microrredes, o aumento da capacidade de atendimento (fator de carga) e o desenvolvimento de métodos para controle e gerenciamento da micro região quando em operação ilhada à rede principal.

Os aspectos regulatórios devem ser determinados com a participação dos diversos agentes influenciadores da temática e devem assumir uma forma mutável ao longo do período, pois essa ação é fundamental para o acompanhamento do rápido desenvolvimento tecnológico das temáticas envolvidas e prevenção de impactos negativos, que possam levar à deseconomia. Assim, deverão ser desenvolvidos novos modelos de negócios.

Deste modo, dado o conceito evolutivo da macrotemática, que busca a concepção de infraestruturas de maneira mais inteligente, holística, sustentável e responsável, vê-se a necessidade do uso da ontologia desenvolvida por vários trabalhos filosóficos, para a especificação de um sistema multidimensional representativo ao desenvolvimento desta macrotemática e para a obtenção de uma previsão coerente.

Para tanto, deve-se determinar a influência da identidade e valores intrínsecos, dos interesses justificados, das complexidades dimensionais e motivações irracionais (ideais, sonhos e crenças) em todos os aspectos do sistema, conforme Figura 22 - Conceitos filosóficos para prática de engenharia²². Somente assim, será possível cristalizar uma especificação multidimensional da macrotemática.

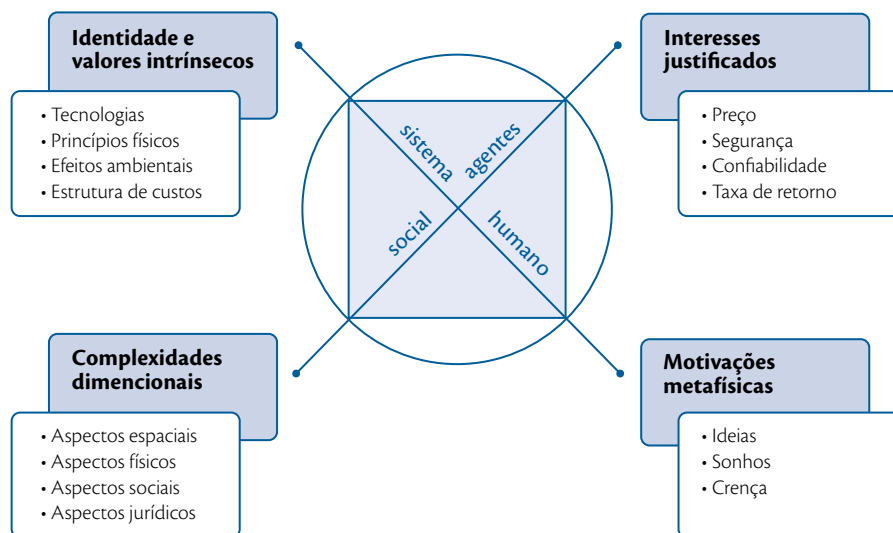


Figura 22 - Conceitos filosóficos para prática de engenharia

Fonte: Elaboração própria.

4.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessárias para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

A macrotemática cidades inteligentes, sob uma cenarização geral, pode ser entendida como uma ferramenta habilitadora para a inovação e transformação, que visa ao aproveitamento das infraestruturas físicas, tecnologias de informação e comunicação, recursos de conhecimento e infraestruturas sociais



para regeneração econômica, coesão social, melhor administração dos ambientes urbanos e gestão de infraestruturas (GSMA, 2013). Uma característica distinta do conceito cidade inteligente é a centralidade nas pessoas, especificamente, a transformação da vida e do trabalho dos habitantes da cidade (SCHREINER, 2016). Para isso, este conceito promove a interação entre inovação tecnológica, inovação organizacional e inovação política transformando uma cidade inteligente em um “Complexo Sistema Socio-Técnico” em busca de maximização da utilidade dos recursos disponíveis e do bem-estar social (ENTSO-E, 2016).

Esses objetivos são alcançados por meio da integração dos diversos serviços presentes no cotidiano da vida urbana gerando aplicações nas áreas de Economia, Meio Ambiente, Energia, Água, Resíduos, Pessoas, Estilo de Vida, Infraestruturas, Mobilidade (transporte) e Espaços Públicos. Cria-se, desse modo, um ecossistema onde grandes quantidades de dados podem ser transferidas entre os diferentes agentes envolvidos, por meio de complexas cadeias de informação (SMART CITIES, 2013). Estas aplicações exigem que as cidades inteligentes sejam apoiadas por uma variedade de requisitos, incluindo um ciclo de vida contínuo e evolutivo, colaboração entre as diversas partes interessadas da cidade e as preocupações com a privacidade dos dados (ENTSO-E, 2016).

Assim, para a disponibilização dos serviços e aplicações inteligentes da cidade são necessárias extensivas soluções tecnológicas, dentre as quais se destacam:

- Para a realização da visão de cidades inteligentes, soluções relacionadas à comunicação e aquisição de informação fomentam a base estrutural por meio da aplicação de computação intensiva de dados (Big Data), dados abertos, sistemas distribuídos em grande escala, internet das coisas, computação físico-ciber-social, serviço-orientados e computação em nuvens (QIN; BARESI, 2015; BOUSKELA; IET; SCHLEICHER, 2016).
- Com a base de comunicação fundamentada, modelos colaborativos de conectividade e compartilhamento de serviços, *Living Labs*, integração de tecnologia e sistemas com interoperabilidade de operação são fundamentais para a promoção de aplicações relacionadas ao Meio Ambiente, Energia, Água, Resíduos, Infraestruturas, Mobilidade (transporte) e Espaços Públicos.
- Para a manutenção da funcionalidade de cidades inteligentes, deve ser abordada a operação da rede na ocorrência de uma falha na malha principal. Nessas condições, a utilização da infraestrutura desenvolvida para habilitação dos novos serviços e aplicações relacionada ao conceito de cidades inteligentes pode ser muito benéfico. Nesse sentido, modelos de conectividade e compartilhamento de serviços ligados à inserção de GDs, métodos para controle e gerenciamento da microrrede quando em operação ilhada em relação à rede principal, compartilhamento de serviços ligados a sistemas de armazenamento e à operação

VEHs como unidades despacháveis são alguns dos diversos aspectos a serem avaliados e desenvolvidos.

- Para viabilização técnico-econômica de toda a nova gama de serviços, aplicações e produtos relacionados a cidades inteligentes, modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes e modelos de negócio para cidades inteligentes precisam ser desenvolvidos.
- Finalmente, métricas de desempenho precisam ser desenvolvidas para avaliar o grau de eficiência e estágio de maturidade dos distintos serviços, aplicações e produtos presentes nas cidades inteligentes para a identificação dos pontos críticos e fatores que necessitam de maiores investimentos.

Assim, a implementação de cidades inteligentes no mundo real está sendo realizada por uma combinação entre estes paradigmas, utilizando-se de uma mistura de arquiteturas (centralizada, descentralizada e combinações de ambas) e infraestruturas como middlewares e plataformas IoT para a sustentação e desenvolvimento dos diversos serviços, aplicações e produtos habilitados pelas cidades inteligentes.

Percebe-se por meio dos significativos investimentos, interesse privado, governamental e acadêmico com parcerias nacionais e internacionais (projetos em execução nas cidades Rio de Janeiro e Florianópolis, entre outros), que há, no Brasil, incentivos ao desenvolvimento desta macrotemática (SCHREINER, 2016). Tais projetos e parcerias, mediante ações conjuntas, executam significativos investimentos para a criação de laboratórios, centros de referências e implementação de projetos pilotos visando ao desenvolvimento das cidades inteligentes no país. Cita-se a criação de grupos de trabalho pelo governo federal evidenciado no desenvolvimento de aspectos fundamentais das cidades inteligentes. Nesse contexto, apresentam-se as seguintes métricas, explanadas nos tópicos subsequentes:

Políticas e ferramentas para gerenciamento energético - eficiência e segurança

O Brasil assumiu o compromisso de redução da demanda por ações que visam o uso racional da energia. Assim, é esperado que a competitividade das ações de eficiência ampliem ao longo das próximas décadas, até 2050, tornando-as tema de interesse permanente. Entre as tecnologias que habilitarão tal redução se destacam: inserção de renováveis, armazenamento, redução de perdas, redução do pico da demanda e políticas de otimização. Diante disso, preveem-se as métricas:

- **2020 (a) - aumento da eficiência em 5%**

Fundamentação e desenvolvimento de metodologias com implementação e opções de soluções limitadas.



- **2025 (b) - aumento da eficiência em 10%**
Desenvolvimento em ritmo avançado com variada gama de soluções e significativo interesse do mercado.
- **2030 (c) - aumento da eficiência em 15%**
Sofisticação dos modelos, alto nível de aceitação da proposta e existência de incentivos econômicos.
- **2050 (d) - aumento da eficiência em 20%**
Solidificação da proposta com plena aceitação do mercado.

Percentual de participação de GDs no mercado de energia

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, sendo esperadas taxas menores de crescimento posteriormente a este período. Este novo cenário habilitará novos serviços e produtos a serem oferecidos pelas concessionárias e outros agentes do mercado. Dentre eles, podemos destacar a utilização de armazenadores em associação com fontes renováveis para atendimento a demanda de pico e a atuação dos consumidores como *prossumidores*, quando o usuário deixa de ser um agente passivo e passa a ter a possibilidade de injetar o excedente de sua geração à rede. Estas novas possibilidades necessitarão de um grande arcabouço técnico para sua habilitação nas áreas de TIC, gerenciamento, controle, monitoramento e atuação, os quais estão fortemente interligados ao desenvolvimento das cidades inteligentes. Diante disso, preveem-se as métricas:

- **2020 (a) - participação no mercado de energia em 5%**
A recuperação econômica e desenvolvimento do setor de serviços incentivarão o investimento em soluções de suprimento local em grandes centros urbanos.
- **2025 (b) - participação no mercado de energia em 8%**
O desenvolvimento e maior competitividade das GDs auxiliarão no aumento de sua participação no mercado de energia.
- **2030 (c) - participação no mercado de energia em 10%**
A solidificação de novos modelos mais eficientes e redução do custo de investimento serão responsáveis pelo aumento de sua participação a médio prazo.
- **2050 (d) - participação no mercado de energia em 15%**
A concretização do ecossistema de cidades inteligentes com viabilização de operação de microrredes ilhadas incentivará o investimento em GDs e crescimento de sua parcela de mercado.

Armazenadores de energia e operação VEHs como unidades despacháveis

O armazenamento em nível de distribuição será motivado ao passo que se inserir nas cidades fontes intermitentes e carros elétricos, tanto em GD quanto no suprimento de pequenas unidades consumidoras. Todavia, com os atuais estudos de planejamento setorial, não é possível precisar a tecnologia vinculada, por exemplo: baterias, reservatórios de acumulação e usinas reversíveis, células a combustível.

Deve-se ressaltar a possibilidade de expansão da malha e volume de armazenamento por meio da operação de centrais de armazenamento e VEHs como unidades armazenadoras de energia despacháveis. Esta nova perspectiva proporciona maior garantia de atendimento ao serviço também contribuindo para a formação de cidades inteligentes por intermédio do aumento da confiabilidade e estabilidade do sistema elétrico. Projetam-se benefícios tanto pelas infraestruturas de comunicação, controle e medição desenvolvidas em sua implementação, quanto por sua autonomia quando operando de forma isolados. Destaca-se que esses fatores podem e serão utilizados por outros agentes e serviços presentes nas cidades inteligentes.

- **2020 (a) - aumento da capacidade em 5%**
- Crescimento acelerado para acompanhar a demanda de GDs e serviços vinculados a cidades inteligentes.
- **2025 (b) - aumento da capacidade em 8%**
- Crescimento continuado mediante a inserção de fontes intermitentes.
- **2030 (c) - aumento da capacidade em 10%**
- Crescimento continuado mediante a inserção de fontes intermitentes.
- **2050 (d) - aumento da capacidade em 15%**
- Expansão da malha e volume de armazenamento por intermédio da operação VEHs como unidades armazenadoras de energia despacháveis.

Capacidade de atendimento (fator de carga)

O Brasil assumiu o compromisso de, até 2030, reduzir a demanda do país por energia elétrica de 10%, com base no consumo do ano de 2015, por meio do uso racional da energia. Este processo está associado à redução de perdas na transmissão e distribuição providas pelas GDs e políticas de eficiência energética e gerenciamento de demanda. Estas ações contribuirão para o desenvolvimento das cidades, pois motivarão a oferta e busca por serviços de otimização e maior eficiência, parte da



concepção das cidades inteligentes. Entre os serviços, podemos incluir reconfiguração automática e aumento do uso da capacidade do sistema (condutores, transformadores, etc.). Têm-se os seguintes índices de capacidade de atendimento esperados:

- **2020 (a) - aumento da capacidade de atendimento em 7%**

O compromisso com uso racional da energia, associado ao desenvolvimento de metodologias para gerenciamento de demanda e à crescente participação de GDs proporcionarão um significativo aumento da capacidade de atendimento.

- **2025 (b) - aumento da capacidade de atendimento em 10%**

Crescimento continuado durante o desenvolvimento da matriz energética, impulsionado pela inserção de GDs em grandes centros urbanos.

- **2030 (c) - aumento da capacidade de atendimento em 12%**

Solidificação das metodologias de eficiência energética e aumento da eficiência de GDs.

- **2050 (d) - aumento da capacidade de atendimento em 15%**

Concretização do ecossistema de cidades inteligentes e implementação de metodologias de gerenciamentos para eficiência em larga escala.

Métodos para controle e gerenciamento da microrregião quando em operação ilhada à rede principal

A concretização do ecossistema de cidades inteligentes associada à significativa entrada de GDs permitirão a manutenção da operação de microrredes em modo ilhado à rede principal quando em condições de falha do sistema. Para isso, métodos de controle e gerenciamento precisam ser considerados:

- **2020 (a) - estágio de desenvolvimento em 40%**

Fundamentação dos conceitos e implementação em níveis de simulação.

- **2025 (b) - estágio de desenvolvimento em 60%**

Validação em escala laboratorial e desenvolvimento de projeto piloto.

- **2030 (c) - estágio de desenvolvimento em 80%**

Implementação em escala real em ambiente relevante.

- **2050 (d) - estágio de desenvolvimento como meta**

Solução completa concluída e operando em toda a gama de condições esperadas.

Desenvolvimento de ferramentas para análise, operação e planejamento de microrredes.

A concretização do ecossistema de cidades inteligentes e a habilitação de operação de microrredes em modo ilhado à rede principal requisitam o desenvolvimento de novas ferramentas para a adequada análise, operação e planejamento desses sistemas:

- **2020 (a) - estágio de desenvolvimento em 50%**

Fundamentação dos conceitos e desenvolvimento de metodologias para o atendimento aos requisitos de análise, operação e planejamento do sistema elétrico das cidades inteligentes. Validação das propostas em sistemas testes de referência.

- **2025 (b) - estágio de desenvolvimento em 70%**

Desenvolvimento continuado em compasso aos novos requisitos apresentados pela evolução das cidades inteligentes. Validação em sistemas reais.

- **2030 (c) - estágio de desenvolvimento em 90%**

Desenvolvimento continuado ao mesmo passo que os novos requisitos. Solidificação da ferramenta em função do alto nível de competências incorporadas.

- **2050 (d) - estágio de desenvolvimento como meta**

Ferramenta consolidada operando em toda a gama de funcionalidades esperadas.

Desempenho técnico

A habilitação e criação de aplicações e serviços inovadores devem ocorrer a curto e médio prazo para suportar o desenvolvimento do vasto espectro de áreas de aplicação de cidades inteligentes. O nível de desempenho técnico está diretamente relacionado ao grau de desenvolvimento da macrotemática:

- **2020 (a) - estágio de desenvolvimento em 25%**

Desenvolvimento acelerado em função dos novos serviços disponibilizados.

- **2025 (b) - estágio de desenvolvimento em 50%**

Solidificação dos serviços previamente disponibilizados e implementação de novos serviços.



- **2030 (c) - estágio de desenvolvimento em 75%**

Crescimento continuado em compasso com o desenvolvimento do ecossistema de cidades inteligentes.

- **2050 (d) - estágio de desenvolvimento como meta**

Concretização do ecossistema de cidades inteligentes.

Prevenção de desastres

Conforme apresentado pelo estudo de caso do Schreiner (2016), a prevenção de desastres é uma política que deve ser implementada em curto prazo:

- **2020 (a) - estágio de desenvolvimento em 50%**

Validação em escala laboratorial e desenvolvimento de projetos piloto com implementação em ambiente relevante.

- **2025 (b) - estágio de desenvolvimento como meta**

Solução completa concluída e operando em toda a gama de condições esperadas.

Sistemas de controle ambientais

A redução do uso indevido dos recursos hídricos, gestão de resíduos e controle do meio ambiente (ruído, qualidade do ar e clima) deverão ocorrer a médio prazo em conjunto com o desenvolvimento do ecossistema de cidades inteligentes. Esta redução deve ocorrer através do maior controle sob o uso indevido dos recursos pela implementação de um monitoramento contínuo proporcionado pela infraestrutura técnica das cidades inteligentes. No cenário atual, o Brasil se encontra atrás de países com maior grau de desenvolvimento e com escassez de recursos naturais. Todavia projetos de cidades inteligentes nacionais preveem a implementação de sistemas de controle ambientais, sendo esperada uma significativa implementação de tais sistemas nas novas cidades inteligentes brasileiras, em especial para grandes centros urbanos.

Regulação

A regulação é de fundamental importância para a incentivo e viabilização de investimentos, especialmente no contexto brasileiro, devido à falta de flexibilidade das instituições. O Brasil, preocupado com o aspecto regulatório, criou por intermédio do ministério de Minas e Energia (MME) e da Associação Brasileira de Desenvolvimento da Indústria (ABDI) um grupo de trabalho focado no desenvolvimento de redes inteligentes. O objetivo dessas ações é o desenvolvimento de políticas que formarão a

base (iniciativas políticas e regulatórias) deste novo sistema. Esta base regulatória deve contar com a participação de agentes dos setores privado, governamental e acadêmico de modo a tanger todos os aspectos e particularidades pertinentes aos distintos segmentos e necessários para a solidificação e incentivo ao desenvolvimento de cidades inteligentes, no cenário nacional. São esperadas evoluções conservadoras, pela qual a governança evolui para uma gestão mais objetiva que favorece a todos os que beneficiam o sistema.

Política, governança, incentivo

Deve ocorrer conjuntamente ao processo de regulação para a elaboração de novos modelos de negócio que contemplem os variados serviços e aplicações disponibilizados por esta macrotemática (ABDI,2014):

- 2020 (a) - aumenta o pensamento com preocupação ambiental e social e não altera significativamente a demanda.
- 2025 (b) - inicia o reflexo na demanda por uma mudança cultural que demanda tecnologias amigável social e ambiental.
- 2030 (c) - 2050 (d) - gradativamente esta visão se torna mais forte e reflete nas demandas.

Conscientização, ações em redes sociais

Na macrotemática de cidades inteligentes, o aspecto social se apresenta como um dos preceitos fundamentais. Deste modo, as redes sociais assumem um importante papel em medidas de conscientização e intercâmbio de informação entre os distintos agentes e cidadãos. Dada a velocidade de suas tecnologias, prevê-se um desenvolvimento duradouro a curto prazo:

- **2020 (a) - estágio de desenvolvimento em 50%**
Desenvolvimento de ações em redes sociais para disseminação dos dados e conscientização cidadã.
- **2025 (b) - estágio de desenvolvimento como meta**
Consolidação dos mecanismos propostos para aplicações em redes sociais.

Produção e estrutura de CT&I

Em relação à produção de CT&I, destaca-se que a macrotemática apresenta diversos interessados em seu desenvolvimento em função do potencial de mercado na ordem de trilhões de dólares.



Nesta perspectiva, grandes empresas do ramo de tecnologia, agentes do setor elétrico mundial, concessionárias, entre tantos outros agentes do setor elétrico, executam massivos investimentos em produção científica para o desenvolvimento de novas patentes de produtos e serviços.

Assim, à vista dos significativos investimentos, interesse privado/governamental com parcerias nacionais e internacionais (tal como a atual situação de projetos em execução, como os das cidades do Rio de Janeiro, Florianópolis, entre outros), é esperado o aumento da produção científica. Contudo, deve-se ressaltar que o volume de produção aumentará significativamente apenas em médio e longo prazo.

No âmbito internacional, espera-se que, contando com elevado nível de engajamento de entidades governamentais, privadas, acadêmicas e investidores, a produção de patentes seja acelerada e com volume significativo.

No âmbito nacional, por sua vez, a produção de patentes a curto prazo tende a se manter estável. À medida que a produção científica assume índices significativos e há engajamento de grupos de pesquisa, governo e setor privado nacional, é esperado o aumento da produção de patentes a médio e longo prazo.

Devido à pluralidade de serviços disponíveis nesta macrotemática, a formação de recursos humanos especializados se torna fundamental para o crescimento e difusão da macrotemática. Deste modo, é necessário o aumento na capacitação de profissionais ao longo de todo o período de análise durante o aumento da participação de mercado das temáticas.

Em âmbito nacional, pode-se citar a parceria entre Huawei e PUCRS para criação do Smart City Innovation Center, instalado no Tecnopuc - Parque Científico e Tecnológico da PUCRS-, sendo esperado o aumento contínuo da infraestrutura de CT&I, no Brasil.

Em relação às redes colaborativas, haja vista a experiência de agentes externos, editais de PD&I lançados por entidades governamentais e privadas a nível nacional e internacional, espera-se o aumento significativo e sustentado durante os próximos anos.

Indústria e mercado

A macrotemática analisada apresenta diversos interessados em seu desenvolvimento, em função do potencial de mercado, na ordem de trilhões de dólares. Nesta perspectiva, empresas do ramo de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) como CISCO, IBM, Huawei, Telefonica e Microsoft e grandes agentes do setor elétrico mundial, a exemplo de Siemens, GE, Honeywell, Schneider Electric, entre tantos outros agentes do setor elétrico, executam massivos investimentos na indústria e mercado

para desenvolvimento de produtos e soluções para cidades inteligentes. Sob a percepção da demanda no mercado nacional, a curto prazo é considerada baixa devido à incipiência do conceito e limitação das aplicações, porém com significativo aumento a médio e longo prazo. Haverá, também, aumento da cadeia produtiva em harmonia com a demanda do mercado nacional.

As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas nesse estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

4.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

4.3.1 Temática infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes

A temática infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes apresenta quatro rotas de desenvolvimento com grande proximidade em requisitos tecnológicos como apresentado pela Figura 23 – Temática de infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes²³.

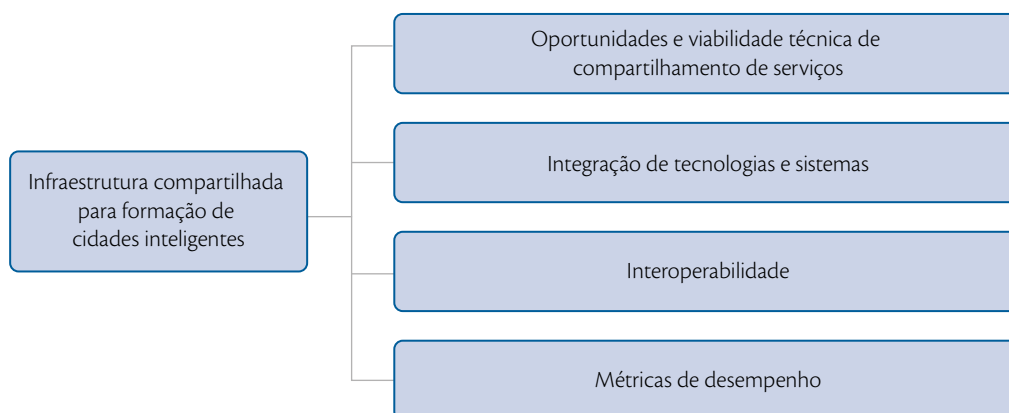


Figura 23 – Temática de infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes

Fonte: Elaboração própria.



Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 22 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços ao Gráfico 25 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métricas de desempenho. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Os resultados apresentam variações do nível de maturidade entre os participantes, contudo é observado que essas variações possuem padrões coerentes e em concordância com o background de seus consultores. Previsões mais arrojadas estão vinculadas ao setor privado, as mais conservadoras se relacionam a agentes governamentais, enquanto a academia se posiciona em um cenário médio.

Uma vez que esta temática proporciona a estrutura fundamental para o desenvolvimento de rotas e temáticas subsequentes, é esperado que seu desenvolvimento seja significativo já a médio prazo, em especial, para a rota oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços. Esta expectativa tem como base a existência de diversos laboratórios espalhados ao redor do mundo para análises de componentes e sistemas relacionados a cidades inteligentes (SCHREINER, 2016) e o grande interesse de agentes privados, municípios e entidades governamentais - os quais, em ações conjuntas, executam significativos investimentos para a criação de laboratórios, centros de referências, e implementação de projetos pilotos visando ao desenvolvimento das cidades inteligentes. Destaca-se que estes projetos devem verificar a maturidade das tecnologias para garantir a interoperabilidade entre as diversas áreas das cidades inteligentes, que, no atual cenário brasileiro, há um desenvolvimento ainda incipiente.

Soma-se aos aspectos acima o fato de que o preceito de cidades inteligentes busca a interoperabilidade dos diversos fatores associados a ambientes urbanos como transporte, arquitetura, saneamento, energia, os quais, individualmente, já detêm conceitos fundamentais, leis e pressupostos, bem definidos. Ademais, dada à alta capacidade de processamento e às diversas ferramentas já desenvolvidas, existe capacidade tecnológica para a execução dos conceitos e formulações teóricas por softwares para simulação de cenários considerando diversos aspectos de cidades inteligentes. Dentre eles, pode-se citar a plataforma de simulação livre UrbanSim. Assim, verifica-se, nos gráficos abaixo, rápida evolução de maturidade, agindo nível médio já em 2020.

Têm-se também, redes colaborativas e parcerias entre grandes empresas do setor de telecomunicações - a exemplo, destaca-se, em âmbito nacional, a parceria entre Huawei e PUCRS para criação do Smart City Innovation Center instalado no Tecnopuc - Parque Científico e Tecnológico da PUCRS.

Contudo é necessário ressaltar que a formulação fundamental é mutável e permanece em evolução devido à pluralidade dos conceitos envolvidos e à dinâmica de suas evoluções. Assim, tem-se como significativo fator limitante o nível de investimento aplicável, em especial para processos praticados em tempo real. O desempenho será diretamente dependente do grau de investimento tecnológico, de forma que as previsões de desempenho, além de considerarem a evolução tecnológica, ficam intrinsecamente dependentes dos aportes de investimento.

Como demais fatores limitadores, deve-se ressaltar que, para o compartilhamento da infraestrutura de medição entre os serviços de energia elétrica, água e gás em escala real, será necessária uma integração de tecnologias e sistemas consolidada, além de boa sinergia entre os agentes operadores dos serviços de energia, água e gás. Todavia, apesar de limitadores em um primeiro momento, a possibilidade de compartilhamento de serviços entre tais concessionários apresenta um significativo potencial para a superação dos desafios envolvidos na integração e interoperabilidade dos serviços e infraestruturas presentes nas cidades inteligentes como ampliação da infraestrutura de comunicação, aporte de investimentos, desenvolvimento de middleware padrão, etc.

Por fim, uma vez que o preceito fundamental de cidades inteligentes se baseia na interoperabilidade dos distintos elementos, dois aspectos gerais devem ser considerados: o primeiro (geral) se refere à formulação e implementação de uma camada de interoperabilidade entre os distintos agentes, e o segundo (mais amplo) aos conceitos e formulações particulares a cada agente.



Rota 1 - Oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços

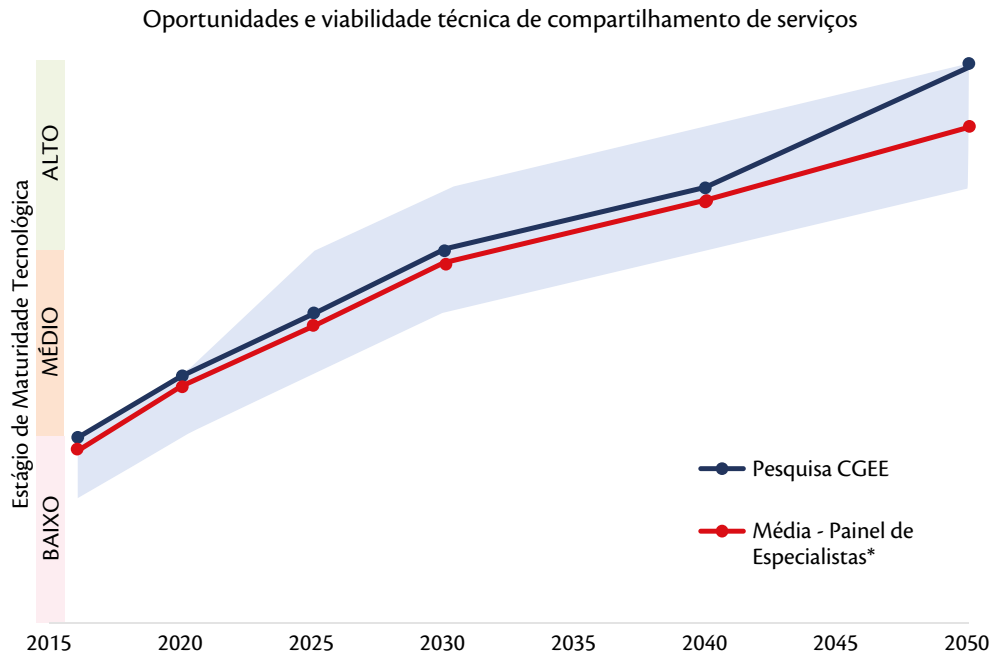


Gráfico 22 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços

Fonte: Elaboração própria.

Rota 2 - Integração de tecnologias e sistemas

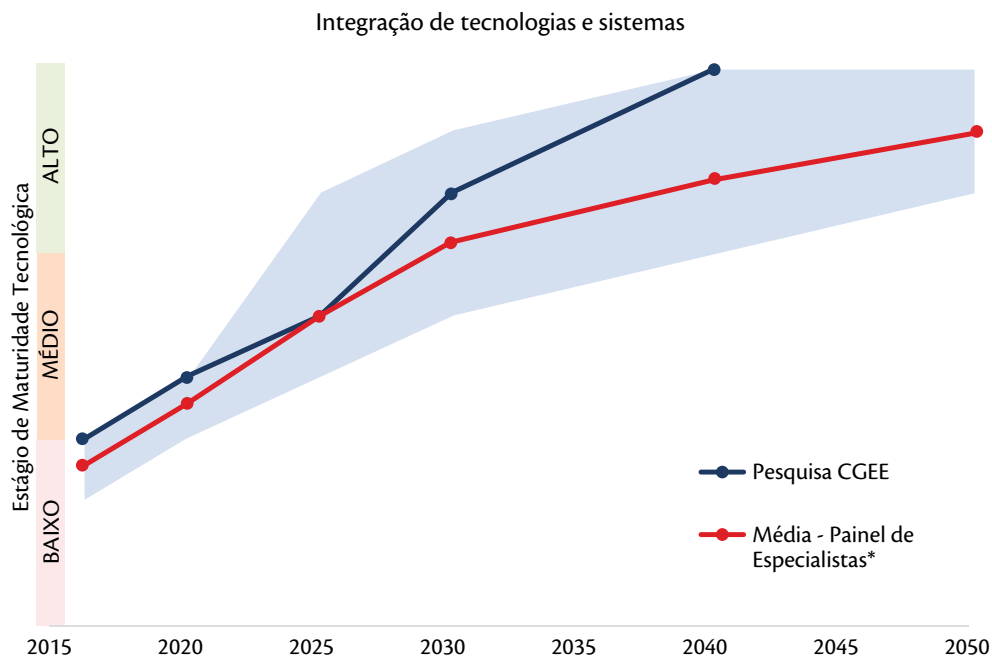


Gráfico 23 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de integração de tecnologias e sistemas

Fonte: Elaboração própria.



Rota 3 - Interoperabilidade

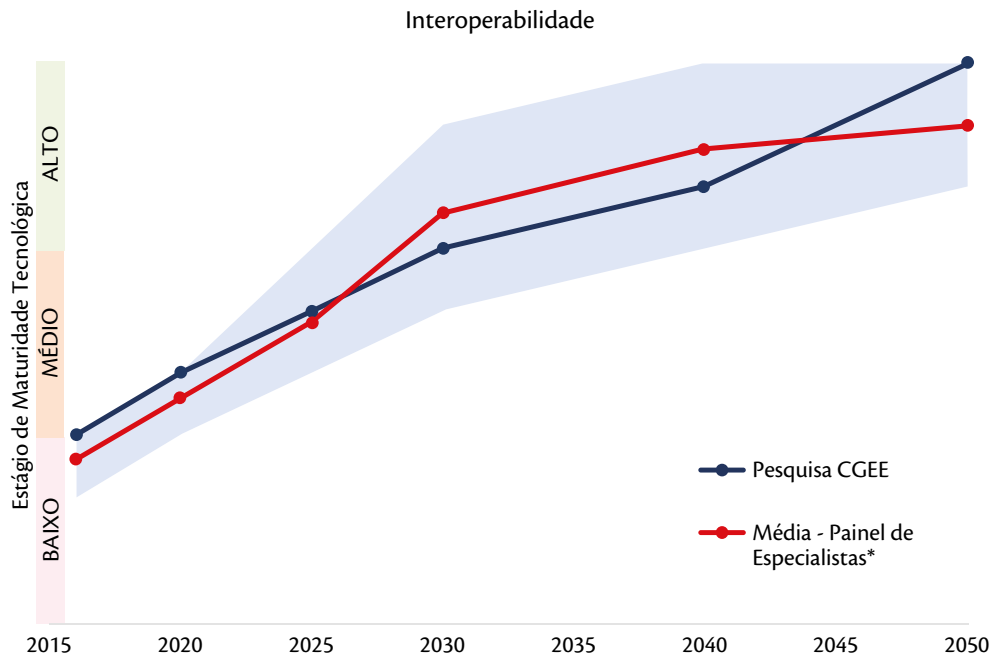


Gráfico 24 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de interoperabilidade

Fonte: Elaboração própria.

Rota 4 - Métricas de desempenho

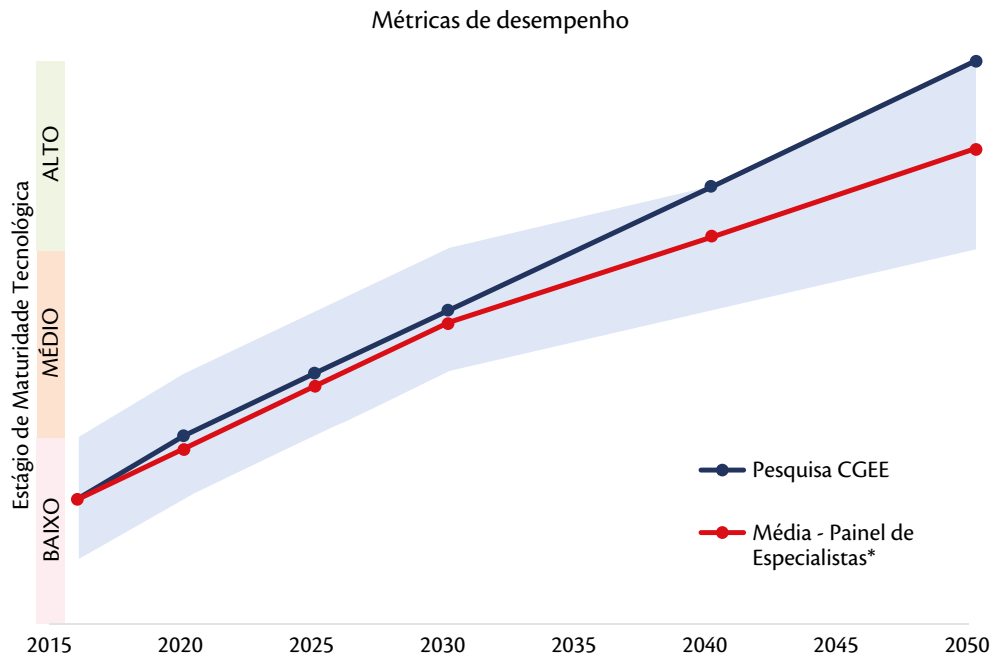


Gráfico 25 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métricas de desempenho

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de desenvolvimento tecnológico das rotas.



Tabela 13 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática infraestrutura compartilhada com a formação de cidades inteligentes.

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes	Oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços	Fatores portadores de futuro	Convergência de interesse entre os diversos agentes presentes no projeto; padrões para troca de informações; instrumentos regulatórios e políticas de incentivo		Padrões e normas para desenvolvimento das aplicações; instalação de laboratórios (a exemplo do laboratório de redes inteligentes sendo desenvolvido pelo CEPEL); crescimento da penetração de geração distribuída; protocolo de compartilhamento e entendimento das funções inerentes das infraestruturas realizadas (água, gás, eletricidade, transporte); interoperabilidade entre elementos do sistema			Sinergia entre os agentes dos setores envolvidos (concessionárias de eletricidade, água, telecomunicações, setor privado, governo e academia); crescimento do mercado de veículos elétricos
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Integração de tecnologias e sistemas	Fatores portadores de futuro	Compatibilidade dos protocolos de comunicação; robustez da rede de telecomunicações para garantia de segurança de dados; definição de métricas de desempenho de compartilhamento de serviços e sistemas de comunicação		Padrões e normas para desenvolvimento das aplicações; instalação de laboratórios (a exemplo do laboratório de redes inteligentes sendo desenvolvido pelo CEPEL); definição de padrões de segurança cibernética; sinergia entre os agentes operadores dos serviços privados, governamentais e acadêmicos		Manutenção do investimento e interesse dos diversos stakeholders	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Interoperabilidade	Fatores portadores de futuro	Compatibilidade dos protocolos de comunicação; padrões para troca de informações.		Padrões e normas para desenvolvimento das aplicações; instalação de laboratórios (a exemplo do laboratório de redes inteligentes sendo desenvolvido pelo CEPEL); definição de padrões de segurança cibernética; sinergia entre os agentes operadores dos serviços privados, governamentais e acadêmicos		Manutenção do investimento e interesse dos diversos stakeholders	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes	Métricas de desempenho	Fatores portadores de futuro	Maturidade das temáticas e áreas de interdependência		Padrões e normas para desenvolvimento das aplicações; instalação de laboratórios (a exemplo do laboratório de redes inteligentes sendo desenvolvido pelo CEPEL); interoperabilidade entre elementos do sistema		Sinergia entre os agentes dos setores envolvidos (concessionárias de eletricidade, água, telecomunicações, setor privado, governo e academia)	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

4.3.2 Temática aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes

A temática aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes, constituída pelas rotas apresentadas na Figura 24 - Temática de aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes²⁴, visa ao desenvolvimento de modelos e serviços para o vasto espectro de áreas de desenvolvimento habilitadas pelo conceito de cidades inteligentes. Estes aspectos serão impulsionados pelas necessidades de demanda dos diversos setores, os quais deverão ser atualizados continuamente e nunca reduzidos a apenas um aspecto.

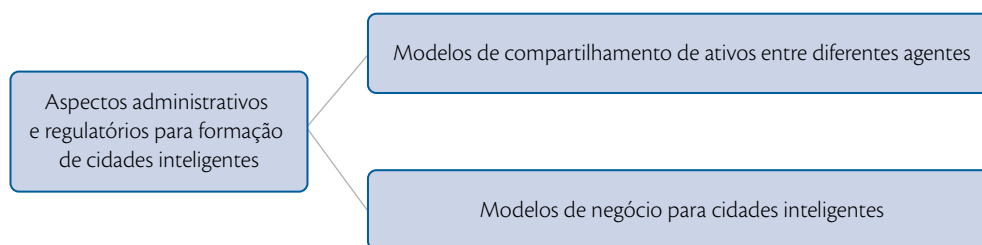


Figura 24 - Temática de aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes

Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se que os aspectos administrativos e regulatórios são fundamentais para a solidificação e a viabilização da formação de cidades inteligentes. As necessidades e aspectos envolvidos nesta temática são uma representação das demandas do setor para o comprometimento com aporte de



investimentos com relação à formação das infraestruturas necessárias ao desenvolvimento das cidades inteligentes. Estabelecendo assim o arcabouço requerido para a habilitação dos diversos serviços e produtos associados a esta macrotemática.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução do desenvolvimento tecnológico das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 5 ao Gráfico 6. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Para atingir as métricas estipuladas, espera-se que o desenvolvimento das rotas de modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes e de modelos de negócio para cidades inteligentes ocorram de maneira coerente ao desenvolvimento do cenário prospectado na seção 1.2. Destaca-se, ainda, que a consolidação dessas rotas, tais quais apresentadas do Gráfico 26 ao Gráfico 27, é fundamental para que investidores adquiram a confiança necessária e acreditem no desenvolvimento das infraestruturas, serviços e produtos presentes nas cidades inteligentes de modo a fornecerem meios para a viabilização de capital requerido.

Devido à maior complexidade de interoperabilidade necessária para a formação do ecossistema das cidades inteligentes, para as rotas dessa temática, a maturidade mais elevada é prospectada apenas a longo prazo. Esta previsão considera as necessidades de interoperabilidade entre os componentes/subsistemas e o interesse de grandes empresas dos mais diversos setores. Destaca-se que tal interesse já se manifesta por meio de parcerias firmadas entre iniciativas privadas, governamentais e acadêmicas para investimentos em PD&I na geração de soluções tecnológicas em resposta aos desafios sociais, ambientais e econômicos das cidades brasileiras e mundiais. Ademais, embora incipiente, já se encontram disponíveis estudos apresentando os princípios que fundamentam esta temática, em âmbito nacional e internacional.

Como fatores limitantes, contudo, destacam-se as complexidades envolvidas na operação de um sistema real em toda a gama de funcionalidade esperada, necessidade de plena interoperabilidade entre os distintos elementos constituintes do sistema e de boa sinergia entre os agentes operadores dos serviços ancilares, municipais, privados, governamentais e acadêmicos para consolidação da temática.

Rota 5 - Modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes

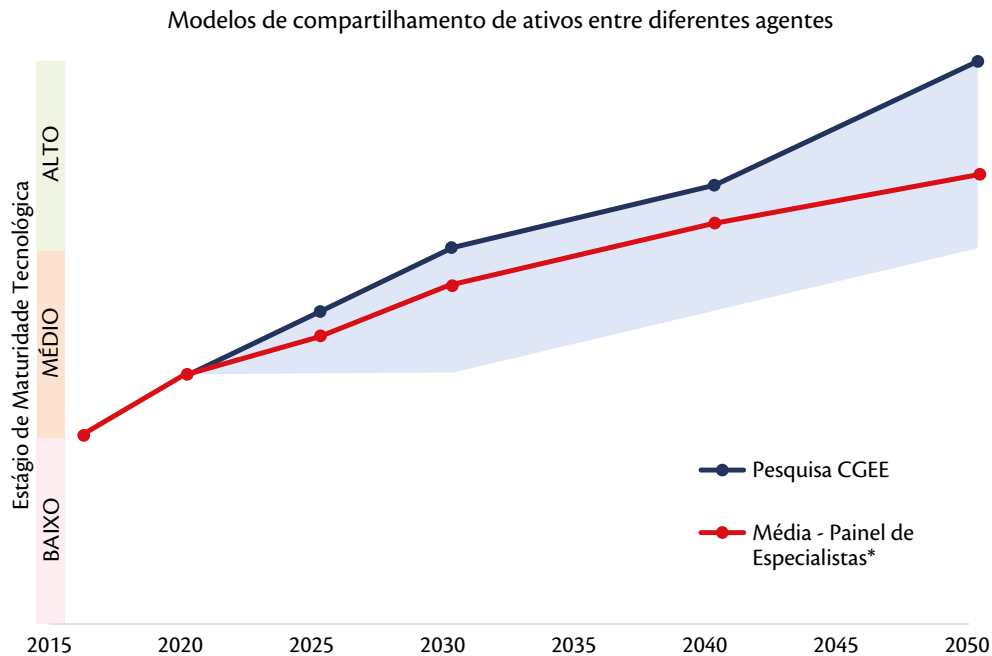


Gráfico 26 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes

Fonte: Elaboração própria.



Rota 6 - Modelos de negócio para cidades inteligentes

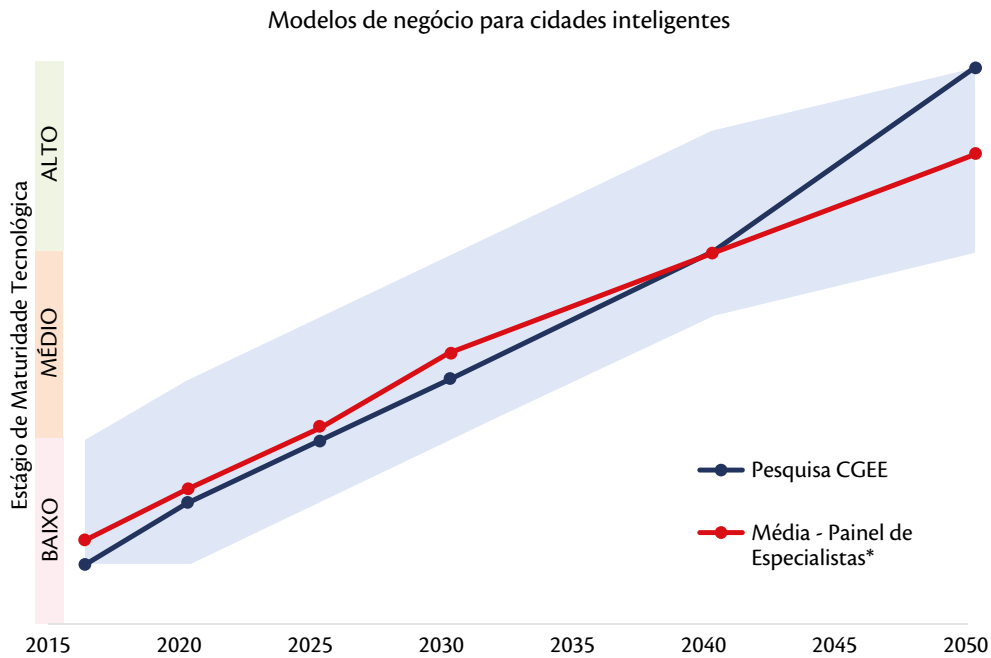


Gráfico 27 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos de negócio para cidades inteligentes

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados na tabela a seguir os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de desenvolvimento tecnológico das rotas.

Tabela 14 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes	Modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes	Fatores portadores de futuro	Definição das atribuições aos diferentes agentes envolvidos no desenvolvimento de cidades inteligentes, como a determinação do aporte de investimento a ser executado por concessionárias em um consórcio		Padrões e normas para desenvolvimento das aplicações; instalação de laboratórios (a exemplo de o laboratório de redes inteligentes sendo desenvolvido pelo CEPEL); crescimento da penetração de geração distribuída; protocolo de compartilhamento e entendimento das funções inerentes das infraestruturas realizadas (água, gás, eletricidade, transporte); interoperabilidade entre elementos do sistema		Sinergia entre os agentes dos setores envolvidos (concessionárias eletricidade, água, telecomunicações, setor privado, governo e academia); crescimento do mercado de veículos elétricos
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO	
	Modelos de negócio para cidades inteligentes	Fatores portadores de futuro	Aporte financeiro	Padrões e normas para desenvolvimento das aplicações; instalação de laboratórios (a exemplo de o laboratório de redes inteligentes sendo desenvolvido pelo CEPEL); crescimento da inserção de geração distribuída; protocolo de compartilhamento e entendimento das funções inerentes das infraestruturas realizadas (água, gás, eletricidade, transporte); interoperabilidade entre elementos do sistema		Sinergia entre os agentes dos setores envolvidos (concessionárias eletricidade, água, telecomunicações, setor privado, governo e academia); crescimento do mercado de veículos elétricos	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.



4.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na Macrotemática **Compartilhamento de serviços no contexto das Cidades Inteligentes**. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, consideraram a visão de futuro da Macrotemática e a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, de forma crescente, as rotas conforme sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **6**, pois são **seis** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 15- Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes¹⁵.

Tabela 15- Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Integração de tecnologias e sistemas	Infraestrutura compartilhada
2	Interoperabilidade	Infraestrutura compartilhada
3	Modelos de negócio para cidades inteligentes	Aspectos administrativos e regulatórios
4	Oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços	Infraestrutura compartilhada
5	Modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes	Aspectos administrativos e regulatórios
6	Métricas de desempenho	Infraestrutura compartilhada

Fonte: Elaboração própria.

Nessa perspectiva, destaca-se como elemento primordial para o desenvolvimento desta macrotemática a rota integração de tecnologias e sistemas, que se destaca, haja vista que o desenvolvimento das demais está intrinsicamente dependente à integração de tecnologias e sistemas (CGEE, 2012; ABDI, 2014). Subsequentemente, e por razões similares, o estabelecimento de interoperabilidade entre os distintos elementos assume o segundo nível de prioridade, em decorrência de sua importância para habilitação dos diversos serviços e aplicações envolvidas nas outras rotas. Sequencialmente, a identificação das oportunidades e a viabilidade técnica do compartilhamento de serviços envolvidos nesta macrotemática assumem posição central para a definição de modelos de negócio e, conseqüentemente, compartilhamento de ativos e definição de métricas de desempenho (SMART CITIES, 2013; SCHLEICHER; MUSA, 2016).

Os modelos de negócio, por sua vez, atenderão às necessidades e especificidades impostas por cidades inteligentes para a viabilização dos modelos de compartilhamento de ativos entre os diferentes agentes e estabelecimento de métricas de desempenho, contudo são dependentes do desenvolvimento das rotas anteriores, exigindo um elevado nível de sinergia entre as diferentes partes envolvidas (MCTI; ABDI, 2014). Os modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes, por sua vez, exigem um significativo grau de desenvolvimento das rotas superiores, estando à frente somente das métricas de desempenho, que deverão avaliar seu nível de consolidação.

Finalmente, o estabelecimento de métricas de desempenho concisas, que avaliam os diferentes aspectos envolvidos, os requerimentos dos diversos agentes e as características dos subsistemas presentes nas demais rotas devem ser estabelecidos (GSMA, 2013).



Capítulo 5



Capítulo 5

Macrotemática Segurança Cibernética

Segurança Cibernética é atualmente uma preocupação preponderante nos diferentes segmentos que compõem a infraestrutura crítica de uma nação. Neste trabalho de prospecção tecnológica, buscou-se identificar todos os aspectos importantes de segurança, confiança e privacidade para o setor elétrico. O levantamento das informações realizou-se de três formas: (i) por meio das publicações das instituições congêneres do Inmetro com atuação destacadas nesta área tais como o NIST (*National Institute of Technology* - EUA) e o PTB (*Physikalisch-Technischen Bundesanstalt* - Alemanha); (ii) coleta de informações científicas disponibilizadas nas principais bases internacionais e (iii) através de entrevistas abertas com pesquisadores do Inmetro e da comunidade científica de Segurança Cibernética, privilegiando àqueles com nítida inserção prévia no setor elétrico. Dessa forma, tal como representa a Figura 25 - Temáticas de segurança cibernética²⁵, a macrotemática foi desdobrada em três diferentes temáticas: (i) arcabouço regulatório; (ii) gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade; e (iii) tecnologia de segurança, confiança e privacidade.

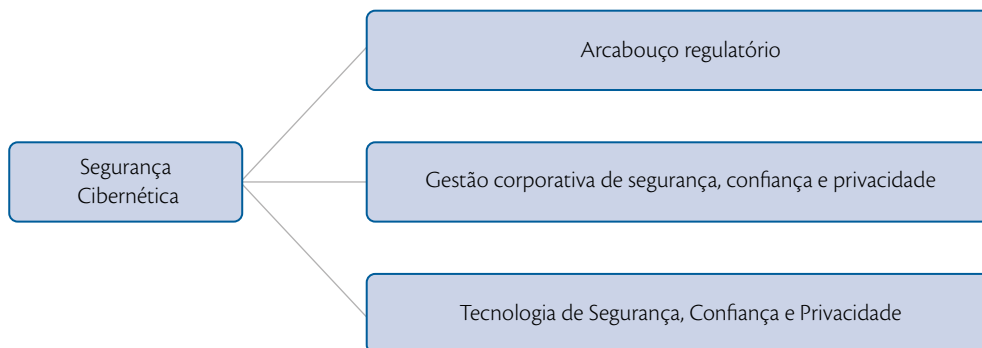


Figura 25 - Temáticas de segurança cibernética

Fonte: Elaboração própria.

5.1 Visão de futuro

5.1.1 Cenário setorial

A inovação tecnológica aplicada à rede elétrica é caracterizada principalmente pelo uso de novos equipamentos e sistemas de controle baseados em soluções de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), formando as denominadas Redes Inteligentes (REIs). Uma Rede Elétrica Inteligente, em termos gerais, é a aplicação de tecnologia da informação para o sistema elétrico de potência, integrada aos sistemas de comunicação e infraestrutura de rede automatizada. Especificamente, envolve a instalação de sensores nas linhas da rede de energia elétrica, o estabelecimento de um sistema de comunicação confiável com os diversos dispositivos e com a automação dos ativos. As REIs revolucionam a forma de geração, transmissão e, especialmente, de distribuição da energia elétrica, ao mesmo tempo em que alteram a relação consumidor/concessionária, criando um novo modelo de prestação dos serviços de energia elétrica. As TICs associadas ao conjunto de linhas e equipamentos do sistema de distribuição de energia viabilizam níveis superiores de gerenciamento e segurança do sistema elétrico. Os controles, os comandos, a medição, o monitoramento e a transferência instantânea e bidirecional de informações entre os dispositivos fazem com que a infraestrutura e os serviços prestados sejam mais eficientes, com menores perdas operacionais e não operacionais. A energia transportada passa a ser distribuída com inteligência e usada com maior eficiência. A REI também tornará possível realizar a conexão de micro e miniunidades de geração de energia à rede (incluindo as energias renováveis e alternativas), possibilitando uma diversificação na matriz energética, além de viabilizar a integração de veículos elétricos e híbridos para consumo e geração de energia. Além de os controles efetivos da infraestrutura energética, as tecnologias interativas de automação - articuladas aos medidores - poderão ser utilizadas para aperfeiçoar a operação de aparelhos eletrodomésticos nas residências.

Atualmente, o Brasil vive ainda uma situação bastante incipiente quanto à inserção massiva da tecnologia de informação no setor elétrico para o desenvolvimento das redes inteligentes. Isso faz com que a preocupação com a segurança cibernética também seja rudimentar. A principal motivação ainda é o elevado número de ataques de fraudes de consumo e, conseqüentemente, a possibilidade de uma reação eficaz pelo advento da entrada das soluções de redes elétricas inteligentes. Porém uma rede de distribuição automatizada é tanto uma ferramenta para se corrigir problemas de fornecimento como também uma oportunidade para os hackers os criarem. Com o aumento permanente das ameaças, conhecer e gerenciar bem os riscos de segurança cibernética tornaram-se grandes preocupações dos líderes de empresas e governos, principalmente quando se trata de infraestrutura crítica, como é o caso do setor elétrico.



No contexto mundial, as redes inteligentes já estão bem consolidadas e a problemática maior é a rápida disseminação de novos ataques e ameaças. No documento *Energy Sector-Specific Plan*, preparado pelo Homeland Security nos EUA (2105), prioriza-se a área de P&D em Segurança Cibernética dos Sistemas de Fornecimento de Energia. Este artigo faz referência direta ao documento 2011 *Roadmap to Achieve Energy Delivery Systems Cybersecurity* que tinha estabelecido uma visão para 2020 de que “sistemas de fornecimento de energia deveriam ser projetados, instalados, operados e mantidos de forma a sobreviver a um incidente cibernético, enquanto preservavam funções críticas”. Porém, dada a rápida evolução das vulnerabilidades cibernéticas e dos cenários de ameaças, em 2015 já se previa a necessidade de revisão do *roadmap*, de forma a garantir que o setor da energia continuasse bem guarnecido. Este documento também: (i) aponta, como exemplo de PD&I atual, a área de detecção de intrusão em comunicações com medidores inteligentes para prevenir atividades cibernéticas inesperadas e, de forma genérica, (ii) recomenda o desenvolvimento de pesquisas na interseção da engenharia de sistemas de energia com a ciência da computação (segurança cibernética), mantendo o alinhamento com o roteiro do setor de energia.

De acordo com os condicionantes gerais da prospecção tecnológica no setor de energia no Brasil, pode-se esperar um crescimento importante da informatização do setor rumo às redes inteligentes, como: (a) uma taxa de crescimento do PIB crescente até 2050; (b) uma inserção da geração distribuída da ordem de 10% até 2030; (c) uma parcela de 5% da frota de veículos híbrida também em 2030. As previsões de crescimento contínuo devem afastar a necessidade de contingenciamento de recursos para a área de segurança cibernética. O investimento precisa manter-se atualizado com a dinâmica e a rápida evolução da ameaça cibernética. Isso evita que haja carência de formação de pessoal especializado em segurança cibernética, que a segurança não acompanhe a evolução tecnologia e, portanto, as ferramentas de segurança se tornem menos eficazes e que as ameaças atuais absorvam todos os recursos e as ameaças futuras não sejam tratadas.

Embora não haja uma perspectiva de necessidade de modernização e/ou recapacitação radical do sistema, em face da questão do envelhecimento, como atinge outros países, tal como o Canadá, pode-se concluir que essa transformação ocorrerá de forma cadenciada até 2030. No documento “*Electric utility innovation toward vision 2050*”, preparado pela Associação Canadense de Eletricidade (CANADIAN ELECTRICITY, 2015), discute-se o tipo de modelo que o Canadá deve buscar para o setor elétrico em 2050. Mas a motivação para a preparação desta visão do futuro não é justificada apenas pelo empoderamento do cliente e pela busca da sustentabilidade ambiental social e econômica; a grande motivação é o estado atual de deterioração da condição dos ativos das concessionárias públicas (o que faz prever um custo de energia 20% maior em 2035). Porém este documento é bastante conservador e não prevê evoluções disruptivas, apenas enfatiza que as decisões que o Canadá faz hoje, e fará nos próximos cinco a dez anos, terão um enorme impacto sobre o sistema em 2050. Neste

trabalho, denominado Vision 2050, é dado um exemplo bastante interessante e representativo das transformações em andamento no setor elétrico, que acabam por gerar novos requisitos de segurança cibernética. No presente, os medidores mecânicos de eletricidade normalmente têm uma vida útil esperada de cerca de 30 anos. Mesmo para grandes concessionárias, o armazenamento de leituras de contadores mensais pode ser registrado com um simples lápis em papel e nunca exigiu mais do que alguns armários de arquivamento, já que um medidor tem no máximo de 360 leituras ao longo de sua vida. Comparando agora isso com a medição inteligente atualmente em curso em Ontário (com total disseminação de medidores inteligentes), que captura e armazena dados de demanda em intervalos de cinco minutos para qualquer cliente com uma demanda de pico média mensal de mais de 50 *quilowatts* anual, precisa-se de 105.120 registros por ano e 3.153.600 registros em 30 anos do medidor. Felizmente, a queda dos custos de armazenamento de dados fez com que esta transição para a coleta de dados em tempo real seja economicamente viável, mas isso não é o fim da história. À medida que os sistemas de tecnologia da informação evoluem, os dados antigos devem ser salvos com segurança e com privacidade. A necessidade de proteger a integridade dos dados históricos é uma área que exigirá atenção e inovação contínua a longo prazo.

Pode-se dizer que, em termos globais, o setor de energia está passando de um modelo reativo, baseado no consumo, para um modelo em que os clientes (cidadãos e indústria) monitoram mais ativamente o consumo através de dados em tempo real a partir de medidores inteligentes, fazem uso de aplicações (*apps*) ligadas a eletrodomésticos e geram energia própria (por exemplo, energias renováveis). Como consequência, é necessário, de maneira definitiva, enfrentar os desafios da segurança cibernética.

O governo Australiano, em um estudo sobre o panorama de segurança cibernética do futuro (DSTO, s.d), afirma que as tecnologias da informação e das comunicações (TIC) estão provocando a transformação e a evolução da forma como o governo, a indústria e o público em geral se organizam, comunicam e trocam conhecimentos e competências. A análise mostrou um uso crescente de TIC para uma maior produtividade, redução de custos e melhores meios de subsistência. Neste artigo, afirma-se que, em um futuro próximo, é fácil de imaginar uma futura empresa tão criticamente dependente de TIC que, sem a qual, esta não possa funcionar (tal como já acontece com a dependência da eletricidade). Este trabalho tem o mérito de atacar a questão da tecnologia operacional (TO), enfatizando que os sistemas de controle industrial (por exemplo: SCADA) estão atualmente usando tecnologia digital, expondo vulnerabilidades potenciais em diferentes áreas:

- as informações digitais aumentam a velocidade e a escala de efeitos como roubo ou perda;
- os sistemas SCADA, inicialmente tecnologias proprietárias, estão se movendo para sistemas padronizados e abertos, tornando-os vulneráveis a ataques de rede já existentes;



- os sistemas estão sendo otimizados para eficiência, o que deixa pouco espaço para erros ou falhas;
- os dados estão sendo acessados por um número maior de pessoas (por exemplo, funcionários de diferentes departamentos, outras corporações/agências, público etc.), o que aumenta as ameaças;
- a eficiência e o aumento da produtividade alcançados através da digitalização significam que as organizações não terão pessoal suficiente com o conhecimento necessário para gerenciar a carga de trabalho manualmente quando os sistemas falharem;
- aumento da superfície de ataque, pois os dados podem ser atacados durante o acesso, transmissão, processamento ou armazenamento.

A análise das ameaças emergentes aponta para um futuro em que os ataques serão mais oportunistas e difíceis de detectar ou prever. As ameaças internas (trojans de hardware) tornar-se-ão parte do problema e serão impossíveis de detectar usando as metodologias atuais. Prevê-se uma mudança dos ataques de exploração de código para manipulação de dados, ataques a processos de negócios e a introdução de efeitos sistêmicos. Afirma-se ainda que a indústria cibernética na Austrália estará cada vez mais vulnerável, e que a dependência tecnológica combinada com complexidade e interconectividade têm a capacidade de aumentar a potência dos ataques futuros.

5.1.2 Objetivo geral

O objetivo final pode ser definido como: garantir a segurança cibernética do setor elétrico e seus elementos críticos contra as crescentes ameaças e vulnerabilidades.

Para alcançar esse objetivo, as temáticas previstas são: arcabouço regulatório; gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade; tecnologia de segurança, confiança e privacidade.

Embora as estratégias adotadas pelos diversos países sejam distintas, o objetivo final é sempre o mesmo, as referências externas são sempre de grande valia. Porém um estudo mais detalhado, principalmente no que tange aos aspectos legais, regulatório e normativo, precisa ser feito.

Com relação à temática gestão corporativa, a mesma tônica deve ser aplicada, existem inúmeros modelos de riscos já desenvolvidos e aplicados em vários países, porém se pode afirmar que nenhum ambiente é exatamente igual ao outro. Com isso, mesmo partindo de uma seleção de modelos aplicáveis a nossa realidade, é necessário desenvolver modelos próprios para o setor.

Com relação à temática tecnologia de segurança, como o aspecto é puramente tecnológico, um estudo das ações internacionais também pode servir de guia, porém uma simples tropicalização não surtirá bons resultados, pois, além do ambiente, as ameaças identificadas normalmente são completamente distintas.

Concluindo, um investimento em PD&I, na área de segurança cibernética para o setor elétrico, implicará a necessária customização das contramedidas aplicáveis ao contexto nacional de ameaças e vulnerabilidades. Uma boa ilustração dessa especificidade do cenário nacional é a questão dos ataques para fraudes metrológicas.

5.1.3 Objetivo específico

Para obtenção do objetivo geral, é necessário que se tenham desenvolvidos, por meio do aporte à PD&I, os seguintes objetivos específicos:

Curto prazo (2017-2020):

- framework legal, regulatório e normativo para cibersegurança do setor elétrico em nível nacional (ex.: políticas, privacidade, gestão de dados);
- estratégias de conscientização, capacitação e divulgação sobre ataques de engenharia social;
- conjunto mínimo de requisitos e mecanismos de segurança baseado em padrões existentes que melhor atenda às nossas especificidades.

Médio prazo (2020-2030):

- metodologias de análise de risco para o contexto específico nacional (fraudes metrológicas, engenharia social, securidade financeira);
- desenvolvimento e aplicação de modelos de maturidade de segurança corporativa;
- desenvolvimento de um conjunto de certificação para componentes, produtos e segurança corporativa;



- mecanismos e metodologias de testes de segurança para dispositivos e aplicações;
- estudos e estratégias para coordenar medidas para conter, em larga escala, os incidentes de segurança;
- mapeamento e tratamento de vulnerabilidades associadas às novas tecnologias cibernéticas (IoT, robótica, computação em nuvem, implantes cibernéticos, computação quântica);
- mecanismos e modelos de segurança e proteção à privacidade no setor elétrico;
- tecnologias de inteligência artificial para aplicação no setor elétrico.

Longo prazo (2030-2050):

- diminuição da dependência tecnológica na cadeia produtiva do setor elétrico para um maior controle de segurança, confiança e privacidade (desenvolvimento de produtos nacionais - hardware e software);
- sistematização da absorção imediata de contramedidas às novas ameaças e vulnerabilidades;
- mapeamento e tratamento de vulnerabilidades associadas à mobilidade e à ubiquidade, e a consequente aproximação dos mundos corporativos e pessoais (reais e virtuais), ampliando o espectro de ameaças e vulnerabilidades.

5.1.4 Fundamentação

Embora a dificuldade de se fazer previsões sobre o futuro da segurança cibernética seja evidente, é fácil concordar com a hipótese do Centro de Segurança Cibernética para longo prazo da Universidade de Berkeley de que, em algum momento do futuro, não tão distante (se já não for verdade no presente), a cibersegurança será amplamente reconhecida como o grande problema “da era da Internet”. Isso a coloca no topo de qualquer lista de problemas que a sociedade deverá enfrentar, assemelhando-se mais a um desafio existencial, do que de mudança climática, do que às preocupações operacionais que as empresas de tecnologia têm de gerir. O futuro da cibersegurança será, em certo sentido, semelhante ao presente: difícil de definir e potencialmente ilimitado, já que as tecnologias digitais irão interagir intensamente com humanos em praticamente todos os aspectos da política, da sociedade, da economia, etc.

No projeto *Horizon Scan 2050* (Holanda), estimula-se a pensar de forma não convencional, 20-30 anos à frente, deixando para trás as restrições e os princípios presentes. Os tópicos são explorados amplamente (interdomínios e interdisciplinaridade) e sub-tópicos são estudados em profundidade. O foco está na inter-relação entre desenvolvimentos tecnológicos e sociais. Os grandes desafios são influenciados

pelos chamados sinais de mudança que emanam da robótica e da interconectividade. Não importa o que aconteça, a inteligência artificial afetará nossas vidas. Robôs devem manter a promessa de tornar a nossa vida mais fácil, mas eles também vão trazer grandes mudanças sociais: em saúde, indústria, em qualquer lugar. Esses desenvolvimentos vão mudar nossas vidas e nós ainda não sabemos como. E se os robôs se tornassem mais inteligentes do que nós? Eles vão tomar o poder? Sabemos que o homem e a tecnologia irão se fundir cada vez mais assim como os mundos virtuais e o mundo real. No futuro, a existência humana terá novas dimensões. Por exemplo, a partir do momento em que nascemos, estaremos permanentemente ligados aos outros. O cérebro humano será estendido pela memória artificial, e estaremos continuamente compartilhando experiências. Portanto precisamos também de lidar com novas implicações éticas e filosóficas. Neste cenário bastante futurista, chama-se atenção para o risco de ciberterrorismo, que põe em perigo a estabilidade do sistema. Como o sistema econômico está cada vez mais dependente da TI e - por isso - vulnerável à interrupção (vírus, ciberterrorismo, crime) de seus sistemas digitais, o cyberterrorismo se tornará a maior ameaça.

No trabalho *“Cyber Security: Beyond 2050”* fez uma interessante análise sobre a velocidade atual do desenvolvimento tecnológico. Para ela, o avanço tecnológico está acontecendo em um ritmo que provoca um jet-lag de tecnologia para a sociedade humana. Quinze anos atrás, dez anos era tempo normal para que as ideias de pesquisa fossem transformadas em produtos. Hoje há apenas um breve intervalo. Assim, eles proclamam que o ano cibernético 2050 acontecerá no ano (humano) 2020, isto é, 1 ano cibernético é equivalente a 7 anos humanos. Esse ritmo de aprimoramento tecnológico coloca a segurança no estresse, portanto exige que a indústria reconsidere o modelo de segurança. Se todas as nossas vidas forem digitalizadas, como vamos lidar com a privacidade? Se as pessoas têm seus dispositivos implantados dentro deles e seus dados na nuvem, como vamos proteger esses dados? Se os pontos de extremidade não existirem mais, a indústria se moverá mais rapidamente no sentido de fornecer soluções de segurança que se adaptem às circunstâncias do cliente, independentemente do dispositivo que estão usando a qualquer momento? Independente da parcela ficcionista desta discussão, já existe hoje, claramente, a necessidade de se considerar a mobilidade e a ubiquidade como agentes de aproximação dos mundos corporativos e pessoais, ampliando o espectro de preocupações sobre segurança por parte das empresas.

No artigo de Sid Snitkin, sobre O Futuro da Segurança Cibernética Industrial, é comentado que a Ordem Executiva 13636 do Presidente Obama identificou a segurança dos ativos industriais como um dos maiores desafios dos EUA. O crescente apoio ao NIST Framework [6] mostra que as organizações industriais estão igualmente preocupadas e trabalhando para garantir a segurança das instalações. A maioria dessas organizações está preocupada em proteger os sistemas legados e os sistemas SCADA que foram instalados antes da segurança cibernética se tornar uma apreensão, e são inseguros por design. A maioria dos esforços se concentra na instalação e manutenção de controles compensatórios, como



firewalls e anti-malware, e na gerencia de um fluxo sem fim de revisões de software e patches para vulnerabilidades e ameaças recentemente descobertas. O número de sistemas e vulnerabilidades torna esta tarefa bem difícil e muitas organizações estão trabalhando ativamente em planos para superar as limitações de recursos. Embora resolver a situação atual é extremamente importante, concentrar todos os esforços de planejamento de segurança cibernética em problemas legados é como “dirigir o carro com apenas o espelho retrovisor”. As organizações também precisam olhar para frente e garantir que suas estratégias antecipem desenvolvimentos futuros como a mobilidade, a internet das coisas e a computação em nuvem. É preciso reconhecer o impacto que isso terá sobre a estratégia de segurança cibernética e a necessidade de novas abordagens para gerenciar a segurança cibernética.

Organizações entendem a natureza mutável da tecnologia do sistema de controle e ameaças cibernéticas. Mas, em geral, elas não reconhecem as mudanças revolucionárias que ocorrem fora das fábricas que mudarão significativamente os futuros projetos de sistemas de controle e a própria natureza da gestão da segurança cibernética industrial:

- transição da construção de silos cibernéticos mais fortes para o desenvolvimento de redes de segurança TI-TO de base ampla;
- incorporação de princípios de segurança por projeto nas pessoas, processos e tecnologia usados em toda a organização e suas cadeias de suprimento de ativos cibernéticos.

A Internet das Coisas (IoT) não é apenas mais uma moda futurista. As empresas industriais já reconhecem os benefícios potenciais da IoT e estão trabalhando para incorporá-los em suas operações e produtos (Internet Indústria das Coisas - IIOT). A diversidade de oportunidades de IIOT torna difícil prever todas as maneiras pelas quais as organizações usarão o IoT em sistemas de controle industrial, mas podemos ter certeza de que os projetistas de sistemas encontrarão formas criativas de aproveitar essa inteligência e conectividade aprimoradas. As aplicações iniciais provavelmente envolverão a adição de sensores sem fio, acessíveis remotamente, para incorporar sistemas para ajudar a melhorar a gestão de ativos. Conforme o conforto cresce, o uso do IIoT se espalhará por todos os processos de negócios industriais e conectará muitos dispositivos externos com sistemas das plantas de controle. Estes desenvolvimentos alteram a natureza do controle industrial e as responsabilidades do pessoal de segurança da informação de TO e TI. A segurança cibernética do TO centra-se principalmente na garantia da disponibilidade e segurança de sistemas que controlam processos físicos dentro das restrições operacionais e de segurança de instalações industriais e sistemas SCADA. A segurança cibernética na área de TI está principalmente preocupada em garantir a confidencialidade e integridade dos recursos de gerenciamento de informações e informações dentro de contextos administrativos e empresariais. As organizações industriais exigem ambos os tipos de cibersegurança e lutam para estabelecer responsabilidades e limites apropriados para os silos separados de segurança para empresas.

5.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessária para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

As premissas sobre o Cenário Setorial Geral (ver livro "Documento executivo") descrevem um conjunto de expectativas que influenciarão positivamente o futuro desenvolvimento das redes inteligentes no Brasil, são elas: (i) taxa de crescimento do PIB crescente até 2050, (ii) inserção da geração distribuída da ordem de 10% até 2030 e (iii) uma parcela de 5% da frota de veículos híbrida também em 2030.

As previsões de crescimento contínuo devem afastar a necessidade de contingenciamento de recursos para a área de segurança cibernética. O investimento precisa manter-se atualizado com a dinâmica e rápida evolução da ameaça cibernética, evitando que: (i) haja carência de formação de pessoal especializado em segurança cibernética, (ii) a segurança não acompanhe a evolução tecnologia, portanto as ferramentas de segurança se tornem menos eficazes e (iii) as ameaças atuais absorvam todos os recursos e as ameaças futuras não sejam tratadas.

A perspectiva de implantação das Redes Elétricas Inteligentes (REIs) no Brasil constitui, indubitavelmente, uma importante oportunidade para alavancar e consolidar o desenvolvimento da indústria brasileira fornecedora de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), porém torna crítica a construção de um arcabouço de pesquisa voltado à questão da segurança cibernética.

Embora não haja uma perspectiva de necessidade de modernização e/ou recapacitação radical do sistema, em face da questão do envelhecimento, como atinge outros países, como o Canadá, pode-se concluir que essa transformação ocorrerá de forma cadenciada até 2030. Esta modernização prevista para o sistema, em face de seu envelhecimento, ainda que incipiente em um primeiro momento, enfatiza a relevância da introdução do controle regulatório aos componentes críticos da infraestrutura do setor elétrico, passando a exigir um patamar mínimo de requisitos para certos equipamentos, processos e serviços, considerando os aspectos da segurança cibernética.

Destacam-se ainda influências da evolução de outras macrotemáticas no cenário geral em questão. As macrotemáticas tecnologia da informação e comunicação e avaliação da conformidade controlarão



o grau de inserção das TICs nas tecnologias de operação da cadeia de fornecimento de energia e no desenvolvimento do referencial técnico e de programas de avaliação com foco em segurança cibernética.

Finalmente, espera-se, por meio do investimento em PD&I, que os indicadores de produção científica aumentem ao longo do tempo, especialmente na temática tecnologia de segurança. Da mesma forma, espera-se a expansão e modernização da infraestrutura laboratorial e de organismos de avaliação da conformidade, de modo a gerar a capacidade e a autonomia nacional para atender às demandas do setor elétrico nesta área de segurança cibernética (inicialmente bastante concentrada nas avaliações dos dispositivos básicos, tais como os medidores inteligentes).

Considerando esse cenário, foram estabelecidas três métricas principais que sintetizam integralmente os diferentes aspectos de evolução das temáticas em segurança cibernética. Tais métricas descrevem o desenvolvimento das áreas consideradas, bem como o do cenário que as influencia, para os anos do período de referência deste estudo. São elas:

- Alinhamento ao contexto nacional - esta primeira métrica reflete o alinhamento tecnológico das diferentes temáticas frente aos problemas específicos e peculiares da realidade nacional.
- Acessibilidade tecnológica - esta segunda métrica caracteriza a oferta de ferramentas, processos, sistemas, modelos, tecnologia para fazer frente à temática em questão.
- Disseminação - captura a ordem de disseminação/absorção de um determinado aspecto no setor elétrico.

Para caracterizar melhor o estágio de desenvolvimento do cenário geral, foram usadas as funções (identificação, proteção, detecção, resposta e recuperação) do arcabouço “Melhoria da segurança cibernética de infraestruturas Críticas” publicado pelo National Institute of Standards and Technology (NIST, em 2017). Este arcabouço visa permitir que as organizações - independentemente da dimensão, do grau de risco da segurança cibernética ou da sofisticação da segurança cibernética - apliquem os princípios e as melhores práticas de gestão de riscos para melhorar a segurança e a resiliência das infraestruturas críticas. Como este *framework* provê organização e estruturação às múltiplas abordagens atuais para a segurança cibernética, reunindo padrões, diretrizes e práticas que estão funcionando efetivamente na indústria hoje, é uma boa fonte de inspiração para a retirada de funções para a realização dos indicadores de futuro desta temática no Brasil:

- **Identificação** - relativo à compreensão organizacional dos riscos de segurança cibernética em sistemas, ativos, dados e competências. A identificação engloba o estado de desenvolvimento da tecnologia de gestão de ativos; ambiente de negócios; governança; avaliação de risco; estratégia de gestão de riscos.

- **Proteção** - relativo às contramedidas adequadas para garantir a prestação de serviços de infraestrutura elétrica. A função proteger suporta a capacidade de limitar ou conter o impacto de um possível evento de segurança cibernética. Engloba: controle de acesso; sensibilização e formação; segurança de dados; processos e procedimentos de proteção da informação; manutenção; tecnologia de proteção.
- **Deteção** - relativo às atividades apropriadas para identificar a ocorrência de um evento de segurança cibernética. A função detectar permite a descoberta oportuna de eventos de segurança cibernética. Exemplos de categorias de resultados dentro desta função incluem: anomalias e eventos; monitoramento contínuo de segurança; processos de deteção.
- **Resposta** - refere-se às atividades apropriadas para adotar medidas relativamente a um evento de segurança cibernética detectado. Este indicador suporta a capacidade de conter o impacto de um evento potencial de segurança cibernética. Exemplos de categorias dentro desta função incluem planeamento de resposta, comunicações, análise, mitigação e melhorias.
- **Recuperação** - captura atividades apropriadas para manter planos de resiliência e restaurar quaisquer capacidades ou serviços que foram prejudicados devido a um evento de segurança cibernética. Exemplos de categorias de resultados dentro desta função incluem planeamento de recuperação, melhorias e comunicações.

Desta forma, espera-se que, em 2020, os ativos da função identificação estarão orientados à problemática internacional, com pouco alinhamento à problemática nacional, voltados principalmente para as questões de terrorismo e privacidade (em detrimento de fraudes metrológicas). No que se refere à disseminação, os ativos para segurança cibernética de deteção continuarão principalmente evidenciados em TI, não considerando aspectos de TO (Tecnologia Operacional), os ativos de resposta estarão também com alguma formalização residual para aspectos de TI, e os ativos de recuperação consistirão principalmente de procedimento manuais, sem integração com TI. Quanto aos aspectos de acessibilidade tecnológica, espera-se uma oferta de soluções relativamente difíceis para a proteção, principalmente voltadas para questão da interrupção de serviços e quebra de privacidade.

Em 2025, os ativos de segurança já terão um maior alinhamento ao contexto nacional, sendo que a função identificação já estará orientada ao cenário nacional (com tratamento antifraude). Para a métrica disseminação, a função deteção terá bom desenvolvimento na área de TI, bem como em TO, porém com integração parcial entre ambas. Já para função recuperação, prevêem-se ainda procedimentos ainda manuais para aspectos de TO, sem integração com TI. Quanto à métrica acessibilidade tecnológica, é previsto uma boa oferta de soluções, com fornecedores nacionais.



A partir de 2030, caso não exista uma evolução tecnológica disruptiva que altere significativamente a TI como ela é atualmente, espera-se que todas as métricas (alinhamento ao contexto nacional, disseminação e acessibilidade tecnológica) convirjam para um cenário em que teremos para a função: (i) Identificação: modelos e práticas bem consolidados; (ii) Proteção: soluções robustas disseminadas; (iii) Detecção: consolidação de práticas; (iv) Resposta: total integração entre TO e TI; finalmente (v) Recuperação: automatizada.

Além do cenário geral, as respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas neste estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento das rotas, ver anexo.

5.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesta seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

5.3.1 Temática arcabouço regulatório

Para a temática arcabouço regulatório, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 26 – Temática de arcabouço regulatório²⁶.

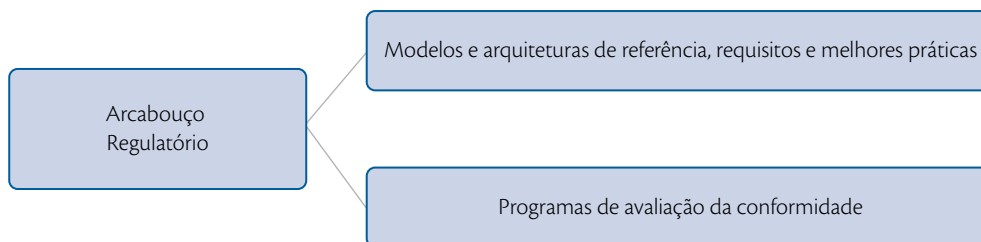


Figura 26 – Temática de arcabouço regulatório

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução de desenvolvimento tecnológico das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 28 ao Gráfico 29. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas

Para a rota modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas, espera-se que, em 2020, o alinhamento ao contexto nacional seja ainda embrionário, caracterizado pela implantação de práticas consolidadas para o mercado internacional. Em 2025, espera-se que este quadro já comece a reverter, chegando a um alinhamento específico ao contexto nacional a partir de 2030.

No que tange à disponibilidade de tecnologia, já existem atualmente muita oferta de frameworks para infraestruturas críticas e redes elétricas inteligentes, que deverá se manter inalterada durante as próximas décadas.

Por fim, estima-se que quanto à disseminação, estaremos ainda em um estágio embrionário em 2020, que deve evoluir significativamente em 2025 e atingir um bom estágio de desenvolvimento a partir de 2030. Considerando este cenário, a evolução de maturidade tecnológica desta rota foi projetada tal qual Gráfico 28.

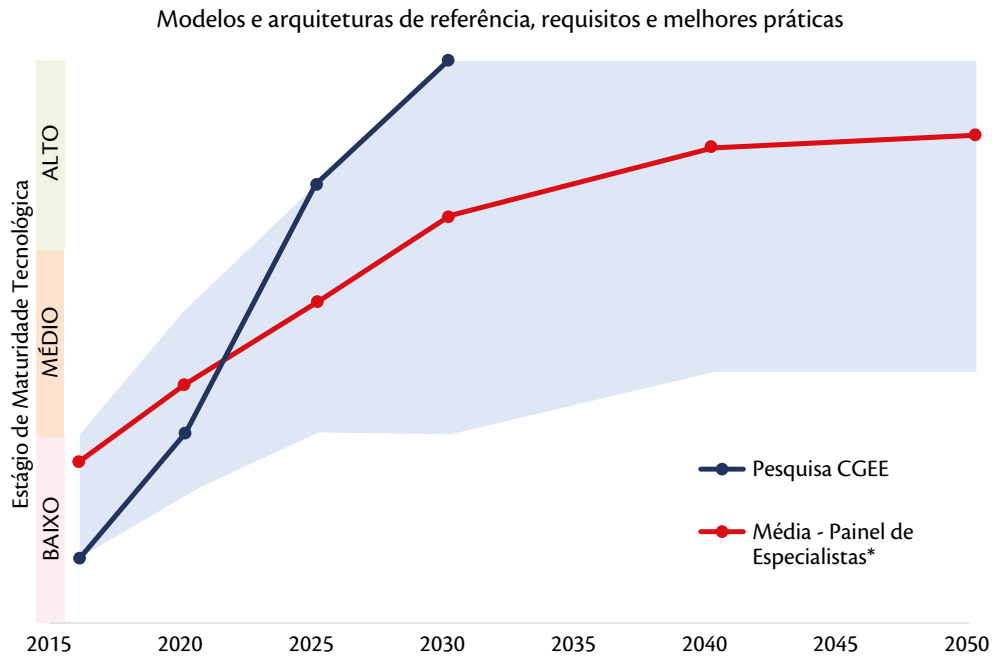


Gráfico 28 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 28 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas²⁸ apresenta as diferentes interpretações de um determinado conjunto de especialistas sobre como será a evolução do desenvolvimento da rota modelo e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas. Nesta primeira rota, verifica-se um comportamento bastante padrão da comunidade de ciência da computação (que se repetirá nas próximas rotas), muito baseado na expectativa de resultados rápidos, decorrência de a velocidade das transformações tecnológicas que vem sendo imprimida nesta área. Desta forma, pode-se verificar que quase todos os especialistas acompanharam a previsão inicial do consultor, acenando para um estágio de maturidade substancialmente alto em 2030 (os dois consultores que imprimiram uma expectativa diferente justificaram que estavam se referindo à questão específica da privacidade). Uma análise desta curva de evolução da maturidade deve ser feita de uma maneira um pouco diferente do usual, uma vez que ela está baseada na evolução da maturidade de modelos para a tecnologia existente no momento atual. Em outras palavras, se não aparecer nenhuma tecnologia disruptiva, esta deve ser a cadência da evolução da maturidade, já que nada relacionado à tecnologia de informação demora mais do que 1 ou 2 décadas para ser resolvido (pelo menos, tem sido sempre assim). Mas, se perguntar para

os especialistas quanto à possibilidade do aparecimento de inovações disruptivas em um futuro próximo, todos certamente responderão como sendo muito provável.

Rota 2 - Avaliação de conformidade de segurança

Para a rota avaliação de conformidade de segurança, espera-se que, em 2020, o alinhamento ao contexto nacional ainda seja muito incipiente; mas, em 2025, este quadro já estará bem alinhado, alcançando a plenitude em 2030.

No que tange à disponibilidade de tecnologia, tem-se uma carência de ferramental e de produtos para a implementação de testes de avaliação da conformidade em segurança que deve evoluir significativamente em 2025 e se diversificar muito a partir de 2030.

Por fim, quanto à disseminação, estar-se-á ainda em um estágio embrionário em 2020 e deve evoluir pouco em 2025 e somente se disseminar significativamente a partir de 2030, mas preservando um gap tecnológico quanto ao que efetivamente pode ser testado. Considerando este cenário, a evolução de maturidade tecnológica dessa rota foi projetada tal qual Gráfico 29.

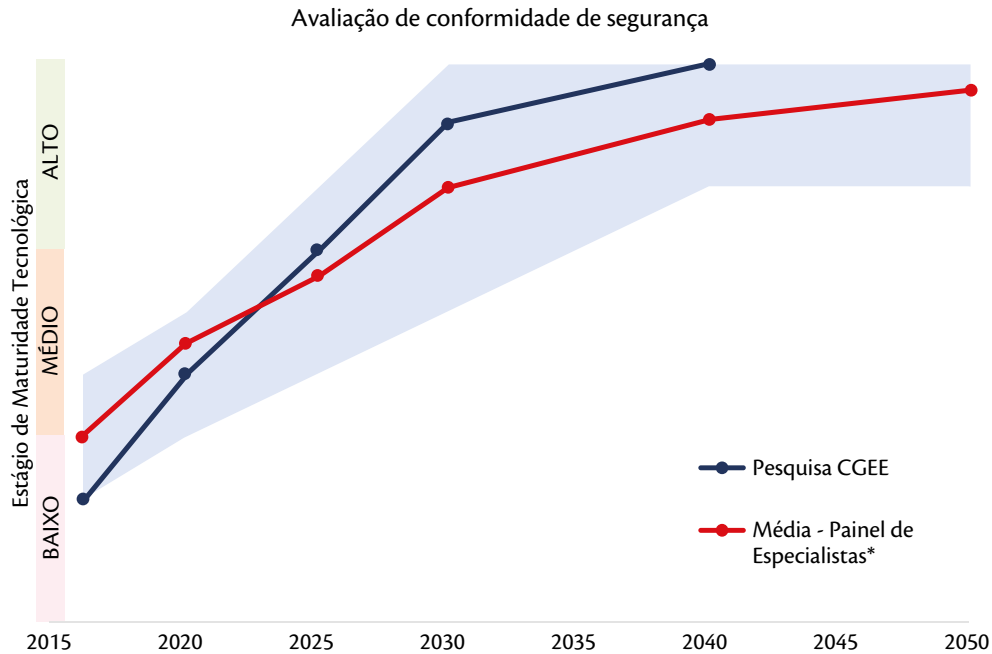


Gráfico 29 - Evolução da maturidade tecnológica da rota avaliação de conformidade de segurança

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 29 - Evolução da maturidade tecnológica da rota avaliação de conformidade de segurança apresenta as diferentes interpretações dos especialistas sobre como será a evolução do desenvolvimento da rota avaliação da conformidade de segurança. Nesta rota, também se verifica um comportamento baseado na expectativa de resultados rápidos (próprio da comunidade de computação), porém não houve discrepância significativa entre os especialistas, pois todos apontam para uma mesma curva de evolução com poucos desvios entre os níveis de maturidade esperados. Comparando com a rota anterior, nota-se uma velocidade de evolução um pouco mais lenta, o que pode ser explicado pela maior diversidade de atores necessários para sua implantação (governo, laboratórios, concessionárias, fabricantes, etc.).

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 16 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de arcabouço regulatório

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Arcabouço Regulatório	Modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas	Fatores portadores de futuro	Recursos para formação de uma rede colaborativa com gestão centralizada (concessionárias, reguladores, fabricantes)		Intensa troca de experiências com completa internacionalização; manutenção e atualização constante das melhores práticas		Ecossistema corporativo apto para uma adaptabilidade instantânea dos novos paradigmas de TI e TO	
		Maturidade	BAIXO		ALTO			
	Programas de avaliação da conformidade	Fatores portadores de futuro	Rede colaborativa com gestão centralizada (concessionárias, reguladores, fabricantes); incentivos para desenvolvimento de competências e estabelecimentos de rede de laboratórios acreditados		Consolidação de atividades de fiscalização regulares (verificação periódica); evolução da cadeia produtiva nacional		Mobilização permanente (rede) para respostas rápidas a possíveis mudanças disruptivas	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

5.3.2 Temática gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade

Para a temática gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 27.

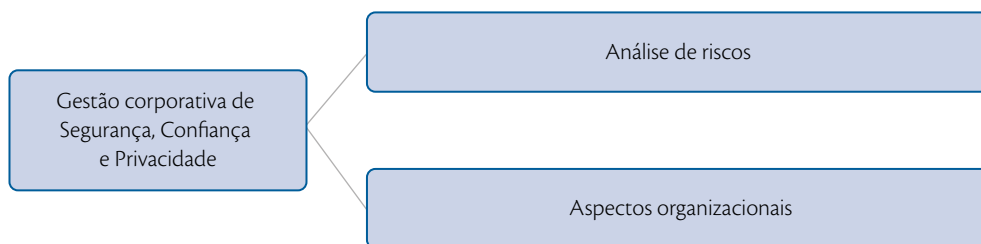


Figura 27 - Temática gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade

Fonte: Elaboração própria.



Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução do desenvolvimento das rotas consideradas, dispostas Gráfico 30 e Gráfico 31. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 3 - Análise de riscos

Para a rota análise de riscos, não haverá, de imediato, total aderência às especificidades do cenário nacional. Espera-se que esse cenário evolua a partir de 2030, quando ocorrerá um maior alinhamento ao contexto nacional, mas que sempre preservará uma defasagem tecnológica.

No que tange à disponibilidade de tecnologia, já existe atualmente muita oferta de frameworks para análise de riscos em segurança cibernética, o que deverá se manter inalterado durante as próximas décadas.

Por fim, para um melhor detalhamento dos estágios de evolução esperados para a métrica disseminação das ferramentas/metodologias de análise de risco, optou-se por usar a classificação proposta pelo National Institute of Standards and Technology, (NIST 2017), cuja definição de níveis é a seguinte:

Nível 1: Parcial

- **Gestão de riscos** - As práticas de gerenciamento de riscos não são formalizadas e o risco é gerenciado de forma *ad hoc* e, às vezes, reativa. A priorização de atividades de segurança cibernética pode não ser diretamente guiada pelos objetivos de risco organizacional, ameaças ou requisitos de negócios/missão.
- **Programa de gestão integrada de riscos** - Consciência limitada do risco de cibersegurança a nível organizacional. A organização implementa o gerenciamento de riscos de segurança cibernética de forma irregular, caso a caso, devido à experiência variada ou informações obtidas de fontes externas. A organização pode não ter processos que permitam que as informações de segurança cibernética sejam compartilhadas dentro da organização.

- **Participação externa** - A organização pode não ter os processos implementados para participar na coordenação ou colaboração com outras entidades.
- **Gestão de risco da cadeia de suprimento cibernético** – A organização pode não compreender todas as implicações dos riscos da cadeia de suprimento cibernético ou ter os processos implementados para identificar, avaliar e mitigar seus riscos de cadeia de suprimento cibernético.

Nível 2: Risco Informado

- **Gestão** - As práticas de gestão de risco são aprovadas pela administração, mas não podem ser estabelecidas como políticas de toda a organização. A priorização das atividades de segurança cibernética é diretamente informada pelos objetivos de risco organizacionais, pelo ambiente de ameaças ou pelos requisitos de negócio / missão.
- **Programa de gestão integrada** - Há uma consciência do risco de segurança cibernética a nível organizacional, mas não foi estabelecida uma abordagem de toda a organização para a gestão do risco de cibersegurança. As informações de segurança cibernética são compartilhadas dentro da organização informalmente. A consideração da segurança cibernética pode ocorrer em alguns níveis da organização, mas não em todos os níveis. A avaliação do risco cibernético dos ativos organizacionais não é tipicamente repetível.
- **Participação externa** - A organização conhece seu papel no ecossistema maior, mas não formalizou suas capacidades para interagir e compartilhar informações externamente.
- **Gestão de risco da cadeia de suprimento cibernético** - A organização entende os riscos da cadeia de suprimentos cibernéticos associados aos produtos e serviços que suportam a função de missão de negócios da organização ou que são utilizados nos produtos ou serviços da organização. A organização não formalizou suas capacidades para gerenciar os riscos da cadeia de suprimento cibernético internamente ou com seus fornecedores e parceiros e executa essas atividades de forma inconsistente.



Nível 3: Repetível

- **Gestão de riscos** - As práticas de gestão de risco da organização são formalmente aprovadas e expressas como política. As práticas organizacionais de segurança cibernética são regularmente atualizadas com base na aplicação de processos de gerenciamento de riscos às mudanças nos requisitos de negócios / missão e uma mudança na ameaça e no cenário tecnológico.
- **Programa integrado de gerenciamento de risco** - Existe uma abordagem de toda a organização para gerenciar o risco de segurança cibernética. Políticas, processos e procedimentos com base em riscos são definidos/implementados conforme planejados e revisados. Métodos consistentes estão no lugar para responder eficazmente às mudanças no risco. O pessoal possui o conhecimento e as habilidades para desempenhar suas funções e responsabilidades. A organização monitora de forma consistente e precisa o risco cibernético de ativos organizacionais. Especialistas em segurança cibernética sênior e executivos (não cibernéticos) se comunicam regularmente sobre riscos de segurança cibernética. Os altos executivos asseguram a consideração da segurança cibernética através de todas as linhas de operação na organização.
- **Participação externa** - A organização entende suas dependências e parceiros e recebe informações desses parceiros que permitem a colaboração e decisões de gerenciamento baseadas em risco dentro da organização em resposta a eventos.
- **Gerenciamento de risco de cadeia de suprimentos cibernéticos** - Uma abordagem de toda a organização para gerenciar riscos de cadeia de suprimentos cibernéticos é implementada através de políticas, processos e procedimentos de gerenciamento de risco corporativo. Isso provavelmente inclui uma estrutura de governança (por exemplo, Conselho de Risco) que gerencia os riscos da cadeia de suprimentos cibernéticos em equilíbrio com outros riscos empresariais. Políticas, processos e procedimentos são implementados de forma consistente, conforme pretendido, sendo continuamente monitorados e revisados. O pessoal possui os conhecimentos e habilidades para executar suas responsabilidades de gerenciamento de risco de cadeia de suprimentos ciber. A organização possui acordos formais para comunicar os requisitos básicos aos seus fornecedores e parceiros. Ela compartilha ativamente informações com parceiros para garantir que informações precisas e atuais sejam distribuídas e consumidas para melhorar a segurança.

Nível 4: Adaptativo

- **Gestão de riscos** - A organização adapta suas práticas de segurança cibernética com base em lições aprendidas e indicadores preditivos derivados de atividades de segurança cibernética anteriores e atuais. Através de um processo de melhoria contínua, incorporando avançadas tecnologias e práticas de segurança cibernética, a organização se adapta ativamente a um cenário de constante mudança e responde a ameaças evolutivas e sofisticadas em tempo hábil.
- **Programa de gestão integrada de riscos** - Existe uma abordagem de toda a organização para o gerenciamento do risco de cibersegurança que utiliza políticas, processos e procedimentos com base em riscos para lidar com os possíveis eventos. A relação entre risco de segurança cibernética e objetivos de missão/negócios é claramente entendida e considerada ao tomar decisões. Os executivos seniores monitoram o risco de segurança cibernética no mesmo contexto do risco financeiro e outros riscos organizacionais. O orçamento organizacional baseia-se na compreensão do ambiente de risco atual e previsto e dos futuros apetites de risco. As unidades de negócios implementam a visão executiva e analisam os riscos no nível do sistema no contexto do apetite e tolerância ao risco organizacional. O gerenciamento de riscos de segurança cibernética faz parte da cultura organizacional e evolui a partir de uma conscientização de atividades anteriores, informações compartilhadas por outras fontes e uma consciência contínua de atividades em seus sistemas e redes. O risco de cibersegurança é claramente articulado e compreendido em todos os estratos da empresa. A organização pode responder rápida e eficientemente às mudanças nos objetivos de negócios / missão e nas paisagens de ameaça e tecnologia na forma como o risco é comunicado e abordado.
- **Participação externa** - A organização gerencia o risco e compartilha ativamente informações com parceiros para assegurar que informações precisas e atuais sejam distribuídas e consumidas para melhorar a segurança cibernética antes que ocorra um evento de segurança cibernética.
- **Gerenciamento de riscos de cadeia de suprimento cibernético** - A organização pode responder de forma rápida e eficiente aos riscos emergentes da cadeia de suprimento cibernético usando informações em tempo real ou quase em tempo real e alavancar um conhecimento institucionalizado do gerenciamento de riscos da cadeia de suprimentos cibernéticos com seus fornecedores e parceiros externos, internamente, em áreas funcionais relacionadas e em todos os níveis da organização. A organização se comunica proativamente e usa mecanismos formais (por exemplo, acordos) e informais para desenvolver e manter relações fortes com seus fornecedores, parceiros e compradores individuais e organizacionais.



Com base nesta classificação, pode-se dizer que, em 2020, a maioria das organizações estarão ainda no nível 1 (parcial). Em 2025, ocorre uma evolução para um estágio onde grande parte das organizações já estarão no nível 2 (risco informado) ou no nível 3 (repetível) e, a partir de 2030, espera-se que a quase totalidade das organizações já tenha alcançado o nível 4 (adaptativo). Considerando este cenário, a evolução de maturidade tecnológica desta rota foi projetada tal qual Gráfico 30.

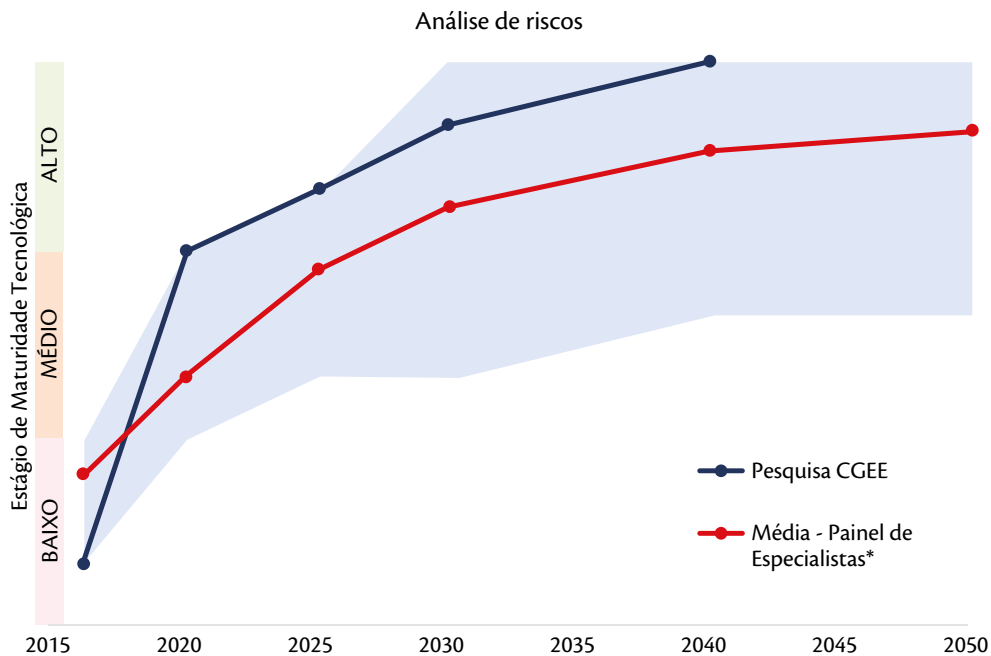


Gráfico 30- Evolução da maturidade tecnológica da rota de análise de riscos

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 30 apresenta as diferentes interpretações dos especialistas sobre como será a evolução da maturidade da rota análise de riscos. Nesta rota, também se verifica um comportamento baseado na expectativa de resultados rápidos (próprio da comunidade de computação). Nesta rota, praticamente todos os especialistas convergiram em suas previsões, com a exceção do especialista em privacidade (novamente justifica que sua área ainda precisa de atenção especial).

Rota 4 - Aspectos organizacionais

Para a rota aspectos organizacionais, espera-se que, em 2020, o alinhamento ao contexto nacional seja ainda incipiente, caracterizado pela implantação de práticas consolidadas para o mercado internacional. Em 2025, a perspectiva é de que este quadro já comece a reverter, chegando ao alinhamento específico ao contexto nacional a partir de 2030, porém sempre mantendo uma defasagem residual.

No que tange à disponibilidade de tecnologia, já existem atualmente muita oferta de frameworks para infraestruturas críticas e redes elétricas inteligentes, que deverá se manter inalterada durante as próximas décadas.

Quanto à disseminação, estaremos ainda em um estágio incipiente em 2020, que deve evoluir significativamente em 2025 e atingir um bom estágio de maturidade partir de 2030. Porém, como alterações nos aspectos organizacionais são intrinsecamente difíceis (tempo e recursos), prevê-se uma dificuldade contínua de se acompanhar o estado da arte (normalmente com evoluções muito rápidas). Considerando este cenário, a evolução de maturidade tecnológica desta rota foi projetada tal qual Gráfico 31.

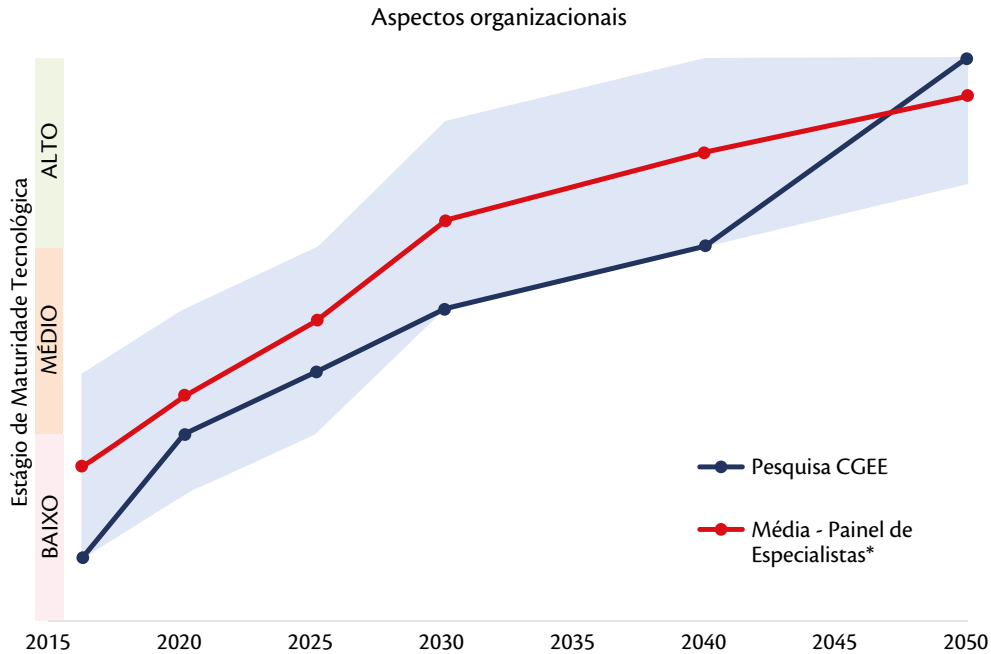


Gráfico 31 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de aspectos organizacionais

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 31 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de aspectos organizacionais³¹ apresenta as diferentes interpretações dos especialistas sobre como será a evolução da maturidade da rota aspectos organizacionais. Nesta rota, também se verifica um comportamento baseado na expectativa de resultados rápidos (próprio da comunidade de computação). Nesta rota, praticamente todos os especialistas convergiram em suas previsões, destacando uma evolução mais lenta para a maturidade plena, quando comparada com a rota anterior.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados na tabela a seguir os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 17 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade.

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Gestão corporativa de Segurança, Confiança e Privacidade	Análise de riscos	Fatores portadores de futuro	Conscientização dos stakeholders; editais para projetos de P&D casados (concessionárias, academia)		Avanço do arcabouço regulatório; novos profissionais com plena competência em segurança cibernética; oferta de editais de P&D casados		Aptidão para imediata absorção e disseminação de evoluções tecnológicas; nacionalização crescente da cadeia produtiva	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Aspectos organizacionais	Fatores portadores de futuro	Conscientização dos stakeholders; editais para projetos de P&D casados (concessionárias, academia)		Avanço do arcabouço regulatório; novos profissionais com plena competência em segurança cibernética; oferta de editais de P&D casados		Aptidão para imediata absorção e disseminação de evoluções tecnológicas; nacionalização crescente da cadeia produtiva	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO			ALTO

Fonte: Elaboração própria.

5.3.3 Temática tecnologias de segurança, confiança e privacidade

Para a temática tecnologias de segurança, confiança e privacidade, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 28 - Temática de tecnologias de segurança, confiança e privacidade²⁸.

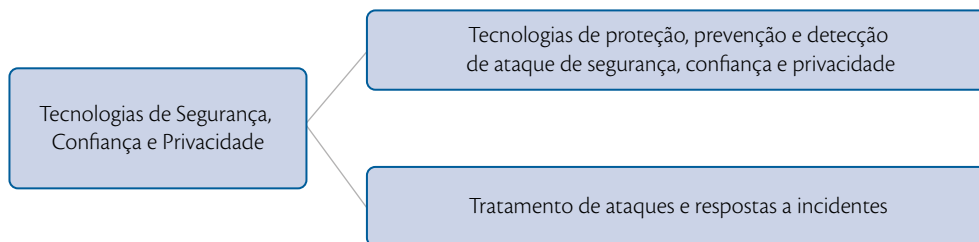


Figura 28 - Temática de tecnologias de segurança, confiança e privacidade

Fonte: Elaboração própria.



Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 32 e Gráfico 33. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 5 - Tecnologias de proteção, prevenção e detecção de ataque de segurança, confiança e privacidade

Para a rota tecnologias de proteção, prevenção e detecção de ataque de segurança, confiança e privacidade, espera-se que, em 2020, o alinhamento ao contexto nacional será ainda incipiente, caracterizado pela implantação de práticas consolidadas para o mercado internacional. Em 2025, a expectativa é de que este quadro evolua para uma situação de um bom alinhamento com o contexto nacional, mesmo que haja ainda uma defasagem do estado da arte praticado internacionalmente. A partir de 2030, este alinhamento se consolida, e o desafio será manter o pareamento com velocidade das transformações globais.

No que tange à disponibilidade de tecnologia, pode-se dizer que a oferta será relativamente limitada em 2020, mas certamente evoluirá rápido para uma situação de muita disponibilidade tecnológica durante as próximas décadas.

Por fim, quanto à disseminação, espera-se, em 2020, um estágio ainda de relativa restrição neste aspecto, que deverá evoluir rapidamente e atingir um bom nível de difusão a partir de 2025. Porém projeta-se que haja uma grande heterogeneidade das medidas de proteção implementadas, uma vez que a implementação de algumas técnicas de proteção poderá envolver recursos maiores que os riscos sofridos de qualquer forma, os custos de TI normalmente decaem rapidamente de acordo com o aparecimento de novas tecnologias. Considerando este cenário, a evolução de maturidade tecnológica desta rota foi projetada tal qual o Gráfico 32.

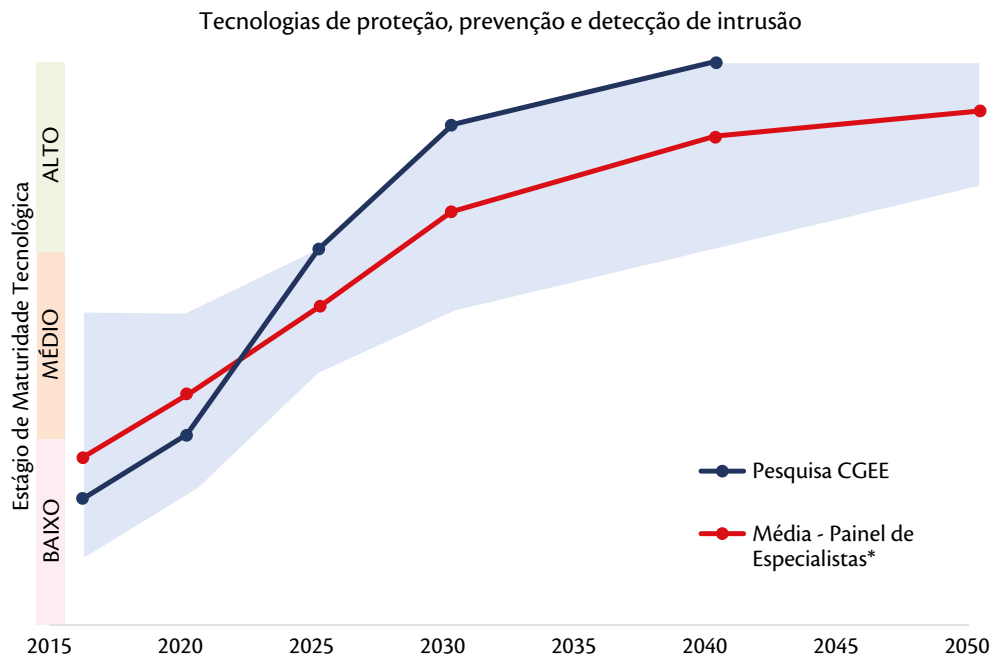


Gráfico 32 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de tecnologias de proteção, prevenção e detecção de ataque de segurança, confiança e privacidade

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 32 apresenta as diferentes interpretações dos especialistas sobre como será a evolução da maturidade da rota tecnologias de proteção, prevenção e detecção de ataque de segurança, confiança e privacidade. Nesta rota, verifica-se o mesmo comportamento das demais rotas, qual seja baseado na expectativa de resultados rápidos (próprio da comunidade de computação). Porém, como esta rota é puramente tecnológica e o conjunto de especialistas é majoritariamente composto de pesquisadores da área de Informática/Segurança Cibernética, existe uma percepção de que a questão da proteção não será totalmente resolvida até 2050 (apenas 3 especialistas apontaram que a rota atingirá maturidade até 2050). De acordo com a evolução prevista pelo autor, estima-se, contudo, que a problemática de proteção alcançará uma maturidade plena em 2040, sob a ressalva de que não ocorra uma ruptura tecnológica significativa até esta data.



Rota 6 - Tratamento de ataques e resposta a incidentes

Para a rota tratamento de ataques e resposta a incidentes, espera-se que, em 2020, o alinhamento ao contexto nacional seja ainda parcial, caracterizado pela implantação de práticas consolidadas para o mercado internacional. Este alinhamento evoluirá significativamente em 2025 e atingirá a plenitude em 2030. A partir daí, projeta-se uma constante evolução tecnológica, com impactos cada vez menores e tempos de resposta mais otimizados.

No que tange à disponibilidade de tecnologia, pode-se dizer que a oferta será relativamente limitada em 2020, mas certamente evoluirá rápido para uma situação de muita disponibilidade tecnológica durante as próximas décadas.

Quanto à disseminação, estima-se para 2020 um estágio ainda de relativa restrição neste aspecto, que deverá evoluir rapidamente e se consolidar em 2025, sendo que as implantações apresentarão níveis de sofisticação proporcionais às dimensões dos ativos em questão. Considerando este cenário, a evolução de maturidade tecnológica desta rota foi projetada tal qual o Gráfico 33.

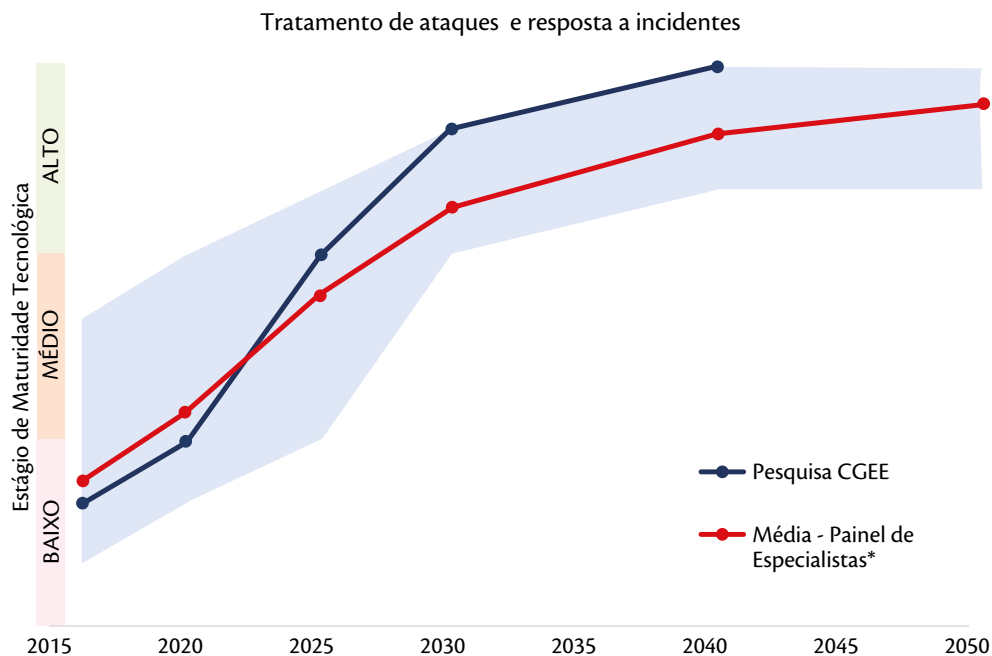


Gráfico 33 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de tratamento de ataques e resposta a incidentes

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 33 apresenta as diferentes interpretações dos especialistas sobre como será a evolução da maturidade da rota tratamento de ataques e resposta a incidentes. Nesta rota, verifica-se um comportamento muito próximo à rota anterior (tecnologias de proteção). A justificativa para esta similaridade é decorrente do fato de se tratar também de uma rota puramente tecnológica. Como o conjunto de especialistas é majoritariamente composto de pesquisadores da área de Informática/Segurança Cibernética, novamente existe uma percepção de que a do tratamento de ataques não será totalmente resolvida até 2050 (apenas metade dos especialistas apontou que a rota atingirá grau de maturidade máximo até 2050).

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 18 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de tecnologias de segurança, confiança e privacidade.

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Tecnologias de Segurança, Confiança e Privacidade	Tecnologias de proteção, prevenção e detecção de ataque de segurança, confiança e privacidade	Fatores portadores de futuro	Articulação e integração de recursos de P&D; editais integrados de P&D		Articulação e integração de recursos de P&D; editais integrados; internacionalização; contrapartidas fiscais; investimentos volumosos em capacitação, treinamento e formação		Fortalecimento da cadeia produtiva nacional	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Tratamento de ataques e respostas a incidentes	Fatores portadores de futuro	Articulação e integração de recursos de P&D; envolvimento em iniciativas internacionais; conscientização de stakeholders (eventos de capacitação)		Articulação e integração de recursos de P&D; editais integrados; internacionalização; contrapartidas fiscais; investimentos volumosos em capacitação, treinamento e formação		Fortalecimento da cadeia produtiva nacional	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

5.4 Priorização

Neste item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática segurança cibernética. Conforme explanado, na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, de forma crescente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota 6, pois são seis rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição,

podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática segurança cibernética

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Tecnologias de proteção, prevenção e detecção de intrusão	Tecnologias de Segurança, Confiança e Privacidade
2	Modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas	Arcabouço Regulatório
3	Análise de riscos	Gestão corporativa de Segurança, Confiança e Privacidade
4	Programas de avaliação da conformidade	Arcabouço Regulatório
5	Tratamento de ataques e resposta a incidentes	Tecnologias de Segurança, Confiança e Privacidade
6	Aspectos organizacionais	Gestão corporativa de Segurança, Confiança e Privacidade

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do exercício de priorização das rotas mostra nitidamente uma influência muito forte do perfil dos especialistas que estavam presente na reunião. A grande maioria era oriundo da comunidade acadêmica, pertencendo à comunidade de informática, com alguns especificamente dedicados à área de Segurança da Informação. Sendo assim, ocorreu uma expressiva concentração de votação na rota tecnologias de proteção, prevenção e detecção de intrusão como a de maior prioridade, uma vez que esta é nitidamente a de maior teor tecnológico.

Apesar deste viés, o resultado mostrou uma boa sensibilização às questões operacionais do setor elétrico, onde as rotas priorizadas nitidamente espelham uma boa ordem de tratamento: melhores práticas, análise de riscos, avaliação da conformidade, tratamento de incidentes e aspectos organizacionais.



Capítulo 6



Capítulo 6

Macrotemática Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)

A macrotemática tecnologia da informação e comunicação foi estruturada em duas temáticas distintas, que abordam as tendências e possibilidades de PD&I concernentes às tecnologias da informação e comunicação necessárias para suportar as exigências e demanda das redes elétricas do futuro. As temáticas são apresentadas na Figura 29.

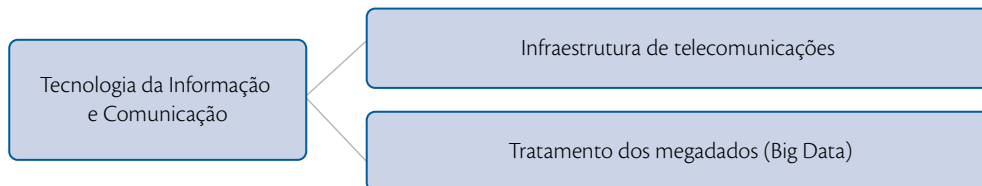


Figura 29 - Temáticas de tecnologia da informação e comunicação

Fonte: Elaboração própria.

6.1 Visão de futuro

6.1.1 Cenário Setorial

Na perspectiva de TIC, as redes elétricas inteligentes podem ser vistas como a digitalização da rede de energia elétrica em larga escala. A disponibilidade de mais informações a respeito da infraestrutura de distribuição possibilitará uma melhor decisão por parte de planejadores e operadores.

Documentos internacionais reportam que haverá nos próximos anos um aumento substancial de informações que deverão gerar valor no ciclo de planejamento, construção, manutenção e operação da rede de energia elétrica, com mais funções de automação pelo lado dos consumidores e mais funções de automação pelo lado da rede de energia elétrica, portanto com maior dependência da infraestrutura de TIC. O advento da internet das coisas impulsionará investimentos em processamento massivo de dados e na proteção de dados sensíveis.

No Brasil, observa-se que a demanda de energia elétrica está em fase de crescimento com perspectivas de atingir patamares em torno de 400GW e 480GW, em capacidade instalada até 2050. Estima-se, também, que, com a evolução da geração distribuída, teremos por volta de 10% do mercado de energia sustentada por essa tecnologia. Outro dado importante refere-se aos avanços tecnológicos da medição inteligente, nos quais se estima que, em 2030, metade das residências brasileiras possuirão um medidor inteligente instalado. Em suma, atender aos novos desafios impostos pela mudança tecnológica do setor elétrico implicará, definitivamente, os desafios tecnológicos para área de TIC no Brasil.

6.1.2 Objetivo geral

Considerando o respectivo cenário, o foco principal de investimento em PD&I está em modernizar toda a infraestrutura da rede elétrica de forma a permitir a inserção/desenvolvimento de novas tecnologias, tais como, medição inteligente, geração distribuída, monitoração on-line da qualidade de serviço, sensoriamento de dispositivos inteligentes (internet das coisas), segurança da informação, processamento de grande volume de dados, entre outras. Portanto, para a modernização do sistema elétrico, deve ser buscada a aplicação de tecnologias de TIC alinhadas com as necessidades modernas, mas que não resultem em maior complexidade e custos para o sistema.

6.1.3 Objetivo específico

Curto prazo (2017-2020):

- faixas de frequência adequadas a cada serviço;
- diretrizes para o uso de tecnologias a fim de obter uma infraestrutura de baixo custo para suporte as redes elétricas inteligentes;
- requisitos definidos de rede para medição sincrofasorial;



- requisitos definidos de rede para automação e funções críticas do sistema elétrico;
- diretrizes para suporte ao alto volume de dados com a introdução de redes inteligentes;
- definição de requisitos de segurança da informação com a adoção de rede inteligente;
- requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída;
- diretrizes para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída.

Médio prazo (2020-2030):

- requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede IP;
- novas tecnologias para infraestrutura de redes inteligentes;
- diretrizes para migração da rede legada para a rede de IP;
- rede IP em conformidade com os requisitos de segurança cibernética;
- diretrizes para implantação de Wide Area Measurement System (WAMS);
- migração de uso de canais dedicados para canais compartilhados de comunicação (análise de parâmetros de atraso, perdas, vazão, etc.);
- caracterização do impacto do alto volume de dados considerando a introdução de redes inteligentes;
- framework/estrutura para compartilhamento de dados entre empresas para novos negócios;
- formas eficientes de armazenamento, organização e recuperação de grandes volumes de dados;
- diretrizes para armazenamento, organização e recuperação de grandes volumes de dados com a rede inteligente;
- identificação dos benefícios dos megadados e novas aplicações para melhorar o desempenho do sistema elétrico;
- técnicas para análise de dados (*analytics*);
- arquitetura de gerenciamento de dispositivos para garantir comunicação M2M;
- diretrizes para arquitetura de gerenciamento de dispositivos para garantir comunicação M2M;
- avaliação e definição de protocolos para comunicação de dispositivos M2M;
- protocolos e interoperabilidade para os dispositivos de IoT.

Longo prazo (2030-2050):

- tecnologias de inteligência artificial para aplicação no setor elétrico;
- novas tecnologias para armazenamento e extração de dados (big data);
- compatibilização de sistemas de gerenciamento tendo em vista a implantação de cidades inteligentes;
- verificação e validação formal e de procedimentos de testes para avaliação da conformidade dos dispositivos IoT com respeito aos aspectos de segurança, interoperabilidade, requisitos de desempenho de tempo real.

6.1.4 Fundamentação

Os aspectos apresentados no Cenário Setorial Geral (ver livro "Documento executivo") apontam para um crescente investimento em Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) no setor elétrico do Brasil. Aspectos como: a elevação do PIB, o crescimento industrial e o aumento da população economicamente ativa embasam a necessidade de investimento em TIC visando ao futuro do setor elétrico até 2050.

A modernização da infraestrutura elétrica será fundamental para permitir que novas tecnologias (geração distribuída, processamento de alto volume de dados e redes inteligentes) possam ser absorvidas e contempladas num cenário futuro dos sistemas elétricos.

Especificamente, a modernização capacitará a rede elétrica, transformando-se numa rede inteligente (REI), desde a sua geração até o consumidor final. Isso implicará uma rede totalmente conectada sobre IP (*Internet Protocol*), com sensores e PMUs (*Phase Measurement Unit*), geração distribuída, com capacidade para absorção de novos protocolos de comunicação, como *Machine-to-Machine (M2M)* e com capacidade de tomada de decisão (monitoração e supervisão) a partir do processamento de um alto volume de dados.

De uma forma geral, a modernização da infraestrutura de telecomunicações e a capacitação tecnológica para o tratamento dos megadados têm seus impactos em outras macrotemáticas, como em segurança cibernética. Neste sentido, a macrotemática de TIC pode ser vista como base tecnológica que permitirá que outras áreas alcancem os níveis tecnológicos projetados até 2050.



Dentro do cenário brasileiro, esta macrotemática terá uma importância nos avanços tecnológicos e econômicos do país nas próximas décadas. Os investimentos em TIC, através de cada rota a ela associada, permitirão que novas tecnologias de TIC sejam absorvidas pelo setor elétrico ou desenvolvidas pela indústria nacional, o que inevitavelmente influenciará ou estimulará projetos de pesquisa em diferentes áreas de TIC, tais como *Cloud Computing* e IoT, provocará uma maior formação de pessoal qualificado na área e melhorará o produto final entregue aos consumidores finais. Assim, o Brasil estará se adequando para permitir um crescimento planejado de sua economia provido por uma rede elétrica inteligente, robusta e confiável, facilitando o surgimento de novos negócios que farão uso de toda uma nova rede elétrica fundamentada em tecnologias de TIC.

6.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessária para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo). As métricas determinadas são brevemente abordadas a seguir.

Percentual de equipamentos produzidos no país:

Para a métrica percentual de equipamentos produzidos no país, observa-se a sua influência em todas as rotas desta macrotemática. Isto ocorre pela demanda local de investimento na produção de tecnologias que impactarão diretamente na evolução de cada uma das rotas. Espera-se uma evolução gradual desta métrica que se estima iniciar com 20% dos equipamentos produzidos no Brasil, em 2020 e com uma projeção de atingir o patamar de 90%, em 2050. Esta prospecção é esperada se no cenário brasileiro houver uma política nacional de investimentos na modernização do sistema elétrico brasileiro e no incentivo de que a indústria local tenha condições de concorrer economicamente com as indústrias estrangeiras.

Inserção de equipamentos interoperáveis:

Esta métrica refere-se, basicamente, à necessidade de diferentes equipamentos (de diferentes fabricantes) serem interoperáveis, isto é, se comuniquem entre si, o que será possível através da definição de padrões e de regulamentação desses padrões. Assim, se fará necessário um acompanhamento do setor elétrico brasileiro das normas e padrões internacionais em desenvolvimento para que haja uma compatibilidade operacional entre equipamentos fabricados em diferentes países e, também, permita que a indústria brasileira exporte os seus produtos por atenderem aos padrões internacionais de interoperabilidade. Estima-se que, dentro desse contexto, 90% dos equipamentos utilizados no sistema elétrico brasileiro sejam interoperáveis.

Percentual de equipamentos operando no modelo de rede por pacotes (IP):

Esta métrica será fundamental para a modernização da infraestrutura de redes permitindo o avanço tecnológico das redes inteligentes. Neste contexto, há de se considerar a necessidade do governo brasileiro assumir o compromisso de que toda a rede elétrica se torne acessível para transmissão de dados através de rede de pacotes e esse compromisso se reflita em investimento e estímulos de pesquisas científicas nesta área. Se houver esse compromisso, é razoável supor que partindo de um percentual de 20% em 2020 que o total de equipamentos operando em rede IP atinja um patamar de 90% em 2050.

Nível de evolução de técnicas inteligência artificial:

Esta métrica será impactada pelo retorno de investimentos de P&D que impulsionará o surgimento de técnicas de IA que serão empregadas na redes elétricas em diversas áreas, tais como: controle e automação, tomada de decisões, análise de dados, etc. Um fator importante, no cenário brasileiro, que contribuirá para evolução desta métrica é a obrigatoriedade de as concessionárias do setor elétrico investirem, obrigatoriamente, um percentual de seu faturamento em P&D. Assim se o Brasil continuar com essa política controlada pela Aneel, será possível atingir o patamar de 90% do uso de técnicas de IA em 2050.



Nível de confiabilidade/resiliência da rede:

Espera-se que, para o progresso industrial e econômico do país, o sistema elétrico seja confiável (sem interrupções e/ou falhas) e sejam resilientes de forma a suportar picos de alta demanda ou, dentro de um contexto cibernéticos, sejam capazes de evitar ataques que derrubem o sistema elétrico. É uma métrica importante, na qual necessitará de um compromisso das concessionárias em investirem, principalmente, em P&D pelos desafios tecnológicos impostos, tais como: monitoramento de rede em tempo real, análise da qualidade do sinal, proteção contra-ataques, etc. Se houver essa sinalização do setor elétrico, é viável supor que, a partir de um nível de 25%, em 2020, haja uma evolução para 90% em 2050.

Capacidade de processamento de dados/eventos;

Esta métrica refletirá o poder de investimento das concessionárias em criar uma infraestrutura para processamento de alto volume de dados provenientes, provavelmente, do advento da IoT e da computação distribuída em nuvem (*Cloud Computing*). Assim como a métrica anterior, espera-se um compromisso do setor elétrico para investimento em produtos, mas, principalmente, em P&D de forma que permita uma evolução gradual de métrica, começando com 20% em 2020 e atingindo o valor de 90% em 2050.

Também foram verificadas influências da evolução de outras macrotemáticas no cenário geral em questão. Primeiramente, a evolução tecnológica na geração, transmissão e distribuição determinarão as prioridades de equipamentos, processos e serviços cujo referencial técnico impactará diretamente na modernização da infraestrutura de telecomunicações do setor elétrico, uma das temáticas de TIC. O desenvolvimento e inserção de veículos elétricos junto com a introdução da iluminação pública inteligente, também, são áreas que influenciaram esta macrotemática, pois demandarão as melhorias previstas na infraestrutura de telecomunicações do setor elétrico, no caso dos veículos elétricos e, no tratamento de dados, no caso da iluminação pública inteligente.

A estratégia setorial que influencia a cenarização da macrotemática em questão inclui na análise ambiental e social o aumento gradual da adoção de redes elétricas inteligentes como meio para otimizar o uso da energia (eficiência energética). Dentro do foco de regulação, é esperada uma evolução na regulação da medição inteligente que permita adoção de novas estruturas tarifárias (pré-pagamento, postos tarifários) e de tarifas dinâmicas, o que necessariamente impactará na macrotemática de TIC, pois esta evolução somente será possível através de políticas e incentivos para aprimorar as redes elétricas do Brasil, usando de tecnologias baseadas em tecnologia da informação (por exemplo, processamento de alto volume de dados, armazenamento de dados, etc.) e também de comunicação (por exemplo,

comunicações bidirecionais). Ademais, para todos os outros equipamentos da rede, espera-se que ocorra um aumento gradual do número de equipamentos controlados e de programas de avaliação da conformidade sob a ótica de requisitos de segurança em software e hardware.

Finalmente, espera-se, por meio do investimento em PD&I, que os indicadores de produção científica aumentem ao longo do tempo, especialmente na temática tratamento dos megadados (big data). Da mesma forma, espera-se a expansão e modernização da infraestrutura laboratorial e de organismos de avaliação da conformidade, de modo a gerar a capacidade e autonomia nacional para atender às demandas do setor elétrico, indicando a expansão, ao longo do tempo da infraestrutura de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I).

As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas neste estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

6.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesta seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

6.3.1 Temática infraestrutura de telecomunicações

A temática infraestrutura de telecomunicações foi desdobrada nas rotas: dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações, processos e serviços; infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico; requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes; requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída, conforme descrito na Figura 30.

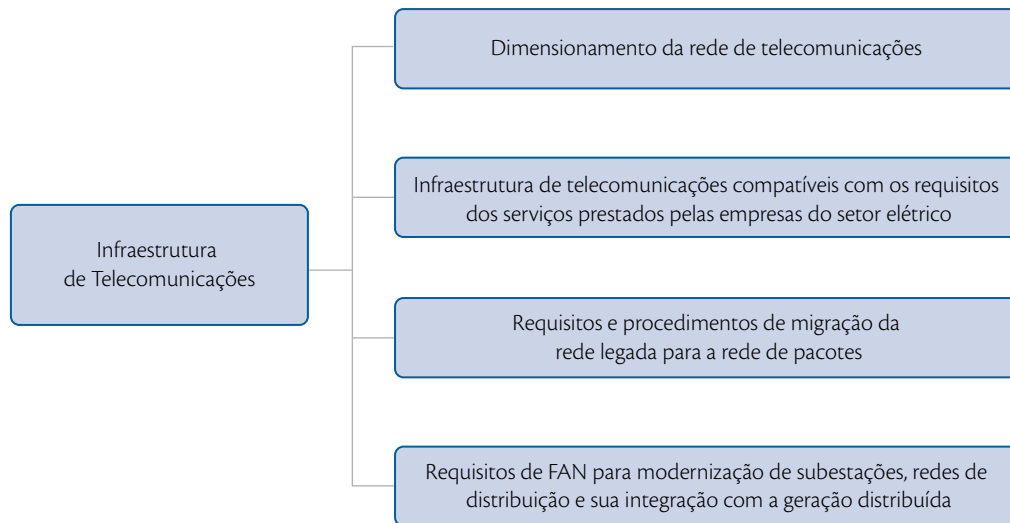


Figura 30 – Temática de infraestrutura de telecomunicações

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 1 ao Gráfico 4. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico brasileiro

A rota infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico brasileiro já tem um nível de desenvolvimento elevado, conforme apresentado no Gráfico 34 pois as empresas brasileiras do setor elétrico têm aportado, nos últimos anos, recursos para melhorias na infraestrutura de telecomunicações o que facilita o processo de

maturação desta rota que, provavelmente, atingirá seu nível máximo em 2040. A diferença, ainda que pequena, para o nível de maturidade apontada pelos especialistas pode ser explicada por uma possível morosidade na regulação dos equipamentos da rede e dos medidores inteligentes, sendo assim um limitador para evolução desta rota. No entanto se observa uma concordância geral que a entrada da Geração Distribuída (GD) será um impulsionador desta rota, necessária para permitir o monitoramento *on-line* da produção distribuída seja realizável em 2030.

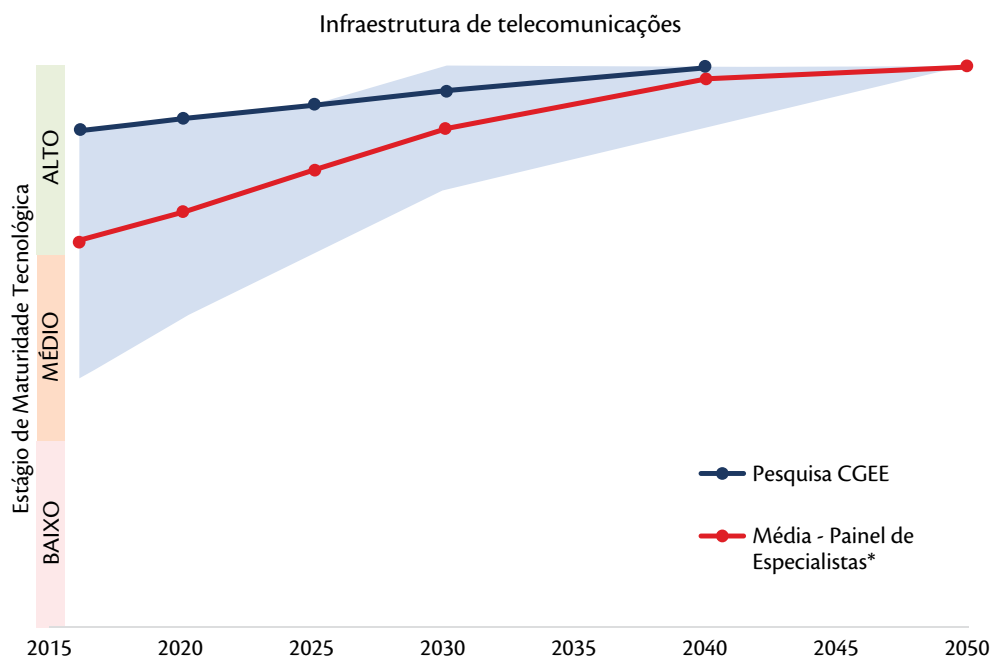


Gráfico 34 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico brasileiro

Fonte: Elaboração própria.

Rotas 2 e 3 - Requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP) e dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações



Para a rota requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP), o Gráfico 35 mostra um estágio de maturidade médio, mas um crescimento rápido que chegará ao máximo em 2030. Esse crescimento acentuado deve-se, principalmente, à utilização de equipamentos de TIC já presentes no mercado mundial, isto é, o uso de uma tecnologia já existente e experimentada. Observa-se, no Gráfico 35, que os especialistas apontam um estágio inicial de maior maturidade com crescimento constante até 2030, quando terá a influência do início da geração distribuída, a qual precisará ter esta rota em seu nível máximo, justificando sua convergência para um nível alto de forma rápida após um crescimento mais lento até 2050. O mesmo raciocínio é aplicado ao Gráfico 36, que mostra a evolução da rota dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações.

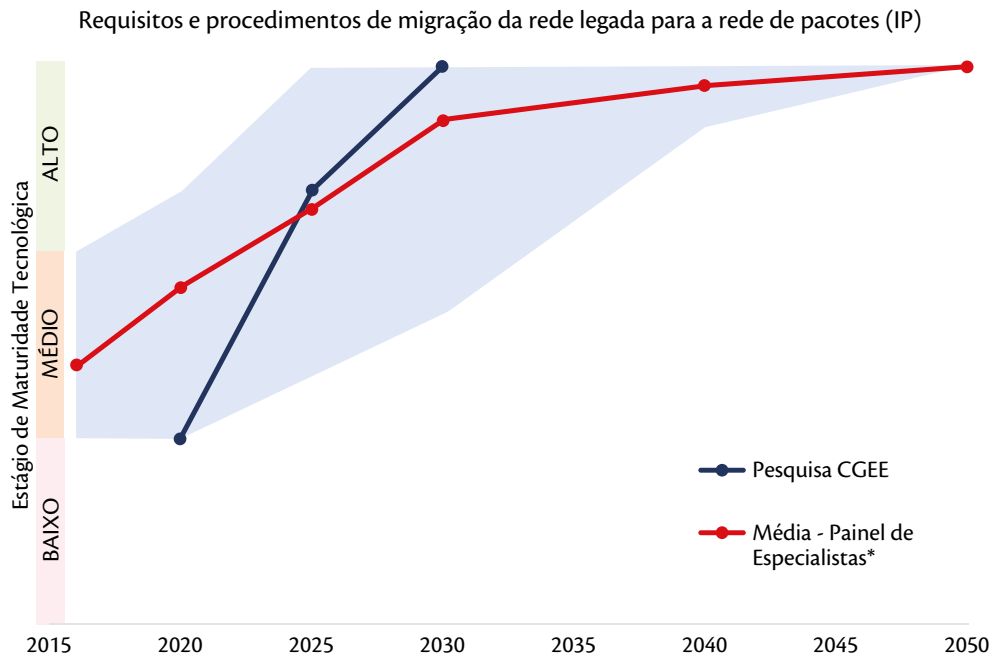


Gráfico 35 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP)

Fonte: Elaboração própria.

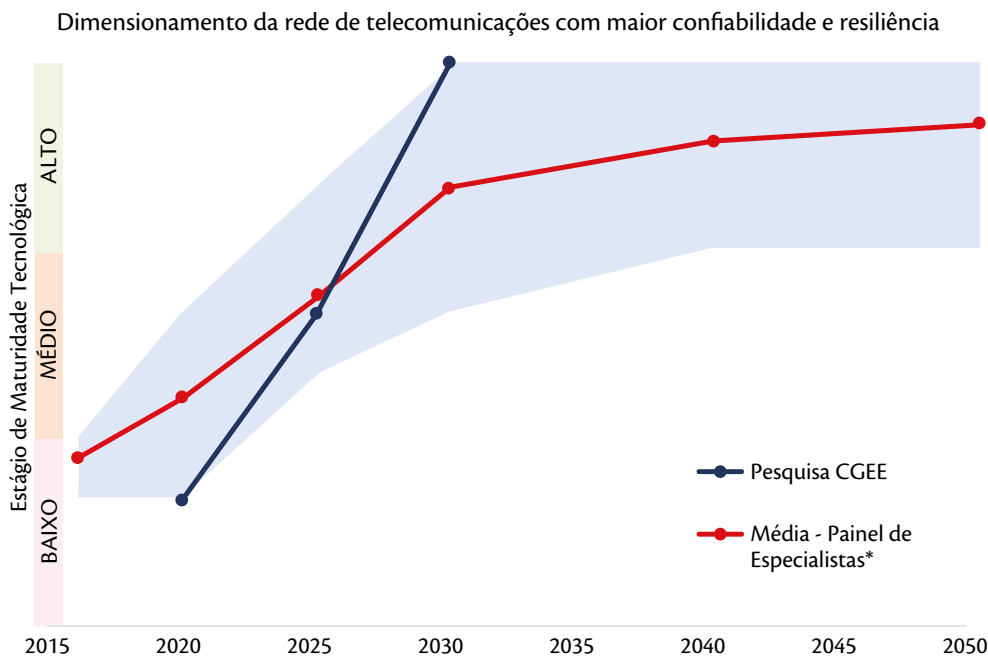


Gráfico 36 - Evolução da maturidade tecnológica da rota dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações

Fonte: Elaboração própria.

Rota 4 - Requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída

A rota requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída atingirá rapidamente o nível mais elevado de maturação, conforme apresentado no Gráfico 37 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída³⁷. Isto ocorre, pois já há uma base tecnológica que permitirá crescimento acentuado, predominando essencialmente o aproveitamento de uma base já existente. Uma outra justificativa para uma convergência em 2030 se dá pela maior penetração de Geração Distribuída (GD) esperada, o que exigirá que os requisitos desta rota já estejam plenamente fundamentados. Na visão dos especialistas, contudo, esta rota



terá um comportamento mais suave em sua evolução, embora haja a concordância de maturidade alta em 2030 também por causa da GD, mas um contínuo e lento crescimento até 2050. Abaixo, apresentam-se possíveis limitadores para a evolução desta rota, que podem corroborar com essa evolução mais morosa:

- Baixo Investimento financeiro - embora esta rota possa se utilizar de uma base tecnológica existente, será fundamental que haja uma política de investimento das concessionárias brasileiras para atender a evolução desta rota.
- Política para incentivar a operação da Geração Distribuída - um possível limitador seria a ausência de uma política nacional para o uso de GD para incentivar o uso desta geração nos primeiros anos de sua implementação, provavelmente com algumas contrapartidas para o seu emprego. Sem essa participação do governo, a evolução desta rota poderá ser afetada.

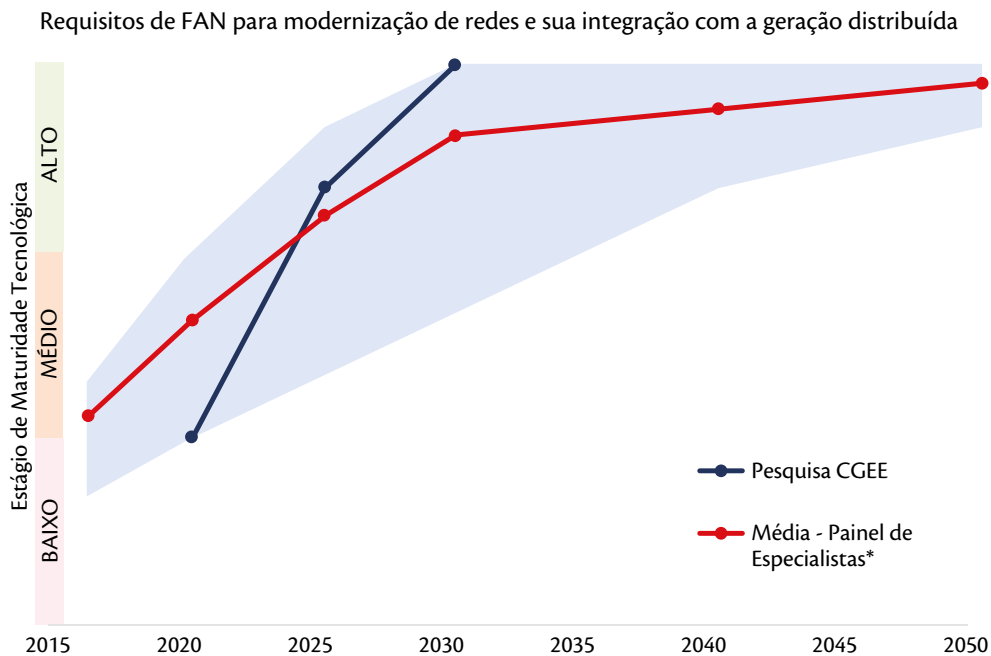


Gráfico 37 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 20 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de infraestrutura de telecomunicações.

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Infraestrutura de Telecomunicações	Infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico brasileiro	Fatores portadores de futuro	Parque tecnológico já existente e alto investimento realizado		Iluminação pública inteligente - impacto crescente devido ao uso da CIP (Contribuição para Iluminação Pública) para financiar infraestrutura de comunicações para viabilizar iluminação pública inteligente; demanda por eficiência energética como ferramenta para minimizar os impactos ambientais associados à geração de energia e consequente aumento da demanda por TIC		Veículos elétricos - demanda por TIC crescente devido à necessidade de carga da bateria do veículo e uso da bateria do veículo como dispositivo de armazenamento de energia para residências; geração distribuída, armazenamento e microrredes - espera-se um alto impacto devido ao monitoramento on-line da produção distribuída; regulação sobre medição inteligente e/ou demais equipamentos inteligentes da infraestrutura	
		Maturidade	ALTO					
	Requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP)	Fatores portadores de futuro	-	Parque tecnológico já existente		Iluminação pública inteligente - impacto crescente devido ao uso da CIP (Contribuição para Iluminação Pública) para financiar infraestrutura de comunicações para viabilizar iluminação pública inteligente; demanda por eficiência energética como ferramenta para minimizar os impactos ambientais associados à geração de energia e consequente aumento da demanda por TIC		
		Maturidade	BAIXO	ALTO				



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Infraestrutura de Telecomunicações	Dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações	Fatores portadores de futuro			Parque tecnológico já existente	Geração distribuída, armazenamento e microrredes - espera-se um alto impacto devido ao monitoramento on-line da produção distribuída		Veículos elétricos - demanda por TIC crescente devido à necessidade de carga da bateria do veículo e uso da bateria do veículo como dispositivo de armazenamento de energia para residências; geração distribuída permanece como importante fator
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO			
	Requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída	Fatores portadores de futuro	Base tecnológica existente		Investimento das concessionárias	Políticas de incentivo à geração distribuída		Penetração de geração distribuída
		Maturidade	BAIXO		ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

6.3.2 Temática tratamento dos megadados (Big Data)

A temática Tratamento dos megadados (Big Data) foi desdobrada nas rotas Análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligentes, Arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação “machine to machine” (M2M) e internet das coisas (IoT) e Tecnologias de Inteligência Artificial (IA), conforme descrito na Figura 31.

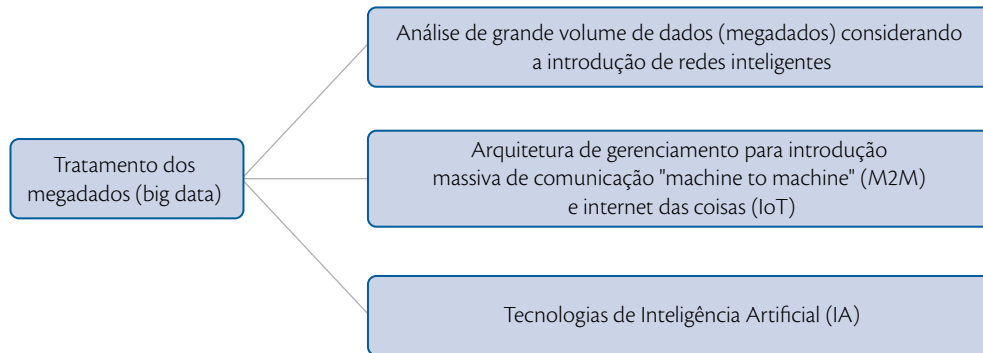


Figura 31 - Temática tratamento dos megadados (big data)

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 38 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligentes³⁸ ao Gráfico 40 - Evolução da maturidade tecnológica da rota tecnologias de inteligência artificial⁴⁰. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 5 - Análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligentes

A rota análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligentes terá uma evolução, inicialmente, dependente da produção de CT&I, a qual ensejará a fundamentação desta área. Após esse período, espera-se um aumento da percepção sobre a demanda nacional que, por consequência, impulsionará a cadeia produtiva. Por fim, a rota atingirá um crescimento menos acentuado e mais constante entre 2030 e 2050, conforme o Gráfico 38.

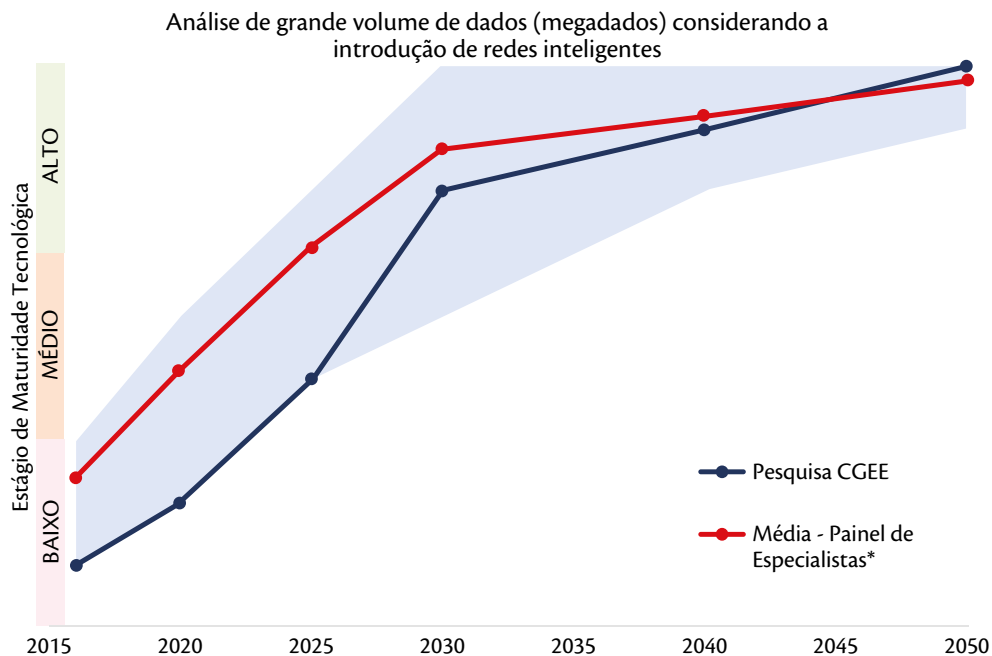


Gráfico 38 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligentes

Fonte: Elaboração própria.

Rota 6 - Arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação “machine to machine” (M2M) e internet das coisas (IoT)

Para a rota arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação *machine to machine* (M2M) e internet das coisas (IoT), verifica-se que a maturidade será atingida ainda em 2040, mas com as mesmas condicionantes da rota 5, com a peculiaridade da necessidade de implantação de uma rede de laboratórios de ensaio, primordial para a maturação desta rota.

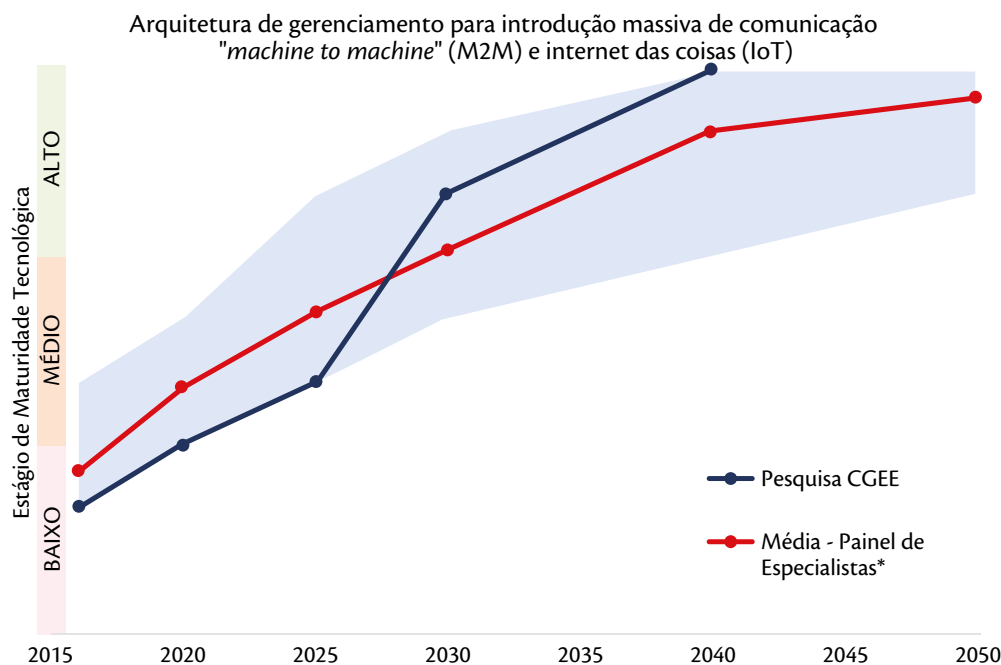


Gráfico 39 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação machine to machine (M2M) e internet das coisas (IoT)

Fonte: Elaboração própria.

Rota 7 - Tecnologias de inteligência artificial

Para a rota tecnologias de inteligência artificial, projeta-se um crescimento lento e constante do estágio de maturidade tecnológica para o período de estudo, conforme Gráfico 40 - Evolução da maturidade tecnológica da rota tecnologias de inteligência artificial⁴⁰. Por constituir uma tecnologia recente, esta rota apresenta, ainda, baixa maturidade nos anos iniciais, evoluindo para um nível alto em 2050, sem, contudo, atingir maturidade máxima. Isto se explica, pois ela é baseada, principalmente, em pesquisa científica, sendo, portanto, razoável supor que novas demandas tecnológicas surgirão quando chegarmos em 2050.

Para todas as rotas dessa temática, verifica-se que, entre 2025 e 2030, há uma acentuação no crescimento, provavelmente associada à intensificação de penetração da GD. Fatores como a GD, a expansão de veículos inteligentes e de funcionalidades de REI, inclusive com a entrada forte da iluminação pública inteligente, exigirão um foco maior no desenvolvimento de tecnologias de inteligência artificial para ensinar o controle e a monitoração desses aspectos.



Destaca-se que, como esta rota dependerá fortemente de investimentos em pesquisas pelas universidades e centros de pesquisas de forma permanente, o governo brasileiro deverá adotar medidas de investimento em PD&I nesta área a fim de permitir o uso desta tecnologia em áreas como: controle e automação, gerenciamento de dados, extração de conhecimento e padrões, etc. Caso o investimento em PD&I não seja feito, sujeita-se ao risco de que esta rota não tenha o desenvolvimento esperado.

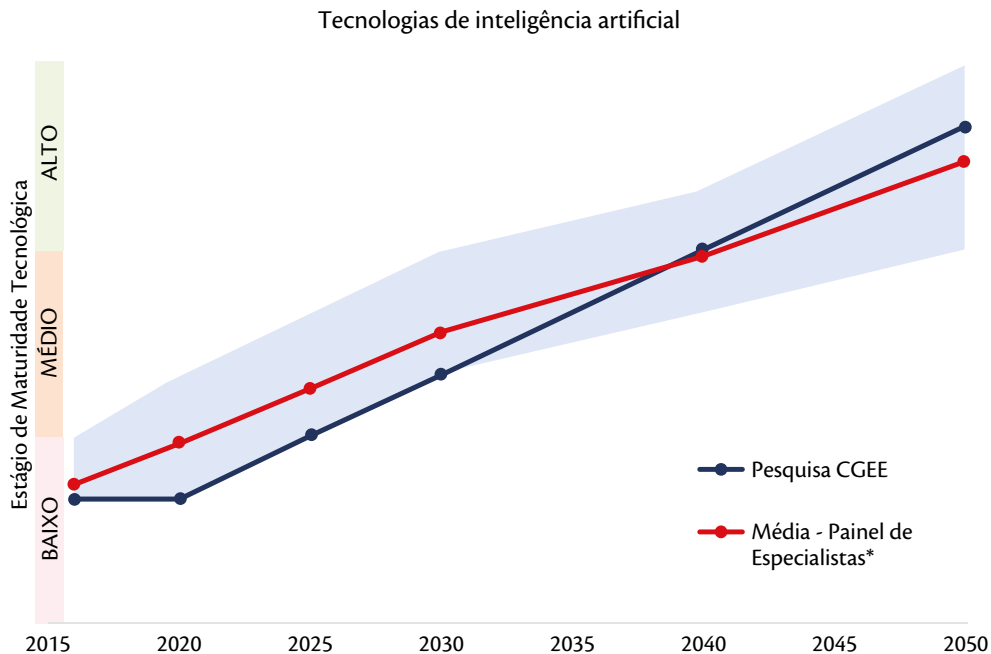


Gráfico 40 - Evolução da maturidade tecnológica da rota tecnologias de inteligência artificial

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 21 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de tratamento dos megadados (big data)

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Tratamento dos megadados (Big Data)	Análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligentes	Fatores portadores de futuro	Aumento da Produção de CT&I	Crescimento de pesquisas na área	Percepção sobre a demanda no mercado nacional crescerá	Aumento da cadeia produtiva; elevada penetração de GD e demanda por monitoramento on-line da produção		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação "machine to machine" (M2M) e internet das coisas (IoT)	Fatores portadores de futuro	Aumento da Produção de CT&I	Crescimento de pesquisas na área	Percepção sobre a demanda no mercado nacional crescerá; aumento de laboratórios de ensaios	Mobilização permanente (rede) para respostas rápidas a possíveis mudanças disruptivas Aumento da cadeia produtiva; veículos elétricos - demanda por TIC crescente devido à necessidade de carga da bateria do veículo e uso da bateria do veículo como dispositivo de armazenamento de energia para residências tivas		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Tecnologias de Inteligência Artificial (IA)	Fatores portadores de futuro	Investimento significativo em PD&I		Aumento da penetração de GD	Crescimento da demanda por veículos elétricos; crescimento das tecnologias de iluminação pública inteligente		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.



6.4 Priorização

Nesse item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na Macrotemática **Tecnologia da Informação e Comunicação**. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram considerados a visão de futuro da Macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados na nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, crescentemente, as rotas de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **7**, pois são **sete** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática tecnologia da informação e comunicação

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico	Infraestrutura de Telecomunicações
2	Requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP)	
3	Dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações, processos e serviços	
4	Requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída	
5	Arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação "machine to machine" (M2M) e internet das coisas (IoT)	
6	Análise de grande volume de dados (megadados) considerando a introdução de redes inteligentes. Análise de grande volume de dados (megadados), considerando a introdução de redes inteligentes	Tratamento dos Megadados
7	Tecnologias de Inteligência Artificial (IA)	

Fonte: Elaboração própria.

A temática infraestrutura de telecomunicações representa a temática fundamental para a rota de tratamento dos megadados, que, para se desenvolver, deverá existir uma infraestrutura de telecomunicações adequada, uma vez que esta temática é composta por rotas, que envolvem o processamento de alto volume de dados e desenvolvimento de tecnologias de IA: ou utilizarão os dados da rede, ou determinarão ações de controle e automação desta rede. Depende, portanto, de uma infraestrutura plenamente modernizada e projetada para tais fins.

Percebe-se, assim, que a priorização foi definida com base nos requisitos que definem uma rota dependente de uma rota anterior. Assim, para observarmos uma evolução na rota 2 (migração para rede IP) é fundamental que a rota 1 (requisitos de infraestrutura) já esteja em andamento e servindo de base. Da mesma maneira, a rota 3 (confiabilidade e resiliência) terá a sua evolução ao longo do tempo se houver uma rede sobre IP que permita verificar a operação em tempo real, possíveis falhas e suas mitigações, assim como proteger a rede de situações críticas que possam afetar a sua operação como interrupções provocadas por alta demanda e até de ataques cibernéticos. E, assim sucessivamente foram construídas as dependências entre todas as demais rotas.



Capítulo 7



Capítulo 7

Macrotemática Operação e Manutenção

A macrotemática operação e manutenção foi estruturada em três temáticas distintas, que abordam as tendências e possibilidades de PD&I concernentes aos procedimentos de operação e manutenção. As temáticas são apresentadas na Figura 32. Tal estrutura foi definida em função da importância dos procedimentos de segurança, na expectativa de redução do volume de acidentes por choque elétrico, que ainda acontecem nas SEs e redes de MT e BT de distribuição de energia elétrica.

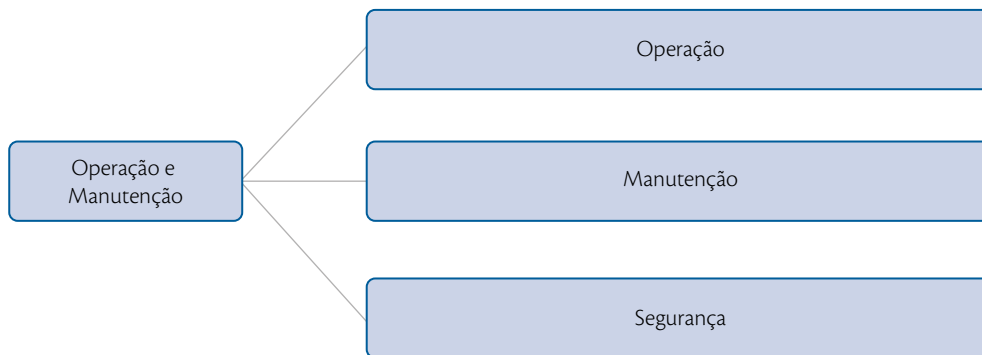


Figura 32 - Temáticas de operação e manutenção

Fonte: Elaboração própria.

Para a temática de operação, observou-se uma grande quantidade de linhas de pesquisa sobre análise de dados gerados, onde deverão ser desenvolvidas tecnologias que possam trabalhar este grande volume de dados (*big data*), gerando produtos de uso coletivos (gestão) e unitários (operador) e desenvolvimento de algoritmos para localização das faltas na rede elétrica com maior precisão e assertividade. O uso da inteligência artificial na operação pode mitigar falhas humanas e os riscos inerentes à atividade de operar.

Além disso, estão sendo estudados sistemas de interoperabilidade entre a geração distribuída em microrredes, os sistemas de armazenamento de energia em grandes baterias, o mercado de veículos elétricos e a distribuição de energia elétrica convencional. As redes inteligentes terão alto impacto nesta temática, pois agregam várias linhas de pesquisa e sua tendência é de crescimento acelerado, nas próximas décadas. Como rota tecnológica em estágio inicial, ainda se tem a distribuição de energia sem fio, que, nos últimos anos, ganhou força, porém sem uma perspectiva concreta de adoção em larga escala.

Já, na temática de manutenção, identificou-se grande parte dos estudos em metodologias, como ferramentas para controle e supervisão, planejamento, inspeção, diagnóstico e monitoramento de ativos, projetos de otimização da manutenção e adoção de indicadores oriundos da operação (passado e futuro), agregados aos valores de as empresas para elaborarem as matrizes de risco. A rota tecnológica de impacto ambiental também se mostrou presente, no que diz respeito às podas das árvores e manejo das faixas de servidão (manejo integrado da vegetação), além do correto descarte dos resíduos gerados com os vários serviços de manutenção de redes (logística de cadeia reversa), cujas linhas de pesquisa ainda estão em fase inicial de estudos.

Na temática de segurança, em função de sua importância no contexto da macrotemática de operação e manutenção, têm-se rotas de segurança no trabalho e compromisso com a sociedade em geral, através do uso de estudos sobre sistemas e ferramentas, equipamentos e materiais, treinamentos com realidade virtual, análise comportamental dos operadores, além de campanhas educativas e estratégicas nacionais. Uso de *drones* e da robótica poderá também impactar na redução do volume de acidentes que ainda ocorrem nas linhas de distribuição, nas subestações e nas redes de MT e BT de distribuição de energia elétrica.

7.1 Visão de futuro

7.1.1 Cenário setorial

Para o cenário futuro das distribuidoras de energia elétrica, vislumbra-se uma modernização das redes e dos respectivos processos em geral, em face dos seus envelhecimentos e obsolescência; através das Redes Elétricas Inteligentes (REIs) motivadas principalmente pela inserção de Geração Distribuída



(GD), pela obrigatoriedade de fortalecer a eficiência energética, pela necessidade de armazenamentos, pelo aumento de veículos elétricos na frota nacional e pela possibilidade de uso da internet das coisas (IoT), dentre outras detalhadas adiante.

Os indicativos para GD sinalizam uma penetração crescente chegando em 2030, a algo em torno de 10% do mercado de energia, nos segmentos industrial, comercial e residencial, com predominância da fonte solar fotovoltaica. No horizonte de até 2030, foi assumido pelo Brasil compromisso de reduzir sua demanda em 10%, com base no consumo de 2015, com ações de uso racional da energia (eficiência energética). Nesse mesmo espaço de tempo, como solução da mobilidade urbana ambientalmente correta, espera-se que a frota de veículos híbridos atinja 5% e, para veículo elétrico (VE) puro, se chegue a um patamar considerável entre 2035 - 2040, com uma previsão de entrada em 2030, de 16 milhões de unidades (fonte ABVE).

Nesse contexto, compatibilizar os sistemas de operação e manutenção a essa nova realidade se torna um desafio complexo. Há uma necessidade radical de mudanças e de busca por soluções com abordagens inovadoras - as quais devem ser pautadas com foco na: segurança, automação, meio ambiente, padronização, integração, mobilidade, otimização de processos e novas tecnologias.

7.1.2 Objetivo geral

Considerando o cenário setorial descrito, bem como os desafios das peculiaridades e especificidades regionais, a macrotemática de operação e manutenção da distribuição tem como objetivo geral 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 os colaboradores e a sociedade); a adequação de todas as funcionalidades dos sistemas de operação e manutenção para atender às maiores exigências ambientais e às novas demandas do setor elétrico, tais como a inserção de REI, GD, eficiência energética, VE, armazenamento e internet das coisas (IoT).

Parte das soluções vem sendo pesquisadas e desenvolvidas ao longo das últimas décadas no país. No entanto poucas são inseridas de fato no mercado e disseminadas. Aquelas desenvolvidas em outros países podem ser aproveitadas, por exemplo, nas distribuidoras brasileiras, com vistas a fomentar alternativamente sistemas já existentes, integrando-os às novas funcionalidades e fornecendo a eles características de interoperabilidade. Assim, podem-se alcançar os objetivos de modernização da operação e manutenção da distribuição de energia elétrica no Brasil.

7.1.3 Objetivo específico

Serão apresentados a seguir os desenvolvimentos tecnológicos que poderão subsidiar o objetivo geral acima citado. Os respectivos objetivos específicos estarão alocados por ordem de soluções de curto, médio e longo prazo, com desenvolvimentos a partir dos investimentos em PD&I e distribuídos até 2050. Visam-se obter por meio do aporte da PD&I:

Curto prazo (2017-2020):

- novas ferramentas, EPCs e EPIs para equipes de operação, manutenção e inspeção;
- sistemas inteligentes para maior automação do despacho de serviços técnicos e comerciais (STC);
- metodologias e ferramentas de redução do impacto ambiental (manejo integrado da vegetação - MIV com inibidores e herbicida, mapeamento georreferenciado e algoritmos para sistematização e gestão);
- métodos de avaliação dos impactos das mudanças climáticas na operação de redes para reação a fenômenos climáticos severos ou outros, visando à elaboração de planos de contingência e ao restabelecimento do serviço em curto prazo.

Médio prazo (2020-2030):

- sistema de monitoramento em tempo real, das turmas de manutenção (linha morta e viva), de inspeção e de emergência, sob os aspectos de segurança no trabalho;
- metodologia de treinamento com a aplicação de ferramentas de realidade virtual e aumentada;
- novas tecnologias de sensores, atuadores, medidores e sistemas (bem como tratamento dos dados gerados - big data) para gerenciamento de ativos e para priorização das inspeções de campo;
- metodologia de análise psicológica e comportamental dos operadores e demais profissionais dos Centros para prevenção de falha humana;
- ferramentas computacionais para gestão dos ativos com base na condição e adoção de matriz de riscos - PAS 55 e ISO 55.000 (modelo PIEC - *Plan, Inspection, Execution e Control*);



- sistemas para operação, utilizando Internet das Coisas (IoT) aplicada a equipamentos de supervisão e controle;
- sistemas para operação utilizando Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs) aplicada a equipamentos de supervisão e controle;
- metodologias de operação em cenários de múltiplos protocolos de comunicação;
- desenvolvimento de algoritmos para *self-healing* e métodos avançados de controle para diagnóstico e previsão das soluções para operação das redes;
- desenvolvimento de sistemas para tratamento, extração, processamento massivo e análise de dados em grande volume aplicados à operação e manutenção (uso de big data como ferramenta);
- sistemas de otimização de procedimentos de operação aplicado a cenários de prossumidores, Geração Distribuída e Microrredes;
- metodologias de formação novas arquiteturas de automação e desenvolvimento de sistemas de gerenciamento hierárquico para soluções híbridas (centralizado e descentralizado);
- desenvolvimento de sistemas para operação de redes com entrada de microrredes (interoperabilidade com sistemas corporativos);
- desenvolvimento de sistemas especialistas para localização de eventos e auxílio na tomada de decisão;
- sistemáticas para viabilizar implantação de *Drones* e Robótica em serviços de inspeção;
- modelos comerciais e técnicos com a participação do cliente na gestão da rede (geração, automação, equipamentos inteligentes, microrredes, resposta à demanda, entre outros);
- metodologia para apropriação e adequação do descarte e reuso dos resíduos e a logística da cadeia reversa (resíduos) nas atividades de linhas, redes e de roçadas e podas de árvores e outros vegetais.

Longo prazo (2030-2050):

- operação de redes de distribuição sem fio e estudo de seus impactos;
- redução de acidentes com a utilização da robótica para execução de serviços de operação e manutenção (na rede);
- modelos de manutenção para linhas de distribuição, SEs, sistemas MT, BT e equipamentos exclusivamente subterrâneos nas áreas urbanas densamente habitadas.

7.1.4 Fundamentação

A visão de futuro definida atende a seu principal objetivo que está focado na melhoria da qualidade, com segurança e utilizando sistemas tecnologicamente avançados para a macrotemática de operação e manutenção. As principais fundamentações teóricas estão baseadas nas premissas da cenarização geral do setor elétrico, elaboradas pelo Comitê Estratégico no CGEE (composto dos órgãos: MME, MCTI, MDIC, EPE, ONS, CCEE e Aneel) e na larga experiência de profissionais que atuam ou atuaram nas áreas de operação e manutenção das empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil. Conjugado também com projetos ou pesquisas realizadas ou em desenvolvimento atualmente nas empresas, dentro da macrotemática ou correlatos e que podem ser verificados via a Resolução Normativa nº 504/2012, atualizada em 21/02/2017 (Aneel, 2017).

A abrangência de projetos de P&D afins à macrotemática operação e manutenção se aproximada de 10%, em relação à base total de P&D Aneel, de onde se verificou uma quantidade baixa com carência de bons produtos ou bons resultados, que abordassem ou apontassem para o estado futuro das mudanças previstas e necessárias para o setor. Especialistas consultados justificam a importância de revisitar detalhadamente todos esses projetos realizados, e até mesmo outros anteriores a 2012, como forma de localizar e resgatar bons projetos de PD&Is com bons resultados, mas que foram descontinuados pelos mais diversos motivos.

A macrotemática de operação e manutenção precisará de uma forte adequação futura para atender toda a infraestrutura que suportará, em 2050, uma previsão de crescimento da demanda de 400GW, com capacidade instalada de 480GW. Arelado a esse crescimento futuro estão as instalações de redes inteligentes, inserção de geração distribuída (GD), compromisso do Brasil na redução de demanda por energia, através do uso racional da energia (eficiência energética) e o aumento dos veículos elétrico na frota nacional, que podem ser utilizados como armazenamento ambientalmente corretos. Com essas previsões e expectativas de cenário futuro, as funções de operação e manutenção deverão adequar os seus respectivos procedimentos atuais realizando grandes e importantes mudanças via estudos e pesquisas que se antecipem às necessidades mais prioritárias.

As exigências do mercado consumidor, os equipamentos de alta tecnologia dos clientes e as metas de melhoria contínua definidas pelo regulador, priorizando a modicidade tarifária e a redução dos custos operacionais são os principais agentes do setor nesse caminho até o futuro. Assim, os procedimentos de distribuição tendem a ser mais rigorosos, incluindo para cálculo de indicadores as interrupções menores do que 3 minutos, como é hoje, (p.ex. 1 minuto), além de iniciar novas exigências com metas e definição de novos indicadores regulatórios para as interrupções de curta duração (*flicker*, *sags*, etc.). Para isso, tornam-se importantes o uso de



ferramentas tecnologicamente modernas de monitoramento, redes inteligentes, inteligência artificial, automação e *self-healing*, IoT (internet das coisas), big data, etc. e nos novos sistemas de operação pré e pós, bem como nos de tempo real, tendo em vista que o operador, como ser humano normal não terá capacidade técnica, emocional e comportamental para lidar, em dias críticos (temporais) com todas essas variáveis para tomada de decisões certas, seguras e possíveis. As manobras e os remanejamentos de cargas entre redes de distribuição não poderão ser realizadas manualmente como se faz hoje. Outro complicador será a massiva entrada da geração distribuída - GD, em função da intermitência, dos afundamentos, do tipo (solar, eólica, etc.), inversão de fluxos, etc. É desejável no futuro, em 2040, que essa operação não dependa mais do operador, que passará a ser o responsável pela manutenção e funcionamento contínuo dos sistemas inteligentes e autônomos e interoperáveis.

Para que não houvesse duplicidade de esforços no desenvolvimento tecnológico através das rotas e das linhas de P&DI, no futuro, analisou-se também as rotas e as linhas de pesquisa de todas as outras macrotemáticas desse projeto estratégico, que influenciam e se interacionam diretamente na macrotemática de operação e manutenção (p.ex. redes aéreas e subterrâneas, redes inteligentes, tecnologia da informação e comunicação - TIC, qualidade, proteção e controle, automação, geração distribuída, armazenamento, compartilhamento, etc.). Com maior precisão, foi possível eleger os objetivos específicos que se encontram definidos para desenvolvimento como linhas de pesquisa de curto, médio e longo prazos e que suportarão o objetivo geral da visão de futuro. Em função da diversidade das rotas e linhas de pesquisa analisadas das macrotemáticas inter-relacionadas, observou-se a necessidade de criar mais uma temática, separando os aspectos de segurança, em geral (colaboradores e sociedade) como sendo a temática segurança e mantendo-se a operação e a manutenção originalmente alocadas.

Para direcionar os caminhos de desenvolvimento das linhas de P&DI, no tempo, definiu-se 10 rotas tecnológicas para a temática de operação, em sua maioria ligadas a sistemas em geral, engenharia de operação, ferramentas e automação; 4 rotas tecnológicas para a temática de manutenção, ligadas a sistemas de gestão e monitoramento, aumento de produtividade e redução de custos, redução de impactos ambientais, ferramentas e métodos novos; e por fim 3 rotas tecnológicas para a temática de segurança, ligadas a equipamentos, sistemas e ferramentas, treinamento e análise comportamental. A seguir as rotas tecnológicas serão detalhadas e priorizadas em função de suas importâncias, que, num horizonte estabelecido, através da evolução de maturidades, e até 2050, podem ser desenvolvidas no Brasil, como forma de manter a excelência do setor elétrico sob seus aspectos de qualidade, satisfação dos clientes, redução de custos e inovação tecnológica. O setor terá com essa visão de futuro, um salto tecnológico bastante avançado e não terá similaridade com o que já foi realizado nos últimos 30 anos.

Outrossim, é prudente observar que, no futuro estimado de 2050, ainda assim existirá o legado da distribuição convencional em algumas áreas de concessão das distribuidoras, coexistindo com todas as novas tecnologias produzidas para àquela época e funcionando simultaneamente. Destaque para essa macrotemática que ainda deverá guardar as suas especificidades para atender a essa duplicidade de formas, com segurança.

7.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessárias para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

O crescimento estimado para 2050 gira em torno de 400 GW a 480 GW, podendo variar de acordo com a matriz energética no futuro. O cenário mais provável é de descentralização do modelo de geração, pois ainda que os grandes leilões de energia continuem sendo realizados, as políticas de licenciamento ambiental estarão cada vez mais rigorosas e demoradas, podendo atrasar muitos empreendimentos.

Isso fará com que a GD aumente muito a partir de 2030, sobretudo nos meios urbanos, para que esta demanda seja atendida. Levará à operação um grande desafio, pois as configurações de rede predominantemente radiais serão mais malhadas e com fluxo de potência em diferentes direções ao longo do mesmo dia. A energia solar será a mais presente na GD e com isso serão incentivadas tecnologias de armazenamento de energia, o que acarretará grande impacto no planejamento da operação e na sua função de operação. Os sistemas híbridos têm atraído grande atenção do mercado e do governo, e as empresas de distribuição deverão estar aptas a operar seus sistemas com microrredes, ilhamento e variações mais bruscas de tensão.

Em paralelo, tem-se a entrada forte de redes inteligentes, que permitirá que os produtores menores de energia entrem no mercado com mais facilidade (prossumidores), impactando diretamente na manutenção e operação das concessionárias.

Preocupações com o meio ambiente e estudos meteorológicos também fazem parte das diretrizes de políticas públicas nacionais, desde a geração, transmissão até à distribuição. É fundamental que se tenha, nas empresas, um planejamento que considere estas variáveis climáticas e ambientais, pois



a segurança energética e a sustentabilidade também dependem destes estudos. Este planejamento abrange tanto a área de operação quanto a de manutenção, e ambas com uma importante abordagem dos aspectos de segurança, com os colaboradores e com a sociedade.

Considerando este contexto, apresentam-se as métricas de desenvolvimento tecnológico:

- **Tecnologias de microrredes, GD e armazenamento:** esta métrica servirá para avaliar as rotas tecnológicas sistemas de operação, considerando formas não-convencionais de transporte de energia e sistemas de operação considerando inserção massiva de GD. A evolução dessas rotas, no horizonte considerado (até 2050), pode ser medida quantitativamente através de dados dos fornecedores e das associações da indústria e corporativas (Abradee e outras) e a depender do volume da penetração da tecnologia, das adequações regulatórias, dos procedimentos das empresas e de possíveis incentivos, deve acompanhar e se ajustar na direção do equilíbrio.
- **Estudos comportamentais dos operadores e segurança no trabalho:** estas métricas servirão para avaliar as rotas análise comportamental; sistemas autônomos de operação; ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança; treinamento. A evolução dessas rotas, no horizonte considerado até 2050, pode ser medida quantitativamente através da reformulação da coleta dos dados sobre acidentes, através da Fundação COGE, de todos os agentes do setor e/ou tornando exigência obrigatória, por regulamento normativo da Aneel. Esse conjunto de rotas indica que, se as suas principais linhas de P&DI forem iniciadas no curto prazo, será possível justificar as reduções de 10% em cada período de 5 anos das falhas humanas na operação, e em 2050, reduzir os acidentes em geral em 40% e com mortes (fatais) em 80%.
- **Tecnologia e equipamentos de informação, comunicação e cibersegurança; sistemas para operação e tomada de decisões e tecnologias de otimização de análise das ocorrências e perturbações, cálculos dos indicadores de qualidade e avaliação de desempenho:** estas métricas servirão para avaliar qualitativamente as rotas sistemas de supervisão e controle; otimização de desligamentos programados; ferramentas e sistemas para apoio à decisão operativa em tempo real; ferramentas e sistemas de pré-operação; sistemas de atendimento integrado; ferramentas e sistemas de pós-operação; engenharia de operação. A evolução dessas rotas, no horizonte considerado (até 2050), pode ser medida qualitativamente através de aplicações em pequenas escalas dos sistemas desenvolvidos, como projetos pilotos customizados, os quais, depois de ajustados, podem ser extrapolados para todos os outros conjuntos de clientes da concessão. Com esse desenvolvimento, será possível se beneficiar dos recursos tecnológicos e ferramentas modernas como grandes volumes de dados big data; IoT; redes neurais e inteligência artificial, etc.

- **Ferramentas, equipamentos e certificação para gestão de ativos; tecnologias de planejamento e acompanhamento da manutenção; ferramentas e novas tecnologias para realização de manutenção e metodologias e ferramentas de redução de poda e inibição do crescimento:** servirão para avaliar os avanços qualitativos das rotas tecnológicas sistema de monitoramento de ativos; sistemas de gestão e análise de risco; métodos e ferramentas de manutenção; técnicas de redução do impacto ambiental. A evolução dessas rotas no horizonte considerado (até 2050) pode ser medida qualitativamente, pelos indicadores, em função dos avanços nas aplicações diretas e na elaboração de sistemas de planejamento e controle da manutenção dos ativos, com impacto direto na redução dos custos operacionais e nas ações ambientalmente corretas de poda, roçadas, descarte e reuso de resíduos e logística da cadeia reversa.

As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas neste estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

7.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

7.1.5 Temática operação

Para a temática operação, têm-se dez rotas tecnológicas, conforme apresentado na Figura 33, as quais foram divididas em 3 agrupamentos, sob alegação de facilitar a apresentação da análise e a compreensão.

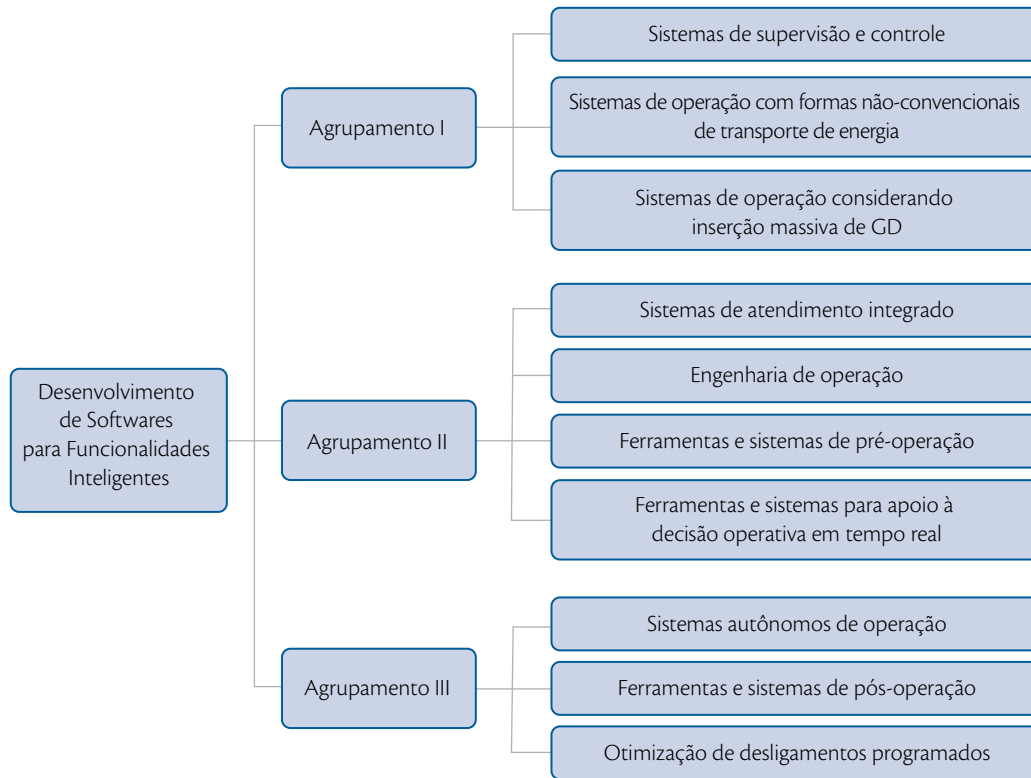


Figura 33 - Temática operação

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 41 ao Gráfico 50. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Agrupamento I

Dentre as áreas estudadas pelas rotas deste agrupamento, destacam-se as tecnologias comunicação e cibersegurança direcionadas ao desenvolvimento de novos algoritmos e softwares, análise de dados massivos, tecnologias de informação e comunicação, geração distribuída e distribuição de energia elétrica sem fio. As rotas buscam a automatização da operação até 2050 e uma melhor previsão e supervisão dos eventos na rede de distribuição de energia elétrica. Tais sistemas também devem se adaptar ao cenário onde a geração distribuída - GD será uma realidade nos grandes centros urbanos.

Tamanha complexidade exigirá estudos mais aprofundados de algoritmos e softwares nas áreas de *self-healing*, operação em múltiplos protocolos de comunicação, monitoramento em tempo real da geração distribuída, internet das coisas e operação de sistemas de distribuição sem fio. Assim, possuem alta sinergia com as macrotemáticas de geração distribuída, tecnologias de informação e comunicação e automação da rede.

Quanto à estratégia setorial, o desenvolvimento das rotas está fortemente ligado às políticas de incentivo do governo, no que diz respeito à entrada massiva de energia fotovoltaica na rede, visto que sua implementação afetará diretamente os sistemas de supervisão e controle. Esta entrada já está prevista no estudo da Matriz Energética Brasileira 2030 (MME, 2007). A adoção e viabilidade técnica de energia sem fio ainda é algo incerto e distante, porém alguns estudos apontam que terá mercado em 2024 (BORGES, 2014; NAVIGANT RESEARCH, 2015).

Para os aspectos socioambientais, o maior impacto segue na área de geração distribuída e sua adoção em massa pela população. O mercado irá ditar quais tecnologias serão mais utilizadas em residências e comércio, e as rotas devem se direcionar para as tecnologias mais relevantes adotadas pelo mercado. A distribuição de energia sem fio também precisa ser melhor estudada, pois os campos eletromagnéticos aos quais a população ficaria submetida seriam muito maiores aos atualmente recomendados (INTEGRANDO CONHECIMENTO, 2016).

Nesse sentido, as rotas terão como tendência aumentar a produção técnico-científica nas áreas de tratamento massivo de dados e tecnologias/algoritmos de supervisão e controle. Porém isto deve ocorrer de maneira bem mais acelerada a âmbito internacional do que nacional, uma vez que nosso sistema de distribuição ainda depende de muitas variáveis para implementação de redes inteligentes, GD, armazenamento e microrredes, as quais são diretamente dependentes das adaptações na regulação, meio ambiente, aspecto econômico e tecnológico.



As demandas para indústria e mercado, contudo não avançarão muito até 2030, por se tratar de algo muito novo para as redes de distribuição brasileiras. Será preciso grandes investimentos das distribuidoras e grande adoção de GD, por parte dos consumidores, para que o impacto na indústria seja relevante.

Rota 1 - Sistemas de supervisão e controle

A rota de sistemas de supervisão e controle (R1) tem sua evolução tecnológica fortemente relacionada aos padrões de comunicação e informação a serem utilizados nas redes elétricas inteligentes de distribuição. Equipamentos com processamento embarcado e comunicação própria (IoT - internet das coisas) serão bons aliados e fatores primordiais para ditar como será a supervisão e o controle das redes no futuro. Deverão ser bem analisados, através de estudos e pesquisas, os impactos que essas mudanças causarão na rede, pois se prevê que os métodos e softwares utilizados nos modelos atuais necessitem de mudanças significativas, sobretudo com a adoção massiva de GD, com criação de microrredes e com a entrada de veículos elétricos na rede de baixa tensão.

Porém muitos protocolos de comunicação utilizados atualmente podem ser aplicados a esta realidade nas próximas décadas, já que esses equipamentos estão instalados na rede elétrica, com esta capacidade de transmitir informações em grandes quantidades/volumes e de forma rápida (rede em malha, zig bee). Isso implica o fato de a rota alcançar a maturidade máxima antes de 2050, uma vez que já se utiliza de tecnologia existente.

Pelo Gráfico 1, verifica-se que a visão dos especialistas é de início já com maturidade média, com uma rápida evolução no horizonte até 2030. Contudo a entrada massiva da GD poderá mudar os sistemas de supervisão e controle bem como os procedimentos atuais existentes na operação, de forma que se estima, em 2050, o desenvolvimento pleno desta rota.

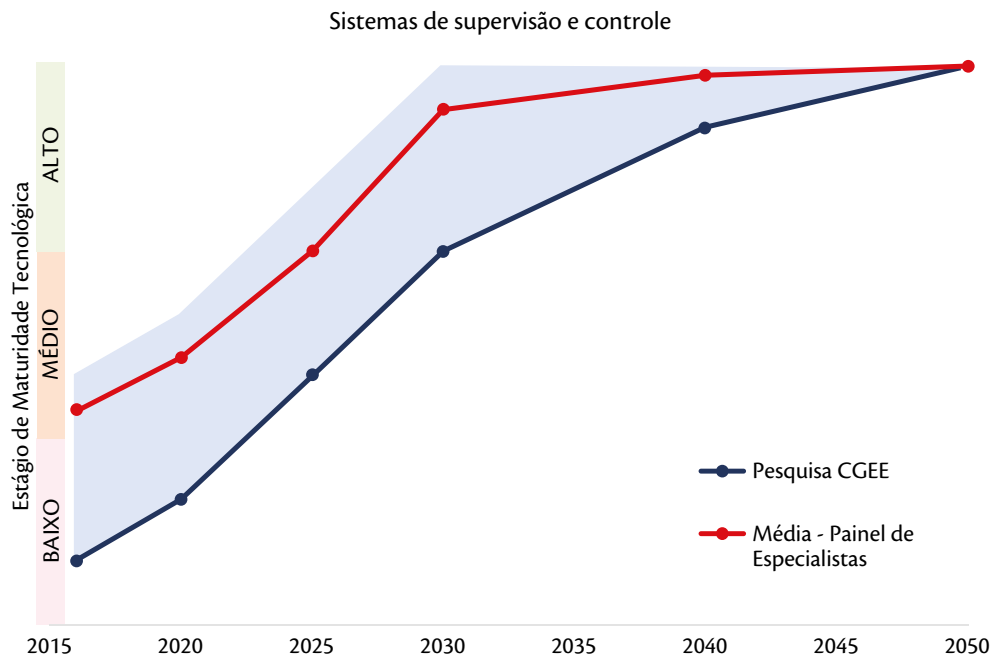


Gráfico 41 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de supervisão e controle

Fonte: Elaboração própria.

Como facilitadores para a evolução desta rota, podem-se considerar a introdução massiva de GD até 2030 e a utilização das tecnologias de TI e TELECOM atualmente existentes. A variação da curva superior do gráfico elaborada pelos especialistas indica um cenário em que as tecnologias utilizadas hoje e já instaladas na rede de distribuição, com poucas modificações, atenderão os sistemas após a entradas da GD, em 2030.

Por outro lado, como limitadores têm-se a dependência das políticas públicas que serão adotadas para GD, dos incentivos fiscais, dos financiamentos de longo prazo e de fatores econômicos. Além disso, a falta de uma padronização nos sistemas de comunicação (protocolos) cria limitações na sua evolução, uma vez que cada fabricante terá seu sistema próprio de protocolos atrelado aos seus equipamentos. Fato similar ocorreu no ramo das telecomunicações, no que tange à telefonia celular e internet, onde diversos padrões de comunicação chegaram ao mercado ao mesmo tempo, e levou algumas décadas até o mercado encontrar um padrão que possibilitasse o avanço tecnológico definitivo (FORTUNA, 2015).



Rota 2 - Sistemas de operação considerando formas não convencionais de transporte de energia

Esta rota possui a menor priorização¹², pois ainda há tecnologia em estágio de pesquisa básica e poucas aplicações em nível de utilização comercial e residencial envolvendo sempre baixa potência (carregadores de celular, notebooks, telefones sem fio, etc.) e curtas distâncias (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2012). Porém sua inclusão ocorreu em decorrência do nível de ruptura que causaria, caso os condutores fossem eliminados das redes de distribuição, assim como ocorreu recentemente na área de telefonia celular e internet doméstica (WI-FI).

Após a reunião de especialistas, constatou-se que a maturidade tecnológica desta rota se dará após 2050 para distribuição de energia, ainda que a teoria já seja existente há mais de 100 anos com Nikola Tesla (TESLA UNIVERSE, 2017), e que haja experimentos funcionais ao redor do mundo, como a usina sem fio na Rússia (SLAVORUM, 2017). Isso porque ainda não há estudos concretos sobre o nível de radiação eletromagnética que poderia ser gerado e o impacto na saúde dos seres vivos, além dos custos de operação e manutenção desta tecnologia. A evolução da maturidade é apresentada no Gráfico 42.

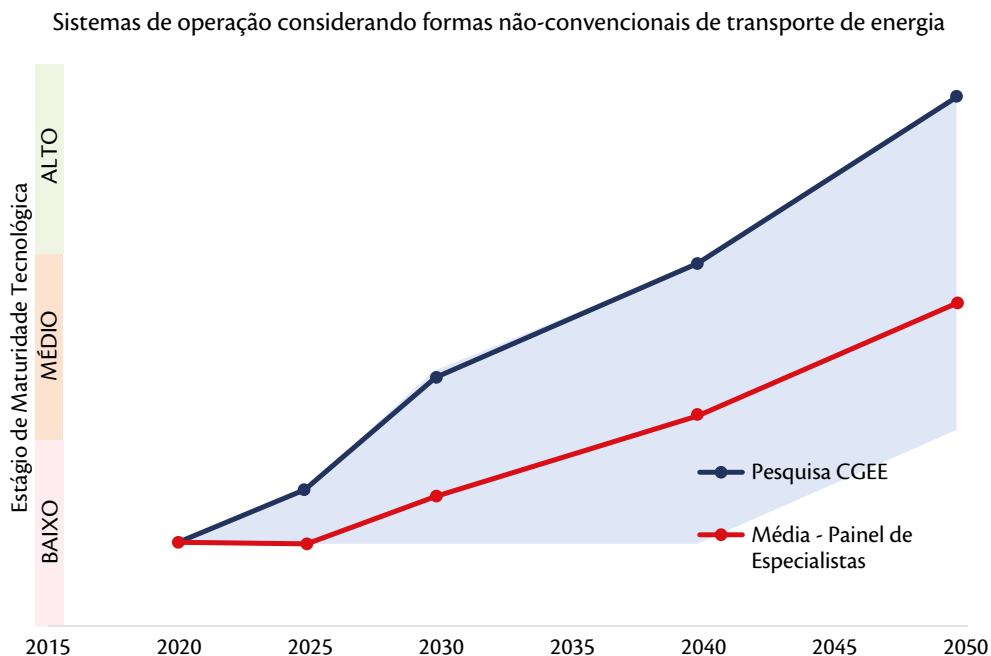


Gráfico 42 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de operação considerando formas não convencionais de transporte de energia

Fonte: Elaboração própria.

¹² A priorização das rotas será apresentada na seção 4.8.4.

Rota 3 - Sistemas de operação considerando inserção massiva de GD

A rota de sistemas de operação considerando inserção massiva de GD foi considerada a mais prioritária dentre todas as rotas, pois a geração distribuída norteia quase todas as linhas de pesquisa da área de operação. Os CODs deverão se adaptar às novas topologias de rede e impactos que a GD irá causar nas redes de distribuição de energia, uma vez que a regulação de tensão, fluxo de potência e esquemas de proteção serão muito afetados, além de operação em ilha, injeção de energia na rede em determinados horários, microrredes, dentre outros fatores. Sua maturação foi prevista sendo alcançada em 2050, pois depende muito de políticas públicas e cenário econômico favorável para sua adoção em massa. No entanto a análise dos especialistas foi enfática ao colocar 2040 como ano de maturação, com pesquisas derivadas dessa maturação iniciando outras rotas específicas a partir de então. Observando o Gráfico 43, podemos verificar que as opiniões dos especialistas foram bem convergentes, pois utilizaram também como parâmetro os estudos de outras macrotemáticas, incluindo Geração Distribuída.

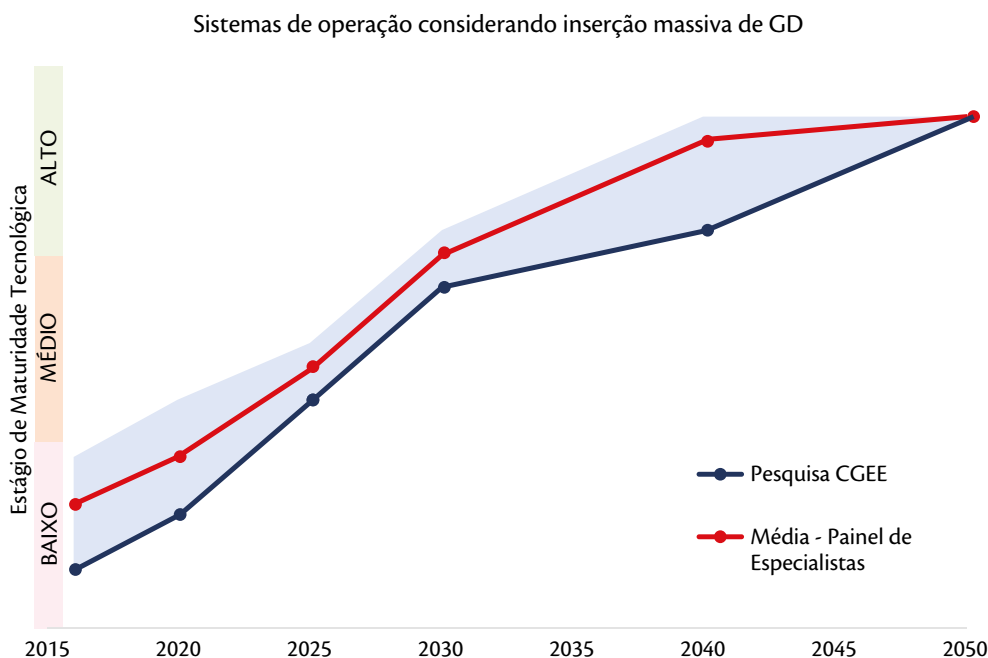


Gráfico 43 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de operação considerando inserção massiva de GD

Fonte: Elaboração própria.



Esta evolução se justifica pela tendência crescente da adoção de geração distribuída em condomínios e residências.

A implementação da REN 482, que estabeleceu o sistema de compensação de energia, foi uma das responsáveis por fazer com que o mercado de Geração Distribuída no Brasil tivesse um aprimoramento. A partir daí diversos consumidores instalaram em sua residência painéis solares (responsáveis por mais de 95% da GD), sendo cerca de 80% residenciais.

Observa-se que mais de 80% dos sistemas foram instalados entre 2015 e 2017, mesmo diante de um cenário de forte retração econômica. Isto mostra a atratividade financeira de se investir na geração própria. Muitos consumidores optaram pela geração distribuída como forma de proteger-se da alta nos preços da energia e ganhar competitividade em momentos onde os concorrentes estão cortando investimentos.

Com isso, prevê-se que até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residência, comércio, indústrias e no setor agrícola, o que pode resultar em 23,500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Aneel - GD, 2017).

Além disso, as políticas ambientais estão cada vez mais restritivas em relação à construção de novas usinas hidrelétricas e linhas de transmissão, o que pode ocasionar aumento nos preços de energia a médio e longo prazo. Isso favorece a adoção de GD residencial e comercial. Associado a este fato, em dezembro de 2015, foi lançado o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), com R\$ 100 bilhões em investimentos, estimando-se que, até 2030, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera.

No entanto tal conjuntura pode ser negativamente impactada pelo alto valor de painéis solares no Brasil, que sem uma política de incentivo, dificulta a aquisição destes equipamentos pelas classes C, D e E. Por outro lado, estima-se que o preço dos painéis (incluindo instalação e manutenção) caia ao longo das décadas, tornando-se mais acessível ao longo do tempo.

Para que a evolução das rotas tecnológicas desse agrupamento se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 23 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação - agrupamento I.

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Operação	Sistemas de supervisão e controle	Fatores portadores de futuro	Tecnologias de comunicação existentes; necessidade de políticas de incentivos à geração distribuída e armazenamento		Tecnologias de comunicação existentes; possíveis mudanças bruscas nos protocolos de comunicação	Adoção de microgeração distribuída e armazenamento; necessidade de padronização de equipamentos por parte da indústria	Adoção massiva de microgeração distribuída e armazenamento; necessidade de padronização de equipamentos por parte da indústria		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO		
	Sistemas de operação considerando formas não-convencionais de transporte de energia	Fatores portadores de futuro	Pesquisa ainda incipiente	Pequenas iniciativas ao redor do mundo; necessidade de grupos de trabalho especializados e laboratórios no Brasil	Tecnologias existentes de energia sem fio em pequena escala; custos da tecnologia	Novas pesquisas em tecnologias distribuição de energia sem fio; custos da tecnologia	Possível barateamento das tecnologias existentes de distribuição de energia sem fio		
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO		ALTO	
	Sistemas de operação considerando inserção massiva de GD	Fatores portadores de futuro	Políticas de Incentivos à geração distribuída e armazenamento; necessidade de pesquisas para consolidar a tecnologia; preço de aerogeradores e painéis solares de pequeno porte	Adoção de microgeração distribuída e armazenamento; políticas ambientais favoráveis		Políticas de incentivos à geração distribuída e armazenamento; situação econômica do país			
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



Agrupamento II

A evolução tecnológica das rotas do Grupo II, que inclui as rotas sistemas de atendimento integrado (R4), engenharia de operação (R5), ferramentas e sistemas de pré-operação (r6) e ferramentas e sistemas para apoio à decisão operativa em tempo real (R7), está mais direcionada à operação em si, considerando a pré-operação e a operação em tempo real, além dos sistemas de atendimento integrados entre manutenção e operação. Os estudos se aprofundam na análise de dados massivos (big data), alocação ótima de equipes, consumidores-geradores (prosumidores), conexões com GD e microrredes, segurança cibernética, sistemas de previsão meteorológica e monitoramento dos índices de qualidade.

Rota 4 - Sistemas de atendimento integrado

A rota de sistemas de atendimento integrado foi classificada como a 6ª rota mais prioritária, sendo responsável por desenvolver pesquisas na área de sistemas de gestão e despacho de equipes de manutenção de forma integrada à operação. O fato de já existirem sistemas de gestão de equipes sendo utilizados pelas concessionárias faz com que esta rota alcance rapidamente a maturidade média à alta já em 2030. Observa-se uma desaceleração a partir daí, pois dependerá de outras rotas de operação e manutenção. A capacidade de automação da rede, comunicação e aquisição massiva de dados irá ditar o ritmo de avanço até 2050, quando sua maturidade plena será atingida. Esta rota também inclui a participação do cliente como gestor da rede (prosumidores) e estudos de novos modelos de negócio para identificá-los e implementá-los. O Gráfico 44 mostra a tendência de evolução de maturidade para esta rota:

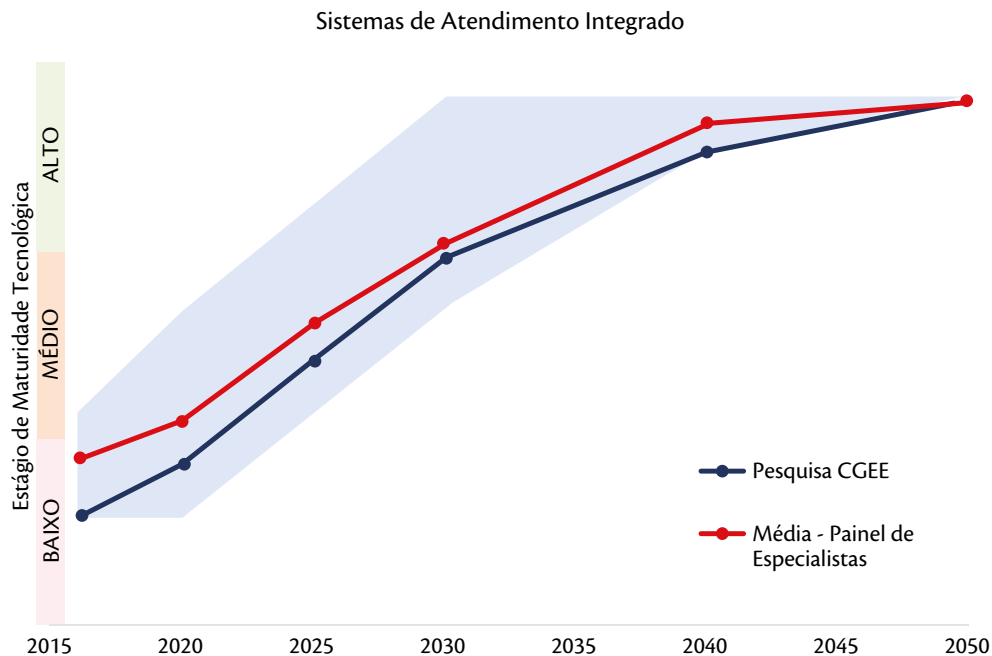


Gráfico 44 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de atendimento integrado

Fonte: Elaboração própria.

Rota 5 - Engenharia de operação

A rota de engenharia de operação (R5) visa dar subsídios tecnológicos para o monitoramento, aquisição e análise de dados pelo COD. Nesta rota, serão pesquisados sistemas para análise de qualidade, alternativas de restabelecimento de sistemas, infraestrutura para redes inteligentes e operação integrada aos veículos elétricos na rede (V2G - *Vehicle to Grid*). Sua evolução se dá de forma moderada, conforme as tecnologias se desenvolvem (redes elétricas inteligentes, veículos elétricos, *self-healing*, internet das coisas - *iot*, etc.). Em 2050, acredita-se que a maturidade esteja em nível máximo, conforme Gráfico 45

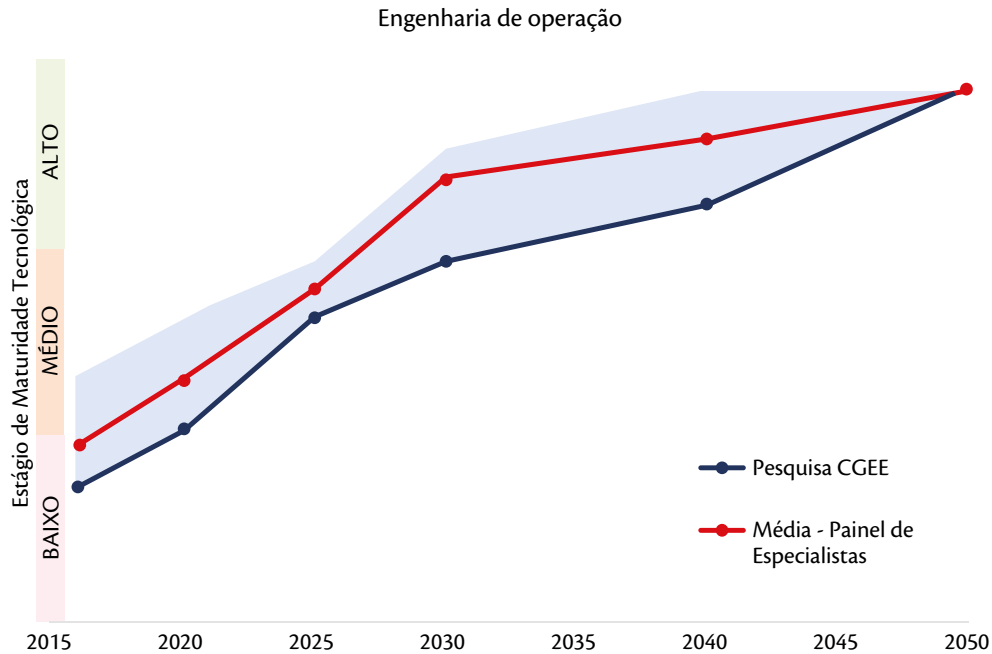


Gráfico 45 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de operação

Fonte: Elaboração própria.

Rota 6 - Ferramentas e sistemas de pré-operação

A rota de pré-operação visa preparar o COD para os procedimentos de rede que serão adotados em cenários de prossumidores, GD e microrredes, pesquisando ferramentas e softwares para otimizar a forma que a operação é feita hoje. Além disso, também há a vertente de impactos nas mudanças climáticas na operação de redes, fundamental no planejamento da operação e com desdobramentos diretos na operação em tempo real.

Como as grandes mudanças na rede se darão a partir de 2030, a rota tem seu crescimento acelerado até esta década, e a partir daí, sofre influência das novas tecnologias e regulação vigente. O Gráfico 46 mostra o desenvolvimento da rota na previsão dos especialistas:

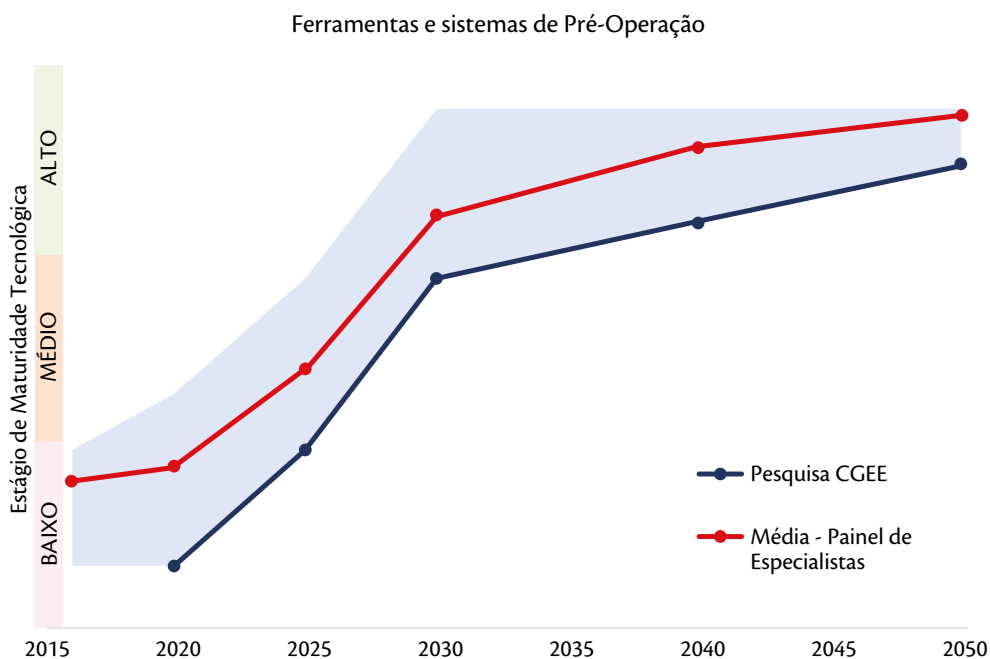


Gráfico 46 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e sistemas de pré- operação

Fonte: Elaboração própria.

Rota 7 - Ferramentas e sistemas para apoio à decisão operativa em tempo real

Nesta rota, serão pesquisados diversos sistemas que possam dar suporte ao operador em tempo real, cuja complexidade é muito alta e envolve diversas áreas da empresa (TRAVASSOS; DA CUNHA, 2011). Dentre as linhas de pesquisa a curto prazo, estão sistemas de localização de eventos e metodologias e softwares de previsão meteorológica.

As tecnologias existentes e utilizadas nos COD são um bom ponto de partida para as pesquisas futuras em sistemas de localização de falta, critérios de decisão em tempo real e reação a fenômenos climáticos. Ademais os investimentos gradativos em automação, necessários em redes de distribuição inteligentes, contribuirão para implementar sistemas cada vez mais complexos nas distribuidoras.



Assim, a maturidade avança rapidamente nestas duas vertentes até 2030, ficando estagnada pela transição das tecnologias do sistema - a implementação de automação da rede, geração distribuída e novas TICs tornarão a interoperabilidade de sistemas algo desafiador para a operação em tempo real. Ademais, o baixo número de equipamentos sensores que se tem na rede de distribuição atualmente ainda não é suficiente para implementação de sistemas de apoio à operação em tempo real. Com o passar do tempo, a complexidade da rede pode vir a ser um problema para evolução da rota, o que demandará mais tempo e investimento em pesquisas para ultrapassar esta barreira. O número crescente de consumidores também afetará o tempo real, pois ficará cada vez mais difícil priorizar as regiões atingidas em detrimento de outras (TRAVASSOS, 2011).

Por essa razão, acredita-se que, somente em 2040, será possível realizar os testes necessários para validação das tecnologias e sistemas desenvolvidos na rota, atingindo assim sua maturidade plena e abrindo derivações de outras novas rotas futuras. A seguir, temos o gráfico elaborado pelos especialistas, os quais corroboram com esta visão de evolução da rota em questão.

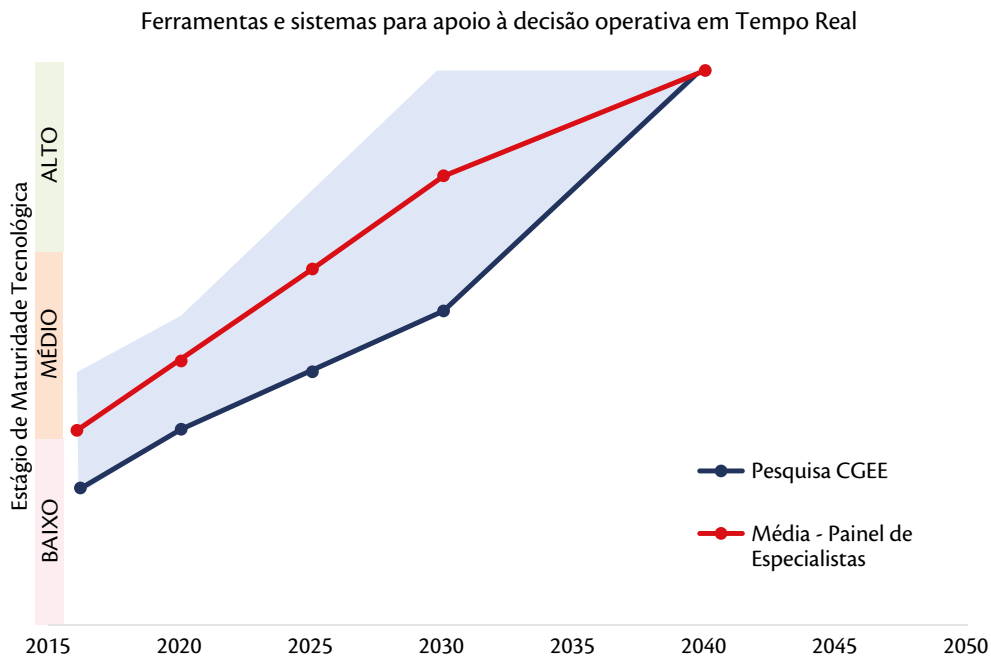


Gráfico 47- Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e sistemas para apoio à decisão operativa em tempo real

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas desse agrupamento se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 24 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação - agrupamento II

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Operação	Sistemas de Atendimento Integrado	Fatores portadores de futuro	Sistemas e softwares existentes; padronização entre operação e manutenção	Projetos de P&D de otimização e alocação ótima de equipes; necessário maior nível de automação e comunicação da rede	Políticas de incentivo à GD; necessário maior nível de automação e comunicação da rede	Políticas de incentivo à GD; possível adoção de fornecimento próprio por parte do cliente	Adoção massiva de GD; possível adoção de fornecimento próprio por parte do cliente	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Engenharia de operação	Fatores portadores de futuro	Sistemas de comunicação existentes; padronização de sistemas de comunicação na rede	Grande capilaridade do sistema de comunicação; necessário nível de automação e comunicação da rede	Grande capilaridade do sistema de comunicação; adoção massiva de GD	Implementação maciça das redes inteligentes; adoção massiva de GD	Maturação da tecnologia de veículos elétricos; métricas de qualidade mais exigentes	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Operação	Ferramentas e sistemas de Pré-Operação	Ferramentas e sistemas de Pré-Operação	Softwares existentes oriundos de P&D Aneel; necessidade de adequação da legislação vigente; necessidade de modernização da rede de monitoramento climático	Pesquisas em desenvolvimento; necessidade de adequação da legislação vigente; necessidade de modernização da rede de monitoramento climático		Necessidade de adequação dos procedimentos de rede; modernização do sistema através dos avanços em TIC		Possíveis mudanças de grande impacto na rede elétrica
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Ferramentas e sistemas para apoio à decisão operativa em Tempo Real	Fatores portadores de futuro	Pesquisas em andamento; necessidade de maior número de sensores na rede	Tecnologias existentes; necessidade de maior automação da rede	Investimentos em automação e redes inteligentes; sistemas cada vez mais complexos		Rede automatizada para grandes centros urbanos; aumento no número de consumidores	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento III

No que diz respeito à evolução tecnológica, as rotas do agrupamento III estão voltadas para sistemas de automação de rede, ferramentas de pós-operação e para otimização de desligamentos programados. Fazem parte deste grupo as rotas sistemas autônomos de operação (R8), ferramentas e sistemas de pós-operação (R9), otimização de desligamentos programados (R10), os quais possuem alta sinergia com as macrotemáticas de tecnologias de informação e comunicação, automação da rede, e segurança cibernética.

Assim, as linhas de pesquisa deste grupo estão voltadas para a análise dos dados de monitoramentos de equipamentos (sensores), sistemas hierárquicos para soluções híbridas (centralizado e descentralizado), novos procedimentos de operação em tempo real, considerando a implantação de novas tecnologias de informação e comunicação, algoritmos de segurança cibernética, planejamento de manobras e número de turmas de emergência baseados em condições climáticas.

As maiores influências que estas rotas podem suportar em relação à estratégia setorial estão ligadas às políticas de incentivo do governo, no que diz respeito à entrada massiva de GD com energia fotovoltaica na rede, aos protocolos de comunicação a serem homologados e ao aumento da rede de detecção de eventos climáticos severos e desligamentos programados. No que se refere aos aspectos socioambientais, o maior impacto será na melhoria de indicadores de qualidade.

O mercado aos poucos irá ditar quais tecnologias serão as mais utilizadas em residências, pequenas indústrias e comércio, e as rotas devem se direcionar para as tecnologias cujos indicativos sejam os mais relevantes para adoção pela sociedade. Dessa forma, as rotas tenderão a aumentar a produção técnico-científica nestas áreas. Por fim, destaca-se que as demandas para indústria e mercado não avançarão muito até 2030, por se tratar de algo muito novo para as redes de distribuição brasileiras. Será preciso grandes investimentos das distribuidoras e grande adoção de GD por parte dos consumidores para que o impacto na indústria seja relevante.

Rota 8 - Sistemas autônomos de operação

A rota de sistemas autônomos de operação (R8) tem como principal viés de pesquisa a reconfiguração automática da rede de distribuição (*self-healing*), além da operabilidade do sistema considerando todos os equipamentos de automação de rede.

A evolução desta rota ocorre de maneira bem linear, pois, no início, há os equipamentos já existentes na rede, que são poucos, porém de tecnologia dominada. A partir de 2030, sistemas maiores e mais complexos, somados aos investimentos na rede de distribuição (maior sensoriamento da rede) abrirão linhas de pesquisa para sistemas de automação híbridos e sua operação em tempo real, de forma otimizada, segura e com alta confiabilidade (COMASSETO; DA CUNHA, 2011).

Conforme visualizado no Gráfico 48, os especialistas foram bastante coerentes quanto ao tempo de evolução, percebendo-se leve atraso até 2030 para implementação das redes inteligentes. Nestas redes, os sistemas de automação serão um dos primeiros a serem instaurados, então se prevê que, a partir deste momento, haja uma aceleração na evolução destas linhas de pesquisa.

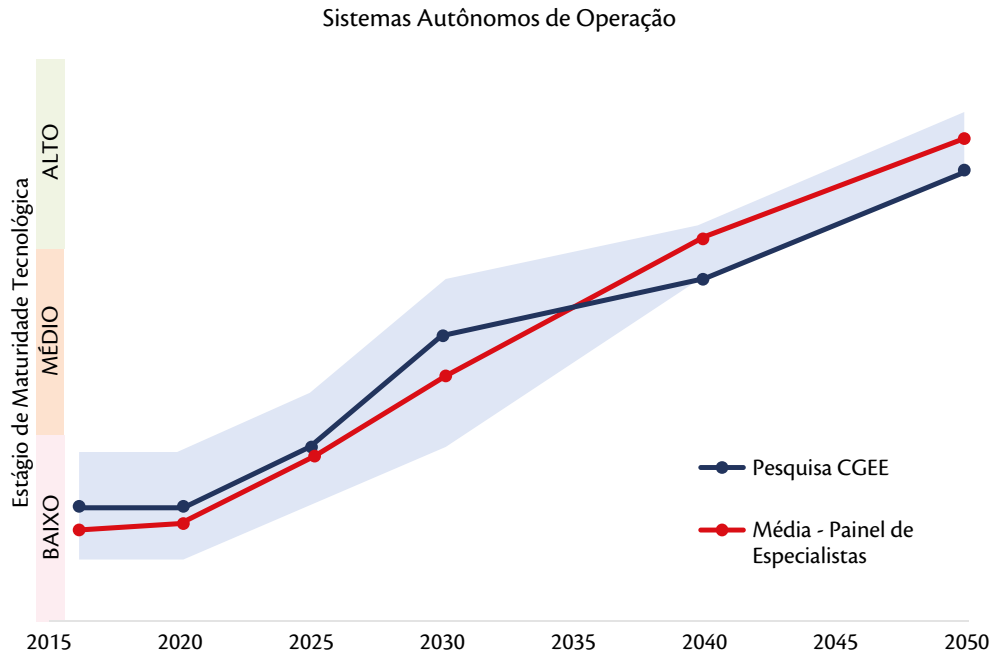


Gráfico 48 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas autônomos de operação

Fonte: Elaboração própria.

Rota 9 - Ferramentas e sistemas de pós-operação

Na pós-operação, serão processados todos os dados gerados na operação em tempo real e analisados, buscando melhorias nos atuais procedimentos, sistemas, ferramentas, qualidade e cumprimento da legislação vigente. A análise de quantidade massiva de dados (big data), já estudada para diversas outras áreas (financeira, política, pesquisas de mercado, informática, entre outros), pode ser aplicada, na pós-operação, por exemplo, por meio da aquisição e processamento dos dados de equipamentos, medidores, sensores, estações meteorológicas, eventos gerados na operação, GD, etc. (SCHERMANN, 2016; OPEN METODOLOGY, 2017).

Por se tratar de tecnologia em estágio avançado de estudo em outros setores, acredita-se que essa rota será de rápida evolução, apenas se limitando a quantidades massivas de equipamentos e dados circulando na rede elétrica (implantação de redes inteligentes), após 2030, como é apresentado no Gráfico 49.

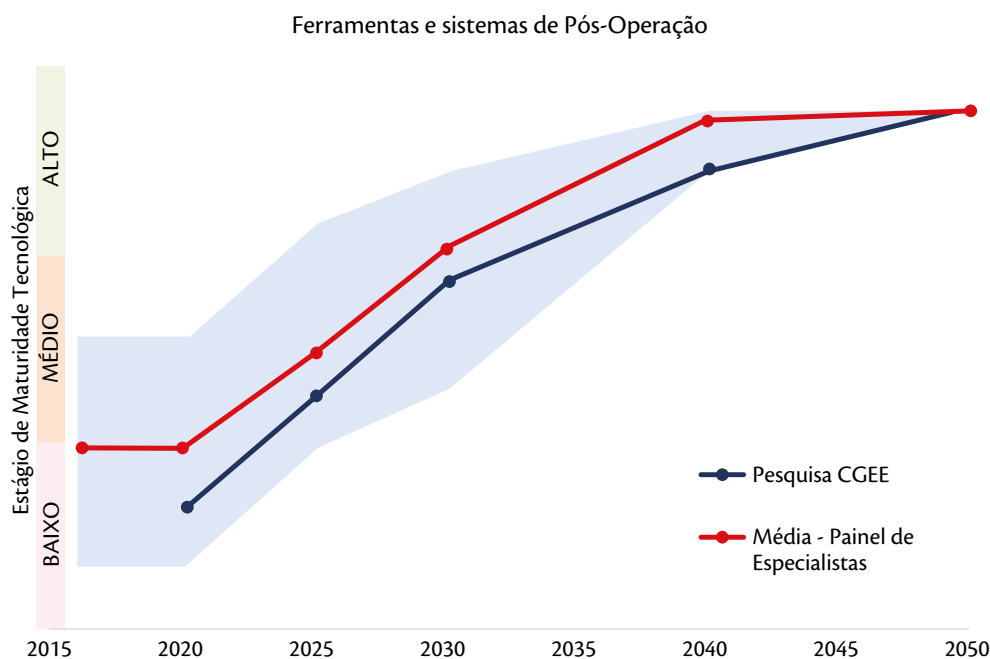


Gráfico 49 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e sistemas de pós- operação

Fonte: Elaboração própria.

Rota 10 - Otimização de desligamentos programados

A rota de desligamentos programados visa ao desenvolvimento de metodologia para planejamento de manobras e número de turmas de emergência baseados em condições climáticas (contingências). É uma das rotas mais simples dentre as que compõem a macrotemática de operação e manutenção, porém não menos importante, uma vez que as otimizações destes recursos influenciam diretamente nos índices de qualidade e, por consequência, violação da legislação vigente. Além disso, os desligamentos programados são os procedimentos que mais afetam os clientes, pois a falta de energia elétrica são problemas de maior percepção, de acordo com ranking de reclamações do PROCON.



Por esse motivo, estima-se que rota atinja sua maturidade já em 2030. Ademais, os desligamentos desta rota não dependem fortemente de tecnologias de outras temáticas. Porém, quando o cenário de distribuição de energia se tornar mais complexo, serão necessárias outras rotas de pesquisa para enfrentar estes desafios.

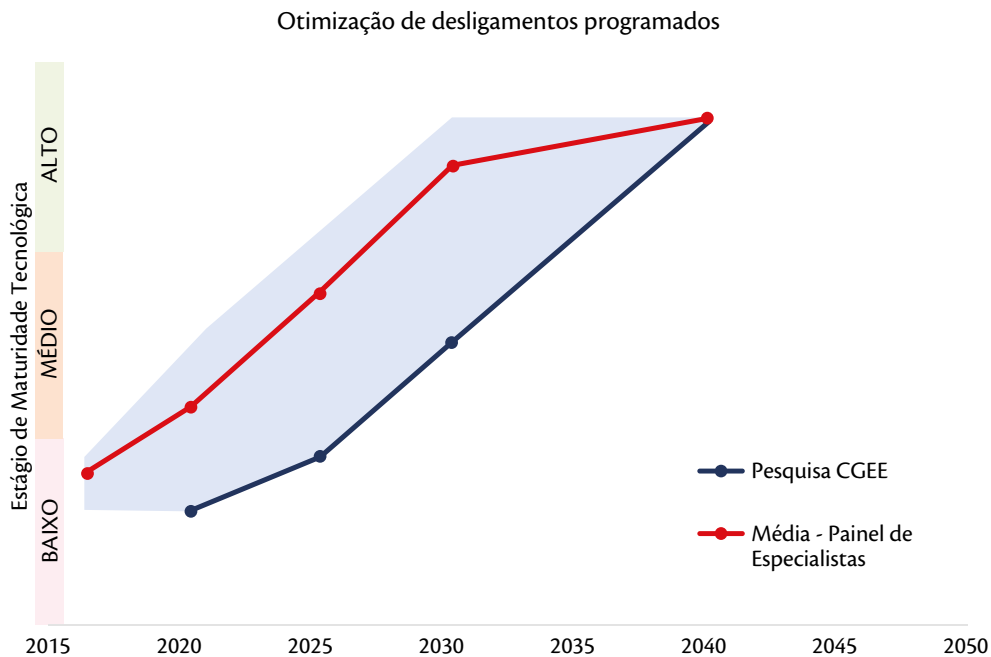


Gráfico 50 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de otimização de desligamentos programados

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas desse agrupamento se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 25 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Operação	Sistemas Autônomos de Operação	Fatores portadores de futuro	Domínio das tecnologias de automação, amplamente utilizadas nos COD; necessidade de maior número de equipamentos e sensores na rede; custo de implementação e tecnologias	Poucas mudanças em TIC e GD	Alta motivação da indústria com redes inteligentes; investimentos altos nas primeiras gerações de RI	Alta motivação da indústria com redes inteligentes; necessidade de padronização de equipamentos e tecnologias (tanto em hardware quanto em software embarcado)	Maior monitoramento da rede; complexidade do sistema	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO		ALTO
	Ferramentas e sistemas de Pós-Operação	Fatores portadores de futuro	Utilização de tecnologia em outras áreas; necessidade de maior quantidade de dados		Conhecimento da origem dos dados	Qualidade dos dados; complexidade na aquisição de dados		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Otimização de desligamentos programados	Fatores portadores de futuro	Problemas são conhecidos; necessidade de maior capilaridade de sensores climatológicos		Problemas são conhecidos; maiores exigências da legislação e consumidores	Pesquisas já realizadas na área; maiores exigências da legislação e consumidores		
			BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.



7.1.6 Temática manutenção

Para a temática manutenção, foram definidas quatro rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 34.

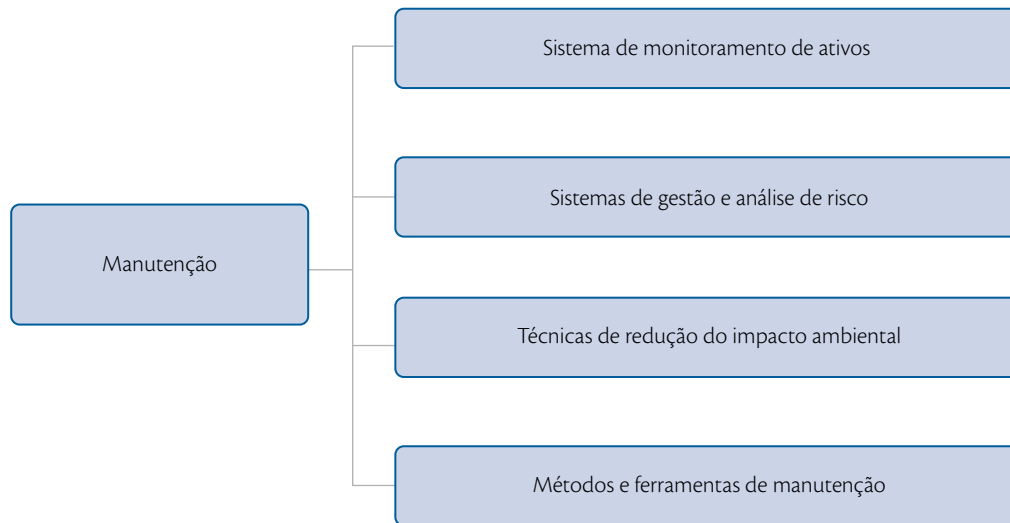


Figura 34 - Temática manutenção

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 51 ao Gráfico 54. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

No que diz respeito à evolução tecnológica, as rotas deste grupo estão mais direcionadas ao desenvolvimento de novas práticas e ferramentas para manutenção, à evolução dos sistemas de gestão de ativos e aos impactos ambientais em podas. Assim, buscam melhor eficiência no gerenciamento dos ativos da rede, melhor eficiência da manutenção com uso de novas tecnologias e redução dos

impactos ambientais, e possuem alta sinergia com outras macrotemáticas como automação da rede, qualidade da energia, compartilhamento de serviços e medição avançada.

Ressaltam-se para este grupo fatores externos não tecnológicos relacionados ao vandalismo à rede elétrica, que afetam diretamente a gestão de ativos da distribuidora - esta situação é cultural e sua fiscalização é pouco disseminada, conjuntura que tem de mudar.

Para os aspectos socioambientais, o impacto ambiental das podas de árvores destaca-se como foco principal. O avanço da otimização de podas e manejo integrado de vegetação deve sinalizar quais serão as melhores medidas a serem adotadas. Assim, as rotas tenderão a aumentar a produção técnico-científica nas áreas de gestão de ativos, novas práticas de manutenção e ferramentas de redução de impactos ambientais com poda de árvores. Porém isto deve ocorrer de maneira bem mais acelerada a âmbito internacional do que nacional, uma vez que o estudo e desenvolvimento das soluções estão em processos iniciais.

Rota 11 - Sistema de monitoramento de ativos

A rota de sistema de monitoramento de ativos foi classificada como 7ª rota mais prioritária, sendo responsável por desenvolver ferramentas computacionais para gestão de ativos, utilizando novas tecnologias de sensores e equipamentos inteligentes em inspeções. O fato de já ter avanços tecnológicos em sensores, atuadores e medidores para gestão de ativos, faz com que esta rota alcance rapidamente maturidade de média a alta até 2030. A partir de então, observa-se uma desaceleração, pois dependerá da complexidade da distribuição de energia após a inserção de redes inteligentes e GD no sistema. A retração nos investimentos em manutenção ditará o ritmo de avanço até 2050, quando se prevê que ela atingirá maturidade plena. O Gráfico 51 mostra a tendência de evolução de maturidade para esta rota:

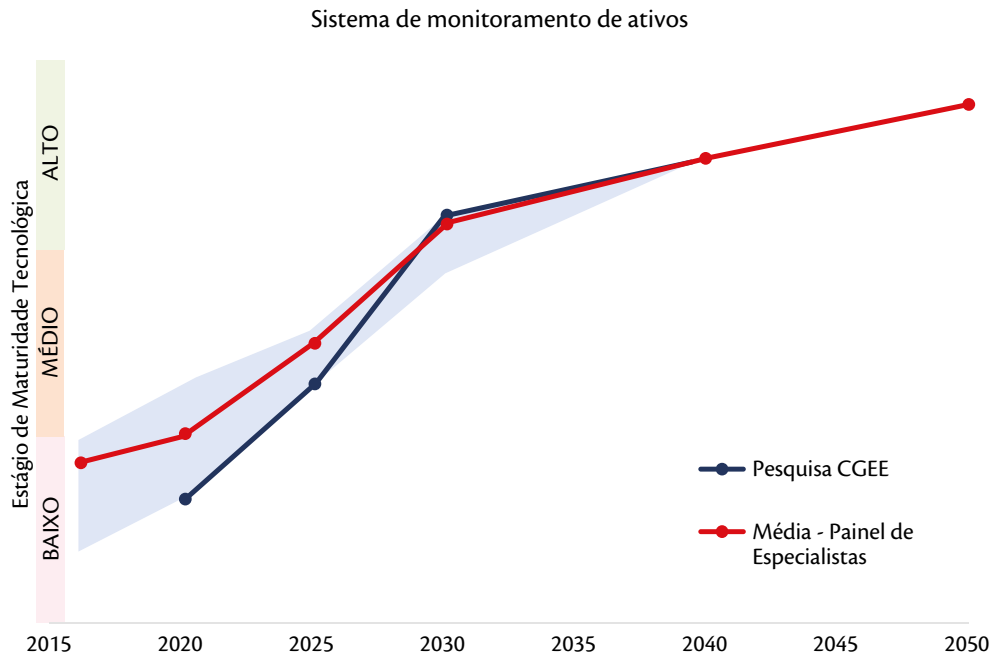


Gráfico 51 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistema de monitoramento de ativos

Fonte: Elaboração própria.

Rota 12 - Sistemas de gestão e análise de risco

A rota de sistemas de gestão e análise de risco é responsável por desenvolver sistemas para elaboração de planos de manutenção com base no diagnóstico dos ativos e adoção de matriz de riscos. O fato de já existirem avanços tecnológicos, equipamentos inteligentes para diagnósticos, bem como o conceito consolidado de matriz de riscos, faz com que esta rota alcance rapidamente maturidade de média a alta até 2030. A partir de então, observa-se uma desaceleração, pois dependerá da complexidade da distribuição de energia após a inserção de redes inteligentes e GD no sistema. A retração nos investimentos em manutenção ditará o ritmo de avanço até 2050, quando se prevê que ela atingirá maturidade plena. O Gráfico 52 mostra a tendência de evolução de maturidade para esta rota:

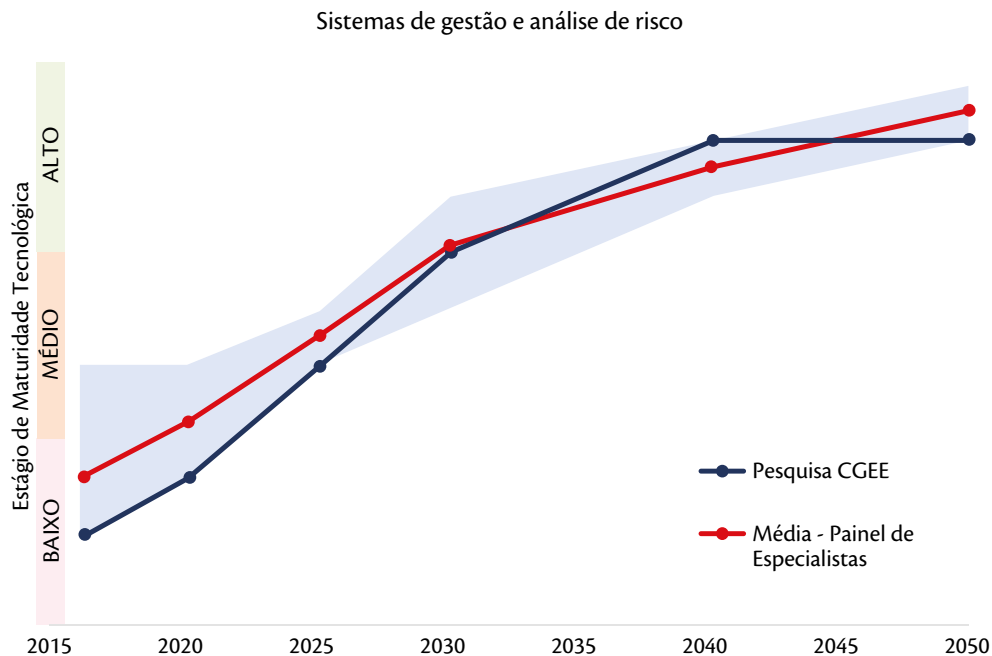


Gráfico 52 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de gestão e análise de risco

Fonte: Elaboração própria.

Rota 13 - Técnicas de redução do impacto ambiental

A rota de técnicas de redução do impacto ambiental visa minimizar os transtornos ambientais nas constantes supressões vegetais ocorridas na faixa de servidão de linhas de distribuição e subtransmissão, conforme é feita hoje. Além disso, também há a vertente da logística da cadeia reversa com o descarte adequado dos resíduos proveniente das atividades em redes de distribuição.

Como há forte apelo socioambiental e governança política rigorosa aos impactos ambientais, esta rota tem seu crescimento acelerado até 2030, e a partir daí sofrerá com a incerteza quanto à utilização de herbicidas/inibidores de crescimento - espera-se maior preocupação ambiental com a utilização de composição química em larga escala na inibição do crescimento de vegetação nas faixas de servidão, bem como com a saúde humana, implicando maior rigor regulatório. O Gráfico 53 mostra o desenvolvimento da rota na previsão dos especialistas:

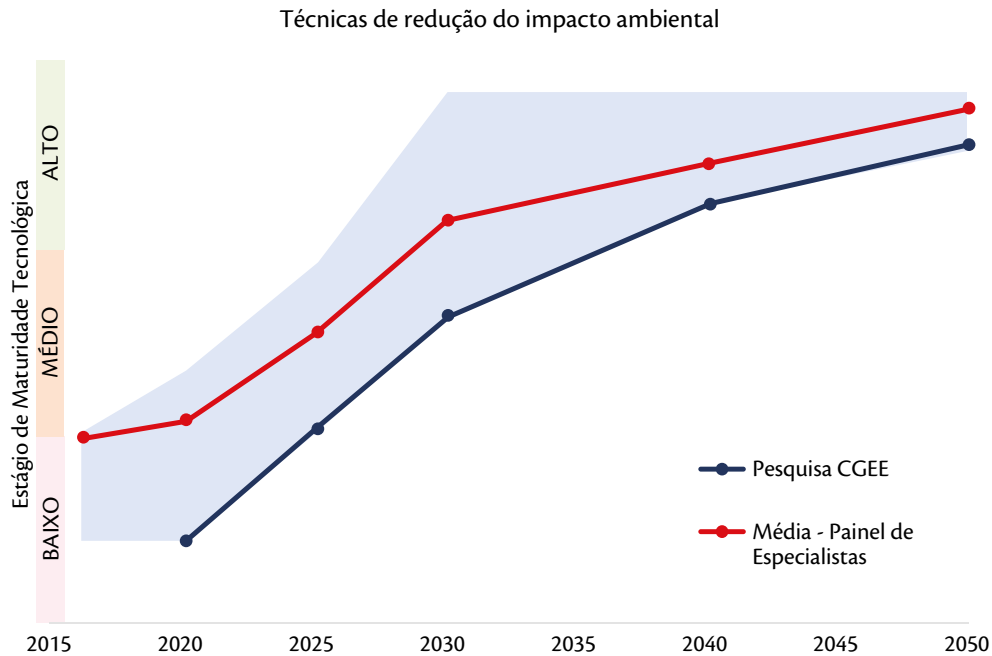


Gráfico 53 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de técnicas de redução do impacto ambiental

Fonte: Elaboração própria.

Rota 14 - Métodos e ferramentas de manutenção

A rota de métodos e ferramentas de manutenção é responsável por desenvolver novos métodos e ferramentas para avaliação das inspeções e manutenções da rede e utilização de *drones* para inspeção e controle da manutenção. O fato de já existirem pesquisas em andamento e tecnologia de *drones* para inspeção em grande evolução faz com que esta rota alcance rapidamente maturidade de média a alta até 2030. A partir de então, observa-se uma desaceleração, pois dependerá da complexidade da distribuição após a inserção de redes inteligentes e GD no sistema. A retração nos investimentos em manutenção ditará o ritmo de avanço até 2050, quando se prevê que ela atingirá sua maturidade plena. O Gráfico 54 mostra a tendência de evolução de maturidade para esta rota:

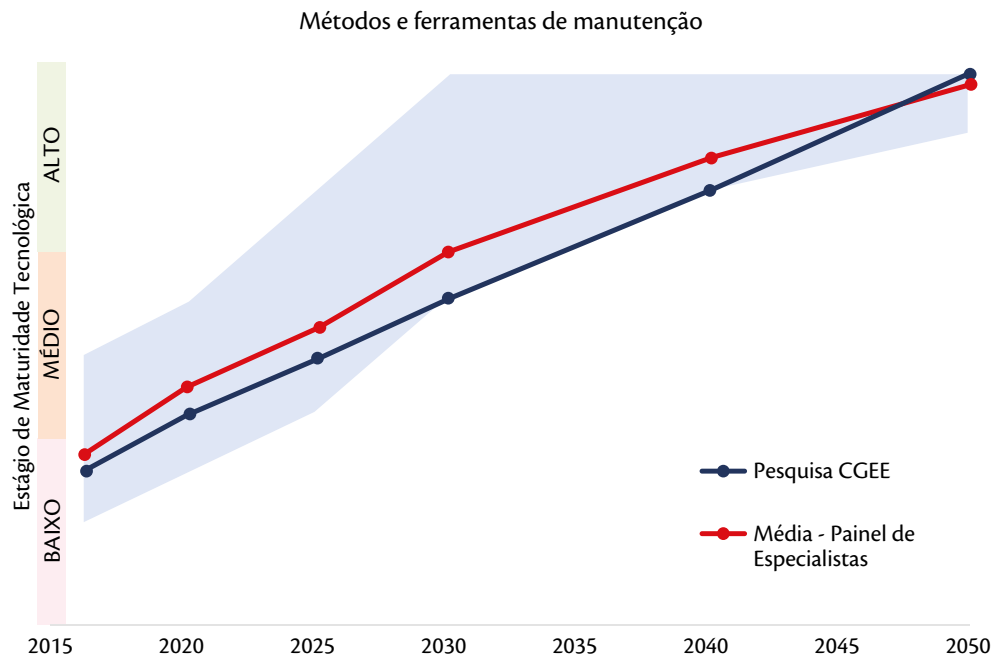


Gráfico 54 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métodos e ferramentas de manutenção

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 26 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática manutenção

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Manutenção	Sistema de monitoramento de ativos	Fatores portadores de futuro	Existência de tecnologia de equipamentos eletrônicos inteligentes	Surgimento de novas tecnologias de equipamentos eletrônicos inteligentes	Consolidação dos equipamentos eletrônicos inteligentes; modelos de inspeção serão aperfeiçoados tecnologicamente com o uso de <i>drones</i> e robôs	Necessários investimentos reduzidos na área de manutenção			
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			
	Sistemas de gestão e análise de risco	Fatores portadores de futuro	Existência de tecnologia de equipamentos eletrônicos inteligentes	Surgimento de novas tecnologias de equipamentos eletrônicos inteligentes	Consolidação dos equipamentos eletrônicos inteligentes; modelos de inspeção serão aperfeiçoados tecnologicamente com o uso de <i>drones</i> e robôs	Necessários investimentos reduzidos na área de manutenção			
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			
	Técnicas de redução do impacto ambiental	Fatores portadores de futuro	Pesquisas em andamento	Importância do controle e do cuidado socioambiental	Regulação mais rigorosa com aspectos ambientais; preocupação e regulação referentes à utilização de compostos químicos				
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			
	Métodos e ferramentas de manutenção	Fatores portadores de futuro	Pesquisas em andamento	Evolução da tecnologia de <i>drones</i> para inspeção	Consolidação do padrão de utilização de <i>drones</i> para inspeção	Necessários investimentos reduzidos na área de manutenção			
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

7.1.7 Temática segurança

Para a temática segurança, foram definidas três rotas tecnológicas, conforme indicadas na Figura 35.

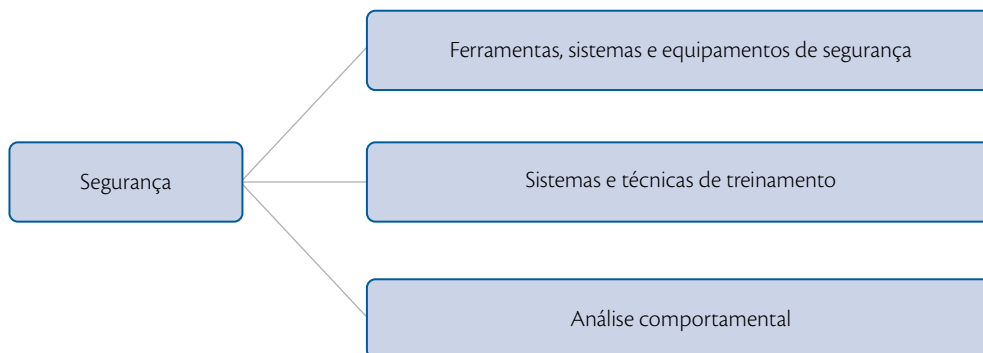


Figura 35 - Temática segurança

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 55 ao Gráfico 57. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

No que diz respeito à evolução tecnológica, as rotas estão mais direcionadas ao desenvolvimento de sistemas preventivos de segurança, adoção de novas ferramentas e equipamentos de segurança, treinamento e análise comportamental. Buscam mitigar os acidentes fatais e lesões permanentes e melhor eficiência dos serviços com uso de novas tecnologias. Assim, possuem sinergia com a macrotemática qualidade da energia elétrica.



Rota 15 - Ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança

A rota de ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança foi classificada como 2ª rota mais prioritária, sendo responsável por desenvolver sistemas de monitoramento de turmas por satélite e câmeras de alta resolução, novas tecnologias e materiais para ferramentas e utilização de *drones* e robótica, sob os aspectos de segurança do trabalho. O fato de já ter avanços tecnológicos na área robótica e na utilização de ferramentas e materiais para segurança dos profissionais, faz com que esta rota alcance rapidamente maturidade de média a alta até 2030. A partir de então, observa-se uma desaceleração, pois ela dependerá de outras rotas de operação e manutenção. Os acompanhamentos dos indicadores quantitativos de segurança irão ditar o ritmo de avanço até 2050, quando se prevê que ela atingirá sua maturidade plena. O Gráfico 55 mostra a tendência de evolução de maturidade para esta rota:

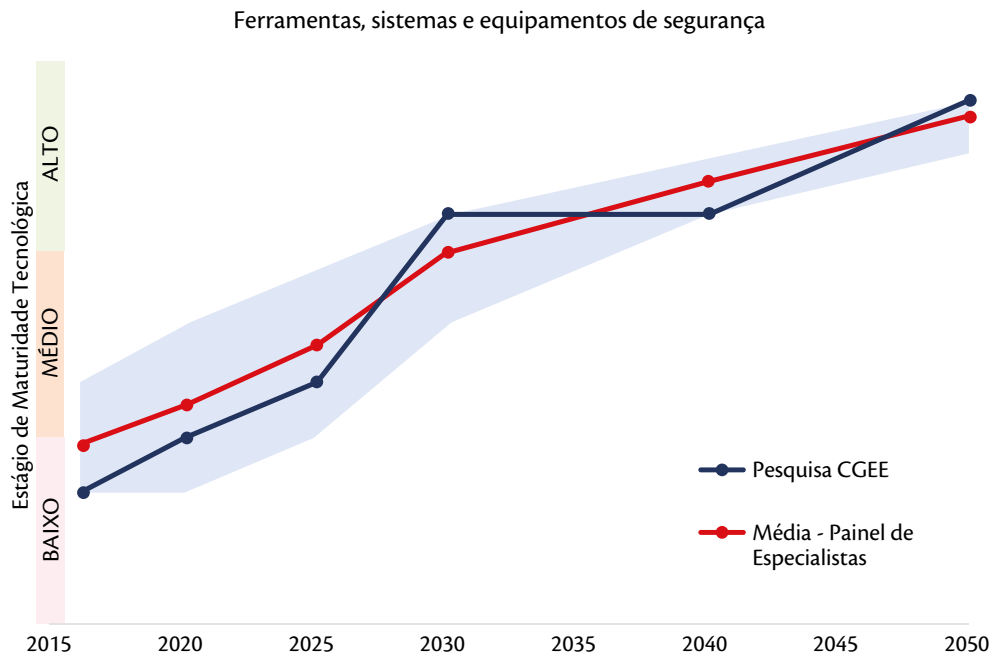


Gráfico 55 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança

Fonte: Elaboração própria.

Rota 16 - Sistemas e técnicas de treinamento

A rota de treinamento foi a 3ª rota mais prioritária, sendo responsável por desenvolver novos procedimentos para treinamento das turmas de manutenção emergencial e monitoramento desses procedimentos, além da utilização de realidade virtual em treinamentos para equipes de emergência, sob os aspectos de segurança do trabalho. O fato de já ter procedimentos de segurança instaurados e avanços tecnológicos tanto para monitoramento de turmas quanto para realidade virtual, faz com que esta rota alcance rapidamente maturidade de média a alta até 2030. A partir de então, observa-se uma desaceleração, pois ela dependerá de outras rotas de operação e manutenção. A grade de treinamentos diversos presenciais e à distância irão ditar o ritmo de avanço até 2050, quando se prevê que ela atingirá sua maturidade plena. O Gráfico 56 mostra a tendência de evolução de maturidade para esta rota:

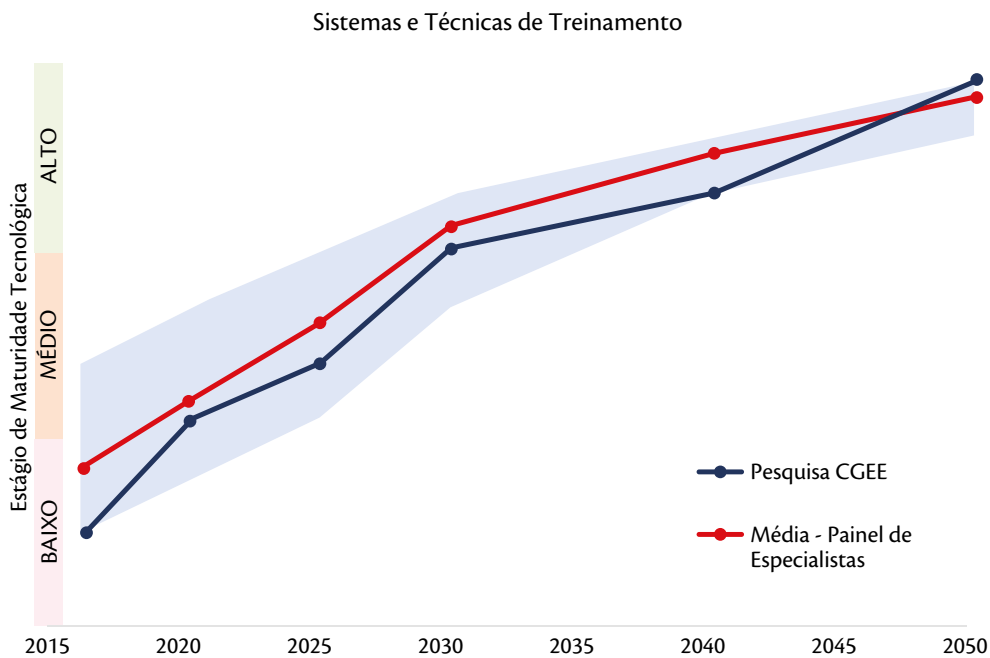


Gráfico 56 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas e técnicas de treinamento

Fonte: Elaboração própria.



Rota 17 - Análise comportamental

A rota de análise comportamental, selecionada como a 4ª rota mais prioritária, visa à prevenção de falha humana na operação dos sistemas de distribuição. Nesta rota, serão pesquisadas metodologias para avaliação de aspectos comportamentais e de contratos psicológicos. Sua evolução se dá de forma moderada, já que a precisão de manobras que reduzem os riscos operativos e de segurança dependem da evolução das redes de distribuição. Em 2050, acredita-se que a maturidade esteja muito próxima ao nível máximo, conforme Gráfico 57:

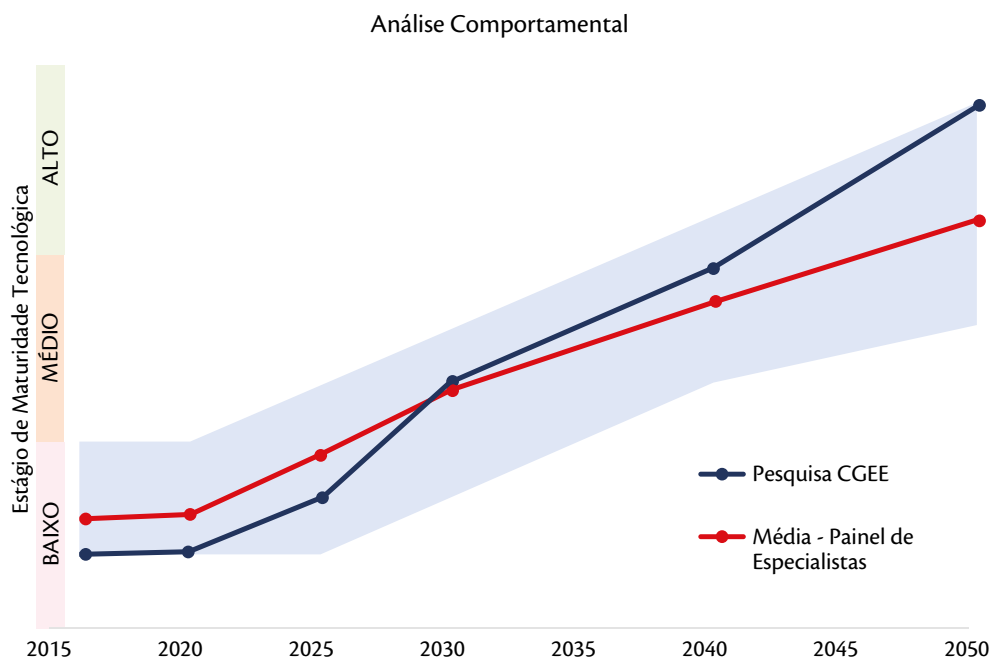


Gráfico 57- Evolução da maturidade tecnológica da rota de análise comportamental

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 27 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática segurança

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Segurança	Ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança	Fatores portadores de futuro	Constante preocupação com a mitigação de acidentes fatais e lesões permanentes; necessário maior monitoramento dos serviços		Custos altos de implementação de sistemas de monitoramento em tempo real; constante preocupação com a mitigação de acidentes fatais e lesões permanentes		Complexidade alta dos sistemas de distribuição; constante preocupação com a mitigação de acidentes fatais e lesões permanentes	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Sistemas e Técnicas de Treinamento	Fatores portadores de futuro	Necessidade de maior capacitação dos empregados; constante preocupação com a mitigação de acidentes fatais e lesões permanentes			Complexidade das redes de distribuição; constante preocupação com a mitigação de acidentes fatais e lesões permanentes		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Análise Comportamental	Fatores portadores de futuro	Constante preocupação com a mitigação de acidentes fatais e lesões permanentes; modernização e maior complexidade da rede; utilização de robótica para situações de alta complexidade					
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO		ALTO

Fonte: Elaboração própria.



7.4 Priorização

Neste item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática **Operação e Manutenção**. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados na nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, crescentemente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **17**, pois são **dezessete** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática de Operação e Manutenção

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Sistemas de operação considerando inserção massiva de GD	Operação
2	Ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança	Segurança
3	Treinamento	Segurança
4	Análise comportamental	Segurança
5	Sistemas de supervisão e controle	Operação
6	Sistemas de atendimento integrado	Operação
7	Sistema de monitoramento de ativos	Manutenção
8	Métodos e ferramentas de manutenção	Manutenção
9	Ferramentas e sistemas para apoio à decisão operativa em tempo real	Operação
10	Técnicas de redução do impacto ambiental	Manutenção
11	Engenharia de operação	Operação
12	Sistemas de gestão e análise de risco	Manutenção
13	Otimização de desligamentos programados	Operação
14	Ferramentas e sistemas de pré-operação	Operação
15	Sistemas autônomos de operação	Operação
16	Ferramentas e sistemas de pós-operação	Operação
17	Sistemas de operação considerando formas não convencionais de transporte de energia	Operação

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Tabela 6, pode-se identificar claramente que o impacto na inserção massiva de GD será um grande mistério para a macrotemática de Operação e Manutenção, em face das incertezas criadas e sem um horizonte muito claro para qual direção irão as outras áreas de uma distribuidora. Hoje e no curto prazo, as distribuidoras estão se limitando a fazer as conexões à rede das GDs, dos poucos clientes que solicitam essas novas ligações, segundo os seus procedimentos, indicam alertas básicos de segurança. Com o aumento dessa demanda por novas instalações de GD, os procedimentos de conexão começam a ser necessários assim como os procedimentos de operação em tempo real, baseados nas pesquisas sobre os efeitos (afundamento, intermitência, etc.), a operação microrredes, a redução de perdas técnicas, as manobras e transferência de cargas, os protocolos de comunicação



e a automação. Hoje não existe literatura que possa direcionar a forma de atuação dos operadores, nem mesmo onde uma noção dos impactos que essa massificação pode acusar nos ativos e na infraestrutura das redes existentes. A relevância é justificada por ter de elaborar tudo (procedimentos e sistemas) novos, desde o seu início e bem preliminar.

Na sequência, observa-se que as questões relacionadas à temática de segurança dos colaboradores e da sociedade são prioritárias com as sequências 2, 3, e 4 respectivamente, as rotas tecnológicas aqui definidas estão abordando as ferramentas, equipamentos e sistema de controle; treinamentos, em geral; análise comportamental em relação aos colaboradores da operação, mais diretamente ligados às falhas humanas em ambiente de pressão e estresse e da manutenção nas roçadas das faixas de servidão e podas com uso de ferramentas antigas de corte (foice, facão, enxadas, etc.). O volume de acidentes por esses motivos e por choque elétrico ainda são elevados, e como agravante os índices não são sistemáticos no controle, ou seja, não são todas as empresas que alimentam o banco de dados da Fundação COGE, que tenta manter atualizadas as informações no Brasil. Registra-se nos últimos anos de acompanhamento, ao longo do tempo um volume crescente das taxas de frequência (número de acidentados por milhão de horas de exposição ao risco, num período) e taxas de gravidade (número de dias computados nos acidentes, com afastamento por milhão de horas-homem de exposição ao risco), tornando-as elevadas, no setor elétrico, segundo a Fundação COGE, bem como o número total de acidentes com lesões permanentes, definitivas (invalidez) e fatais.

No plano seguinte, estão os sistemas como um todo, desde a prioridade 5 até a 9 que devem suportar, por meio de inteligência artificial, redes neurais, *self-healing* e demais características de automação de última geração, sem a dependência do homem para operá-las. E a próxima prioridade identifica a importância das questões ambientais no setor elétrico que impactam sobremaneira os métodos de manutenção, descarte de resíduos e reuso de materiais e equipamentos. As outras rotas com outras prioridades, desde a 11 até a 17, apesar da classificação no quadro de prioridades, não são menos importantes do que quaisquer outras delas e assim serão tratadas adequadamente.



Capítulo 8



Capítulo 8

Macrotemática subestações e equipamentos

A macrotemática subestações e equipamentos foi estruturada em seis temáticas distintas, que abordam as tendências e possibilidades de PD&I concernentes à renovação de subestações e equipamentos. As temáticas são apresentadas na Figura 36.

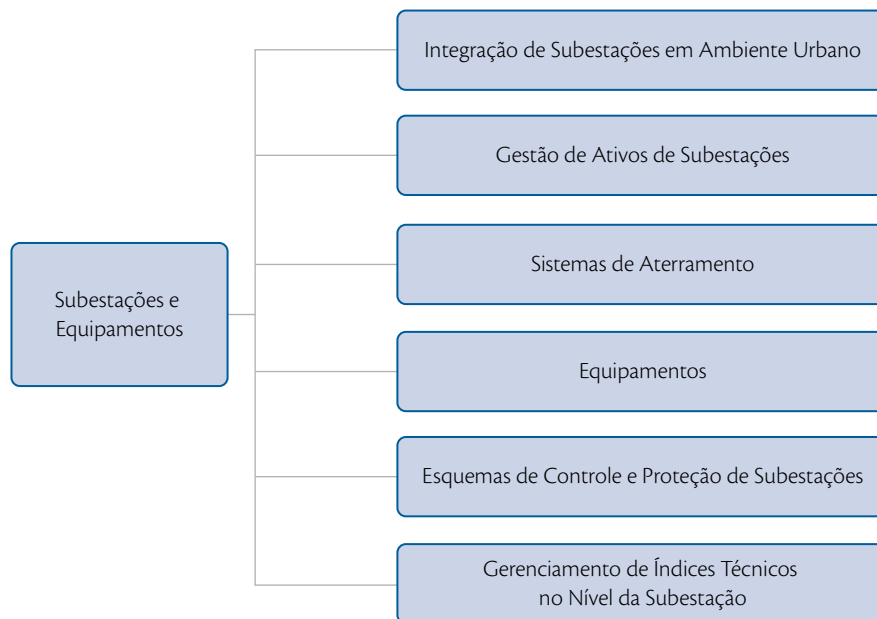


Figura 36 - Temáticas de subestações e equipamentos

Fonte: Elaboração própria.

8.1 Visão de futuro

8.1.2 Cenário setorial

A demanda por energia elétrica resultará, até 2050, em acréscimo de capacidade instalada em torno de 400 GW a 480 GW, o que certamente implicará a necessidade de construção de infraestruturas de distribuição de energia cada vez mais próximas aos centros urbanos existentes e vindouros.

Por outro lado, esse crescimento reflete um ritmo de desenvolvimento que certamente implicará entraves cada vez maiores para a construção de tais infraestruturas em regiões densamente ocupadas, quer seja por aversão social ao impacto visual gerado por construções dessa natureza, quer seja pelos altos custos de terrenos nessas regiões. Assim, demandar-se-á o desenvolvimento de infraestruturas cada vez mais compactas e com reduzido tempo de implantação.

Soma-se a isso o aumento de exigência por parte da sociedade por melhoria da qualidade do serviço e do produto, o que requer maiores esforços em eficiência operacional e melhor gestão dos ativos instalados na rede que, no Brasil, apresentam avançada idade em operação.

8.1.3 Objetivo geral

Considerando o respectivo cenário, os investimentos em PD&I referentes ao segmento de subestações de distribuição devem ser direcionados para viabilizar sua instalação de forma ágil (para minimizar impactos ambientais advindos do processo de construção), próximas ao centro de carga (portanto, compactas), com alto índice de confiabilidade e flexibilidade, possibilitando a gestão dos ativos e dos indicadores técnicos, com reduzido custo do ciclo de vida.

Esses esforços devem envolver tantos investimentos em tecnologia (aprimoramento de equipamentos, automação, supervisão, etc.), como em engenharia de aplicação de tecnologias existentes de maneira não convencional, rompendo paradigmas históricos do setor de distribuição e permitindo o compartilhamento de infraestrutura (terrenos, telecomunicações) com demais segmentos e empreendimentos.



Assim, deve-se pensar como objetivo geral na concepção de uma subestação inteligente, compacta, modular, com equipamentos autodiagnosticáveis e 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.

8.1.4 Objetivo específico

Para obtenção do objetivo geral, é necessário que se desenvolvam tecnologias nas seguintes áreas:

Curto prazo (2017-2020):

- estudos de arranjos e soluções para integração urbanística de subestações de distribuição aéreas;
- soluções inovadoras para casas de comando de subestações, visando compactidade e agilidade de implantação;
- definição de modelos de diagnóstico de ativos;
- esquemas inovadores de controle e proteção.

Médio prazo (2020-2030):

- compactação de subestações por SF6 (concepção, projeto, manutenção, descarte);
- desenvolvimento de equipamentos autodiagnosticáveis;
- funcionalidades avançadas de controle e gerenciamento de índices técnicos do sistema;
- metodologia para medição de malha de terra energizada e esquemas de aterramento inovadores.

Longo prazo (2030-2050):

- desenvolvimentos tecnológicos para compactação e modularização de equipamentos de manobra;
- estudos de arranjos e soluções para integração urbanística de subestações de distribuição subterrâneas;
- desenvolvimento de transformadores de potência mais eficientes e flexíveis;
- desenvolvimento de transformadores de instrumento eletrônicos e mais eficientes;
- sensoriamento e sistemas especialistas para tratamento de informações de equipamentos para balizamento de políticas de manutenção e planejamento da expansão;
- virtualização de funções de proteção e teleproteção.

8.1.5 Fundamentação

Como definido em estudos recentes sobre o avanço tecnológico no setor elétrico brasileiro, o problema de qualidade do serviço é um dos grandes motivadores do desenvolvimento de soluções para a aplicação no segmento de distribuição (KAGAN, 2013).

Neste cenário, observa-se que, para subestações, os esforços concentram-se, sobretudo, no implemento de inteligência tanto de controle de equipamentos como de monitoramento de suas condições para balizamento de políticas de manutenção focada na condição de equipamentos (MORAIS, 2013; QI HUANG, 2016).

Além disso, como desenvolvimento de ponta, entende-se o direcionamento de esforços no sentido de aprimorar os transformadores, tanto de potência como de instrumento, com a aplicação de eletrônica de potência e desenvolvimentos voltados à aplicação de materiais supercondutores (KAGAN, 2013; MAINALI, 2015).

Esforços no sentido de desenvolver casas de controle mais compactas e pré-fabricadas, além da aplicação de tecnologias normalizadas para implantação de esquemas lógicos já vêm sendo dispendidos há algum tempo no sentido de viabilizar a implantação de subestações em locais com restrições urbanas relevantes (DUARTE, 2011). Assim, entende-se que os desenvolvimentos nessas frentes estão avançados e, em poucos anos, haverá um possível esgotamento nos ganhos esperados com essas tecnologias.



Neste mesmo sentido, concessionárias de distribuição que atendem a regiões metropolitanas com elevada densidade populacional têm trabalhado na concepção de arranjos e alternativas de alocação de subestações que facilitem a integração urbana e aproxime-as do centro de carga. Os autores Duarte (2011), Gonçalves Jr. (2011) e Gouvêa (2005) defendem a ideia de que esses desenvolvimentos têm atendido com propriedade as demandas atuais. Não obstante é importante pontuar que desenvolvimentos adicionais ainda se fazem necessários visando à busca de soluções arquitetônicas que permitam inserção mais adequada dessas instalações no meio urbano.

No que tange aos equipamentos de subestações de distribuição, observam-se desenvolvimentos que, na verdade, são consequência dos esforços dispendidos no segmento de transmissão. Esses desenvolvimentos concentram-se, sobretudo, no transformador de potência e nos equipamentos de manobra.

Para os transformadores de potência, observa-se crescente número de desenvolvimentos voltados à concepção e construção de transformadores de estado sólido (SST), em inglês [*Solid State Transformers*] para sistemas MT/BT. O objetivo é, fundamentalmente, o de se passar de um equipamento passivo para um ativo, com capacidade de controle de indicadores técnicos da rede de forma mais inteligente e adequada às novas realidades sistêmicas (geração distribuída, etc.). Após a consolidação desta tecnologia neste segmento do sistema, é natural que os esforços se direcionem para níveis mais elevados de tensão, envolvendo, assim, os equipamentos de subestações (MAINALI, 2015; RODRIGUES, 2016; EPRI, s.d).

Outra tecnologia que embora incipiente apresenta elevado potencial de benefício ao segmento de subestações consiste na aplicação de supercondutores em transformadores de potência. Os esforços atuais ainda envolvem equipamentos de potência e tensão reduzidas, mas se espera que, ao longo dos anos, essas aplicações alcancem os transformadores de potência (FIGUEIRA, 2013; REY, 2015; STAINES, 2016).

No que abrange os equipamentos de manobra, duas tendências tecnológicas se destacam: a primeira está no sentido de compactar os equipamentos, facilitando a implantação de subestações nas proximidades de grandes centros urbanos; a segunda diz respeito ao monitoramento e autodiagnóstico de equipamentos, de maneira a balizar políticas de manutenção eficientes.

Sobre a compactação, como dito, é forte a tendência nas empresas de distribuição do Brasil, sobretudo nas que atendem grandes centros urbanos. Como desafios observados nessa linha tecnológica, destacam-se (RUDENKO, 2014):

- busca por maior compacidade;
- projetos mais simples e confiáveis, com menores exigências de manutenção e maior expectativa de vida;
- modelos de cálculo de custo de ciclo de vida que equiparem os custos de soluções compactas com os de equipamentos convencionais;
- padronização de especificações;
- desenvolvimento de equipamentos inteligentes, com monitoramento completo da condição, além de funções avançadas de automação;
- integração maior de funcionalidades entre equipamentos primários e secundários.

Ainda se destaca a necessidade de desenvolvimentos que propiciem a redução do volume de gás SF6 a ser utilizado no processo de compactação dos equipamentos, além de alternativas para seu reuso e descarte.

Outra tendência crescente nas linhas de desenvolvimento tecnológico consiste no monitoramento de equipamentos de subestação para balizamento de políticas de manutenção direcionadas à condição dos equipamentos. O problema já é alvo de pesquisas no Brasil há mais de uma década (VEIGA, 2003). Porém se têm dispendido atualmente muitos esforços em tecnologias de análise e tratamento de massa expressiva de dados, uma vez que as tecnologias de monitoramento e telecomunicações agora permitem a obtenção das mais variadas grandezas dos equipamentos. Tecnologias de *big data* e *analytics* têm avançado e despontam como fortes tendências para o desenvolvimento tecnológico futuro (TIMOSZCZUK, 2015).

8.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessárias para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental,



produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

A partir do Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), podem ser destacados alguns pontos que apresentam relevância para o desenvolvimento tecnológico no segmento de subestações de distribuição.

O primeiro consiste na projeção de demanda para o setor, com crescimento previsto de 400GW a 480GW em capacidade instalada até o ano de 2050. Esse crescimento expressivo resultará na necessidade de expansão da infraestrutura de distribuição, com especial atenção às subestações.

A busca por maior eficiência no processo de distribuição de energia também é destacada como relevante no cenário projetado para o setor de distribuição. Nesse sentido, a subestação de distribuição se apresenta como importante para o controle inteligente do sistema, consistindo em ambiente controlado e com relevante grau de observabilidade da rede. Além disso, a otimização de processos de manutenção de equipamentos torna-se fundamental e já é atualmente alvo de investimentos consideráveis em inovação.

Ressaltam-se, ainda, os dois maiores direcionadores de esforços em desenvolvimento tecnológico para o setor de distribuição segundo Plano Brasileiro de Redes Inteligentes, desenvolvido em projeto estratégico de P&D Aneel: perdas não técnicas e qualidade do serviço.

No que tange às subestações de distribuição, o problema da qualidade do serviço representa importante direcionador de investimentos, tendo em vista os montantes consideráveis de carga supridos por estas e, como dito, a possibilidade de implementação de inteligências com elevada observabilidade do sistema. Destaca-se que, no referido plano, o benefício esperado de melhoria da qualidade do serviço representou o mais expressivo impacto social advindo do avanço das redes inteligentes no Brasil.

Destaca-se ainda a relevância do avanço de inclus de unidades de geração distribuída nos sistemas de média e baixa tensão que, segundo a cenarização geral do projeto, tem potencial de atingir 10% do mercado até 2030. Esse fato certamente resultará na necessidade de controle localizado da rede, tornando as subestações pontos ainda mais relevantes para tal finalidade, além da necessidade de adequar sistemas de controle e proteção da própria subestação à realidade de um sistema agora não mais radial.

Os desenvolvimentos tecnológicos voltados ao segmento de subestações de distribuição tendem a atingir, sobretudo, problemas relacionados à qualidade do serviço, impactos ambientais em ambientes urbanos e eficiência dos serviços.

A Tabela 29 apresenta o cenário geral, construído sob a forma de métricas, dessa Macrotemática, bem como o esperado de cada uma delas. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Tabela 29 - Métricas adotadas para subestações e equipamentos

Métricas	Cenário Geral
Melhoria da Qualidade do Serviço	Melhorar continuamente os indicadores de qualidade do serviço
Eficientização do Serviço	Otimização da infraestrutura de distribuição, com alocação de fontes próximas ao mercado e melhoria de desempenho técnico
Agilidade na Implantação	Redução contínua no tempo e na complexidade dos processos de construção de comissionamento de subestações
Redução de OPEX	Redução contínua dos custos operacionais, sobretudo no tocante às atividades de manutenção
Redução de Impacto Ambiental	Mitigação contínua dos impactos ambientais provocados pela infraestrutura de distribuição de energia

Fonte: Elaboração própria.

Melhoria da qualidade do serviço - A melhoria da qualidade do serviço é, atualmente, um dos maiores motivadores de investimentos na rede de distribuição no país. De acordo com projeto estratégico da Aneel sobre Redes Elétricas Inteligentes que visou à criação de um Plano Nacional (livro: Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: Análise de Custos e Benefícios de Um Plano Nacional de Implantação), a melhoria de qualidade do serviço é o objetivo que mais retorno traz aos investimentos em tecnologia para a realidade do país dentro dos cenários estudados. Adicionalmente, destaca-se o trabalho publicado recentemente pela Aneel que visou ao cálculo do custo da interrupção do fornecimento no Brasil, no qual foi atribuído ao DEC Brasil um custo estimado de aproximadamente R\$13,5bi/ano, o que reforça o grande potencial para desenvolvimento e aplicação de tecnologias para este fim.



Eficientização do serviço e redução de OPEX - No modelo “*price cap*”, utilizado pela regulação vigente, o custeio das despesas operacionais das empresas é definido através de metodologia de benchmarking, com fortes incentivos a sua redução, uma vez que se atribui a essa redução a eficiência dos processos e serviços. Neste cenário, observa-se, dentro das distribuidoras, o dispêndio de esforços significativos visando à efficientização de serviços e processos, resultando na busca por otimização de atividades, redução de mão de obra e instalação de equipamentos mais eficientes. Embora se entenda que a regulação não possui como função precípua o aprimoramento ou retração tecnológica, entende-se que esta espelha as necessidades setoriais e da sociedade como um todo, reforçando, assim, a importância desse indicador e a busca constante por sua melhoria dentro do horizonte de estudo.

Agilidade na implantação - Esse indicador, além de também resultar em ganhos de eficiência de processo, espelha uma demanda social cada vez maior de redução das interferências de obras de qualquer natureza na via pública, sobretudo no que se refere aos grandes centros urbanos. Soma-se a isso a metodologia de remuneração de obras em andamento estabelecida no arcabouço regulatório vigente, que fixa os prazos de execução, fazendo com que as empresas tenham perda financeira caso seus prazos estendam-se além dos ali definidos.

Redução de impacto ambiental - A questão ambiental é alvo de discussões e estudos ao redor do mundo, sendo um dos assuntos de maior relevância para o desenvolvimento de diversas indústrias. No setor elétrico essa questão se avoluma sobretudo pelas discussões acerca das tecnologias de geração de energia. Porém, recentemente, esse assunto ganhou força no segmento de distribuição em função da natureza dos desenvolvimentos tecnológicos recentes, que culminaram na concepção e aplicação de equipamentos e dispositivos com reduzido tempo de vida útil, gerando, assim, grandes quantidades de lixo industrial. Somam-se a isso os desenvolvimentos voltados à compactação de instalações, que comumente lançam mão de gases e substâncias altamente agressivas ao meio ambiente, requerendo técnicas e procedimentos avançados para seu controle, descarte e reaproveitamento.

As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas nesse estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

8.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesta seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

8.3.1 Temática integração de subestações em ambiente urbano

Para a temática integração de subestações em ambiente urbano, foram definidas três rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 37.

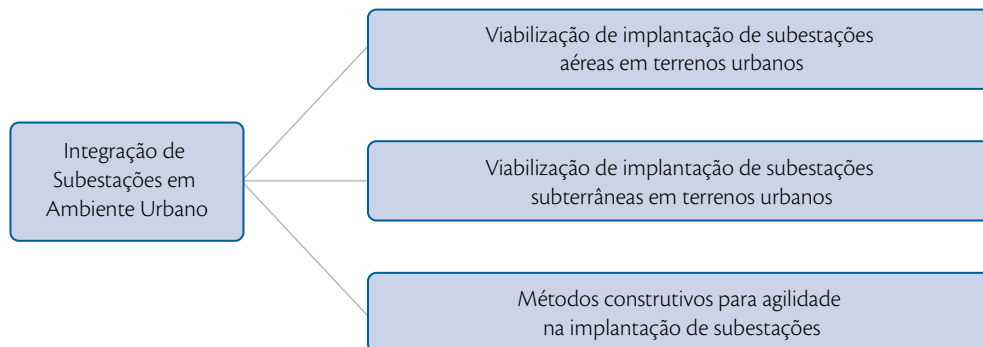


Figura 37 - Temática integração de subestações em ambiente urbano

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 58 ao Gráfico 60. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro "Evolução Tecnológica Nacional no Segmento



de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Viabilização de implantação de subestações aéreas em terrenos urbanos

Há três motivadores fundamentais no cenário geral que promovem avanços tecnológicos no âmbito desta rota tecnológica:

- O primeiro consiste no crescimento previsto para o mercado de distribuição de energia, demandando a ampliação significativa da infraestrutura existente. Soma-se a isso a escassez cada vez maior de terrenos em grandes centros urbanos para a referida ampliação. Adicionalmente, acentua-se cada vez mais a busca por maior eficiência do serviço, incluindo os processos de construção e montagem das instalações, além da redução das perdas elétricas.
- O processo de viabilização da implantação de subestações em terrenos urbanos passa, entre outras coisas, pelo desenvolvimento de tecnologias de compactação e equipamentos. Estas tecnologias comumente se valem de técnicas de encapsulamento de partes vivas com a aplicação de gás isolante (SF_6) comprimido. Com isso, obtém-se, além de sensível redução da área necessária para implantação de subestações, maior grau de confiabilidade dos equipamentos, resultando em melhora significativa da disponibilidade das subestações.
- A possibilidade de inserção de subestações mais próximas aos centros de cargas propicia maior eficiência do processo de distribuição, reduzindo as perdas elétricas e, também, melhorando os índices de qualidade do serviço e do produto, uma vez que resulta na redução dos comprimentos dos alimentadores de distribuição.

Outra característica fundamental desse tipo de desenvolvimento tecnológico envolve a modularização de equipamentos e sistemas, o que permite a redução de custos de implantação e manutenção, devido ao pré-comissionamento e pré-montagem, assim como menor exposição de interligações e pontos críticos ao ambiente, justificando o interesse e os investimentos atraídos por essa rota. Dado este cenário, projeta-se a evolução de maturidade tecnológica apresentada no Gráfico 58.

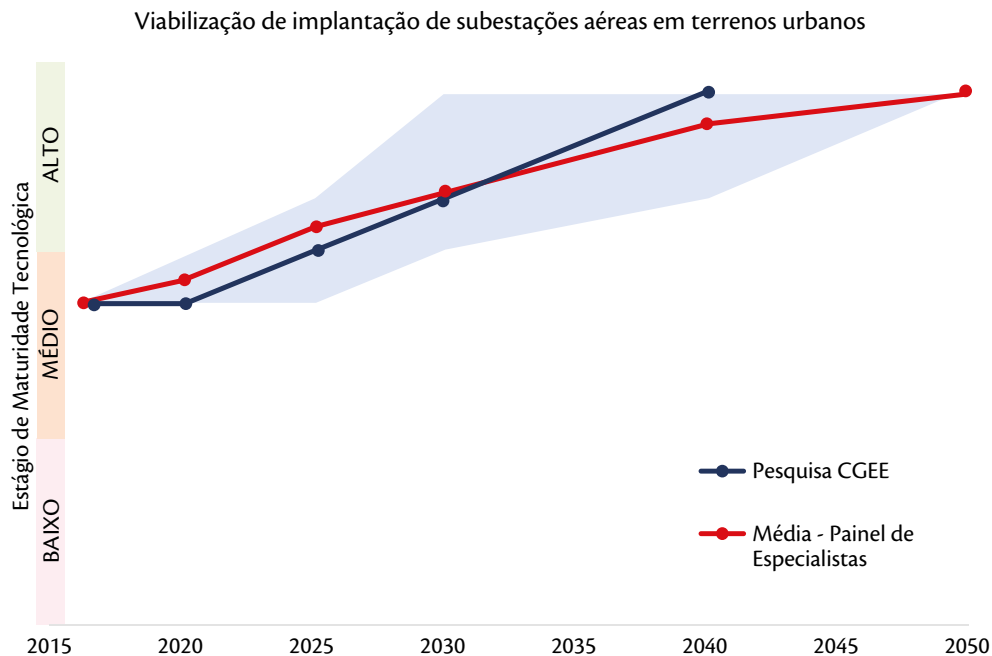


Gráfico 58 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de viabilização de implantação de subestações aéreas em terrenos urbanos

Fonte: Elaboração própria.

O problema da implantação de subestações aéreas de distribuição em grandes centros urbanos já é de grande relevância em muitas das empresas de distribuição, há mais de uma década.

O aumento da densidade populacional das grandes cidades, somado à elevação dos custos dos terrenos e a cada vez mais intensa resistência da sociedade aos impactos ambientais causados não só pelas instalações do sistema de distribuição elétrica, mas também a toda e qualquer interferência que comprometa harmonia do cenário urbano, já têm motivado desenvolvimentos tecnológicos no sentido de compactar equipamentos e casas de comando, além da busca por arranjos não convencionais que permitam a integração das instalações ao meio ambiente.

Por esse motivo, o estágio de maturidade atual deste tipo de tecnologia já se encontra, atualmente, em grau médio para o avançado, devendo acentuar-se em curto prazo em função também da necessidade de ampliação da infraestrutura (construção de novas subestações), não só devido ao crescimento da demanda, mas também às maiores exigências por qualidade do serviço e do produto.



Soma-se a isso um cenário regulatório que incentiva, indiretamente, a construção de maior número de subestações com menor capacidade instalada, em função da avaliação de prudência dos investimentos em subestações definida pelo mecanismo do Índice de Aproveitamento de Subestações (IAS).

Rota 2 - Viabilização de implantação de subestações subterrâneas em terrenos urbanos

Da mesma forma do que exposto para a rota anterior, há três motivadores fundamentais no cenário geral que promovem avanços tecnológicos no âmbito desta rota tecnológica. O primeiro consiste no crescimento previsto para o mercado de distribuição de energia, demandando a ampliação significativa da infraestrutura existente. Soma-se a isso a escassez cada vez maior de terrenos em grandes centros urbanos para a referida ampliação. Adicionalmente, acentua-se cada vez mais a busca por maior eficiência do serviço, incluindo os processos de construção e montagem das instalações, além da redução das perdas elétricas.

A possibilidade de enterramento das instalações de subestações de distribuição vai de encontro à crescente demanda da sociedade por maior conforto urbano, livrando a via pública, na medida do possível, de interferências de infraestrutura que não componham de maneira harmônica o ambiente. Soma-se a isso o crescimento exponencial dos custos de terrenos, fruto da ocupação urbana cada vez mais densa, sobretudo em grandes centros, o que inviabiliza a instalação de subestações com a proximidade desejada dos centros de carga, tornando, assim, o processo de distribuição ineficiente.

A possível inserção de subestações mais próximas aos centros de cargas propicia maior eficiência do processo de distribuição, reduzindo as perdas elétricas e, também, melhorando os índices de qualidade do serviço e do produto, uma vez que resulta na redução dos comprimentos dos alimentadores de distribuição.

Porém a instalação de infraestrutura elétrica em ambientes confinados exige uma série de desenvolvimentos tecnológicos específicos, a fim de atender às exigências de segurança deste tipo de aplicação (sobretudo no que tange às proteções contra explosão). Ademais, as exigências de mão de obra para trabalhos elétricos em locais confinados são diferentes daquelas exigidas ao ar livre, representando entrave adicional à aplicação de tais tecnologias, de forma que se tem a evolução de maturidade apresentada no Gráfico 59.

Viabilização de implantação de subestações subterrâneas em terrenos urbanos

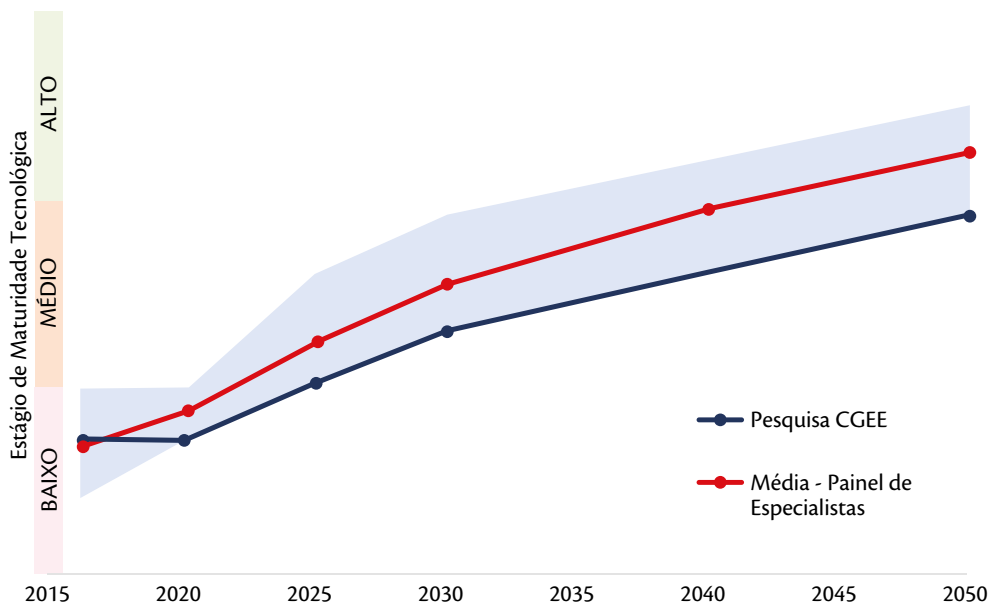


Gráfico 59 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de viabilização de implantação de subestações subterrâneas em terrenos urbanos

Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que instalações desta natureza apresentam relativo grau de complexidade quando comparadas às instalações aéreas, uma vez que demandam desenvolvimentos de equipamentos e processos voltados à aplicação em ambientes confinados.

Os principais desafios encontram-se na busca por soluções que garantam índices de segurança adequados, tanto no que diz respeito aos equipamentos e sistemas (transformadores secos, sistemas auxiliares de combate a incêndio, etc.) como no que tange à capacitação e mão de obra adequada para trabalho em ambientes confinados.

Somado aos fatores supracitados, o fato de os desenvolvimentos proporcionados pela rota tecnológica anterior atenderem às demandas atuais e futuras de boa parte dos centros urbanos brasileiros faz com que a evolução desta rota seja mais lenta, com alto grau de maturidade atingido apenas ao fim do horizonte de estudo.



Rota 3 - Métodos construtivos para agilidade na implantação de subestações

Há dois motivadores fundamentais no cenário geral que promovem avanços tecnológicos no âmbito desta rota. O primeiro consiste no crescimento previsto para o mercado de distribuição de energia, demandando a ampliação significativa da infraestrutura existente. Adicionalmente, acentua-se cada vez mais a busca por maior eficiência do serviço, incluindo os processos de construção e montagem das instalações, além da redução das perdas elétricas.

O uso de tecnologias e o emprego de metodologias que permitam maior agilidade no processo de implantação de subestações contribuirão para a viabilização da alocação desta infraestrutura em locais mais próximos de grandes centros de carga. Isso se deve ao fato de que boa parte da resistência da sociedade ocorre devido ao incômodo gerado por obras desta natureza. Ademais, a aplicação de equipamentos e sistemas pré-montados e pré-comissionados agilizam consideravelmente o processo de implantação. Dado este cenário, projeta-se a evolução de maturidade tecnológica, apresentada no Gráfico 60.

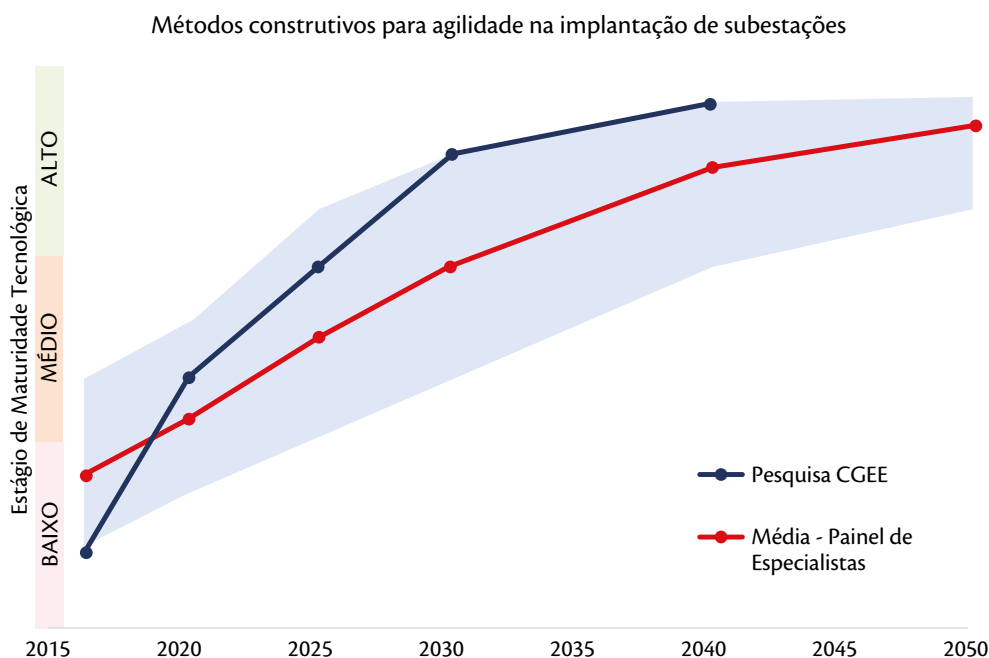


Gráfico 60 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métodos construtivos para agilidade na implantação de subestações

Fonte: Elaboração própria.

O processo de construção de uma subestação de distribuição leva vários meses e interfere de forma significativa na dinâmica urbana dos arredores de sua localidade, quer seja pela construção civil decorrente da obra, quer seja pelo transporte e instalação de equipamentos e sistemas.

Assim, esse processo enfrenta resistências relevantes por parte da sociedade, além de incorrer em custos adicionais, quando extrapolados os prazos previstos para sua instalação, sobretudo devido ao fato de que é previsto no arcabouço regulatório vigente a remuneração de juros sobre obras em andamento de acordo com prazo fixo definido pela Aneel.

Soma-se a isso a busca incessante das empresas do setor pela redução dos custos operacionais, também motivada, entre outras coisas, pela regulação vigente.

Tais fatores tendem a acelerar o desenvolvimento desta rota tecnológica nos próximos anos, destacando ainda que as tecnologias desenvolvidas nas duas rotas anteriores também contribuem significativamente para a agilidade na implantação (equipamentos compactos modulares, casa de controle pré-fabricada, etc.), o que acaba também justificando a forte aceleração do estágio de maturidade da rota em médio prazo.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 30 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática integração de subestações em ambiente urbano

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Integração de Subestações em Ambiente Urbano	Viabilização de implantação de subestações aéreas em terrenos urbanos	Fatores portadores de futuro	Adaptação regulatória para maior previsibilidade na remuneração de equipamentos não convencionais; alteração da metodologia de cálculo de índice de aproveitamento de subestações; falta de previsibilidade na remuneração de equipamentos não convencionais; restrições ambientais ao uso de gases poluentes para compactação de equipamentos		Redução do custo da tecnologia de compactação; elevação das exigências por melhor qualidade do serviço e produto; restrição da disponibilidade de terrenos em centros urbanos			
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
	Viabilização de implantação de subestações subterrâneas em terrenos urbanos	Fatores portadores de futuro	Adaptação regulatória para maior previsibilidade na remuneração de equipamentos não convencionais; capacitação de mão de obra especializada para trabalho em locais confinados; falta de previsibilidade na remuneração de equipamentos não convencionais; falta de mão de obra capacitada ao trabalho em locais confinados; restrições físicas nas construções existentes; desenvolvimento de subestações aéreas compactas com preço inferior às subterrâneas	Adaptação de construções para abrigamento de instalações desta natureza; restrições físicas nas construções existentes; desenvolvimento de subestações aéreas compactas com preço inferior às subterrâneas		Normalização de padrões de novas construções de maneira a viabilizar a instalação de subestações em espaços subterrâneos; escassez de terrenos em grandes centros urbanos		
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO		
Integração de Subestações em Ambiente Urbano	Métodos construtivos para agilidade na implantação de subestações	Fatores portadores de futuro	Pressão social por redução do impacto da construção na dinâmica urbana; regulação que define remuneração de juros sobre obra em andamento com prazo de obra pré-fixado		Fusão de fabricantes, permitindo a integração de equipamentos e sistemas dentro do mesmo produto			
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

8.3.2 Temática gestão de ativos de subestações

Para a temática gestão de ativos de subestações, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 38.

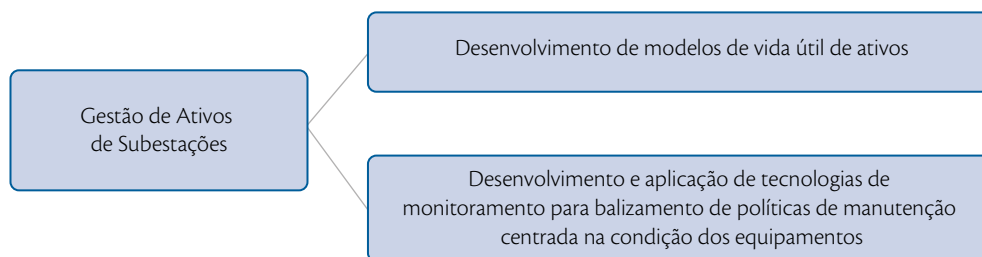


Figura 38 - Temática gestão de ativos de subestações

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 61 e Gráfico 62. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 4 - Desenvolvimento de modelos de vida útil dos ativos

A rota tecnológica de desenvolvimento de modelos de vida útil dos ativos é motivada por três grandes aspectos do cenário setorial. O primeiro deles é a busca constante por melhoria da qualidade do serviço. O segundo consiste na efficientização dos processos das concessionárias de distribuição, mais especificamente no que tange às atividades de manutenção do sistema. Por fim, a melhor gestão acerca dos ativos existentes tende a efficientizar também a aplicação dos recursos financeiros para a ampliação e melhoria do sistema, contribuindo assim para a obtenção de cenário de modicidade tarifária.



Além disso, um dos campos tecnológicos que mais tem avançado é o de sensoriamento de equipamentos, somado às tecnologias de telecomunicação. Esses desenvolvimentos disponibilizaram aos profissionais do setor uma quantidade considerável de dados de medições de grandezas das mais variadas ordens. Com isso, surge a demanda de análise e tratamento desses dados para transformá-los em informações relevantes à operação do sistema. Isto é, permite-se o desenvolvimento de algoritmos avançados de simulação da vida útil dos equipamentos, com a possibilidade de obter, a partir dos dados, informações relevantes para diagnóstico do estado destes e balizamento de políticas de manutenção e substituição da infraestrutura.

Assim, o desenvolvimento de modelos de vida útil se apresenta como campo promissor e com grande perspectiva de retorno, em consonância com os principais drivers de investimento hoje existentes no setor de distribuição.

Por outro lado, as empresas de distribuição de energia têm, ao longo da última década, procurado gerir seus ativos e seu negócio de acordo com as regras regulatórias de remuneração de investimentos, privilegiando o dispêndio de investimentos às ações de operação e manutenção.

Neste cenário, o desenvolvimento de modelos que permitam prever a condição de vida dos equipamentos desponta como rota tecnológica promissora, uma vez que permite a gestão dos equipamentos (garantindo assim a remuneração sobre eles) e a otimização dos esforços em ações de manutenção.

Assim, a evolução de sua maturidade, conforme apresentado no Gráfico 61, caminha em consonância com o desenvolvimento e a aplicação das tecnologias de sensoriamento, uma vez que utiliza essas como insumo e, em muitos casos, envolve o desenvolvimento de modelos puramente empíricos, que demandam a utilização de dados históricos em larga escala para garantia de sua robustez.

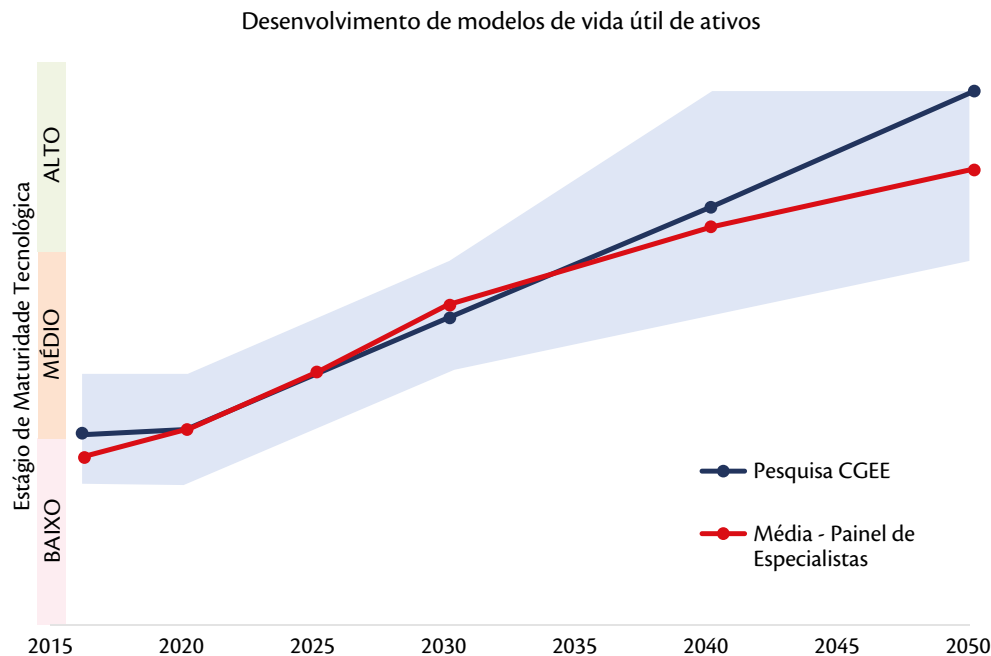


Gráfico 61 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de modelos de vida útil dos ativos

Fonte: Elaboração própria.

Rota 5 - Desenvolvimento e aplicação de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de manutenção centrada na condição dos equipamentos

Por ser complementar à rota 4, esta rota tecnológica é motivada pelos mesmos três grandes aspectos do cenário setorial apontados anteriormente. O primeiro deles é a busca constante por melhoria da qualidade do serviço. O segundo consiste na eficientização dos processos das concessionárias de distribuição, mais especificamente no que tange às atividades de manutenção do sistema. Por fim, a melhor gestão acerca dos ativos existentes tende a eficientizar também a aplicação dos recursos financeiros para a ampliação e melhoria do sistema, contribuindo assim para a obtenção de cenário de modicidade tarifária.

Assim, a evolução da maturidade desta rota tecnológica, conforme ilustrado no Gráfico 62, está diretamente ligada à da rota 4, uma vez que apresenta relação de interdependência com esta. As tecnologias envolvidas nesta rota subsidiam, no caso dos sensores, os desenvolvimentos da rota



4 e necessitam, no caso dos sistemas especialistas, desses mesmos desenvolvimentos, fazendo com que caminhem conjuntamente, embora de natureza diversa.

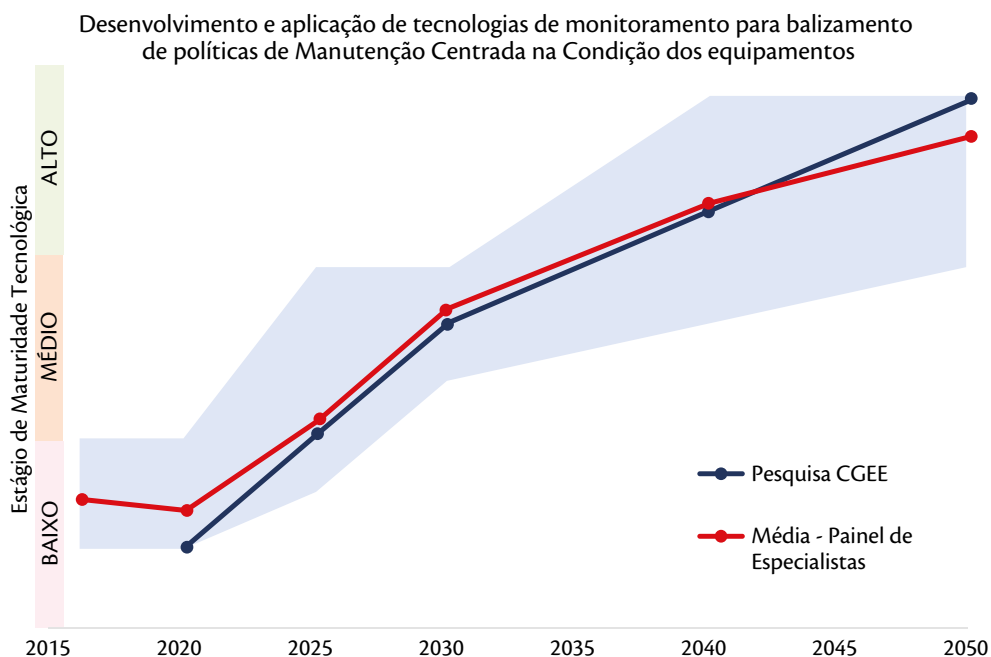


Gráfico 62 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento e aplicação de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de manutenção centrada na condição dos equipamentos

Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se que o principal desafio tecnológico envolvido com esta rota consiste na necessidade de tratar grande volume de dados para extração de conhecimento a partir daí. Assim, depende de desenvolvimentos de TI que visam à aquisição e ao tratamento de grandes volumes de dados (*big data & analytics*).

Por fim, tem-se que a aplicação plena do conceito envolvido neste tipo de desenvolvimento envolve rupturas de paradigmas acerca dos processos usuais de manutenção do sistema, necessitando assim do dispêndio de esforços para mudanças culturais nas empresas, o que pode retardar sua evolução em curto prazo.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 31 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática gestão de ativos de subestações

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Gestão de Ativos de Subestações	Desenvolvimento de modelos de vida útil de ativos	Fatores portadores de futuro	Maiores exigências pela melhoria da qualidade do serviço e do produto; regulação com fortes incentivos à redução de custos operacionais; falta de histórico substancial de dados de monitoramento para modelagem de vida útil; falta de sistemas especialistas com capacidade de tratamento de grandes volumes de dados			Envelhecimento dos ativos de grande porte; instalação de ativos com reduzido tempo de vida útil na rede		Histórico relevante de monitoramento de equipamentos ao longo de toda a vida útil	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO		
	Desenvolvimento e aplicação de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de Manutenção Centrada na Condição dos equipamentos	Fatores portadores de futuro	Maiores exigências pela melhoria da qualidade do serviço e do produto; regulação com fortes incentivos à redução de custos operacionais; falta de histórico substancial de dados de monitoramento para modelagem de vida útil			Envelhecimento dos ativos de grande porte; instalação de ativos com reduzido tempo de vida útil na rede		Histórico relevante de monitoramento de equipamentos ao longo de toda a vida útil	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



8.3.3 Temática sistemas de aterramento

Para a temática sistemas de aterramento, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 39.

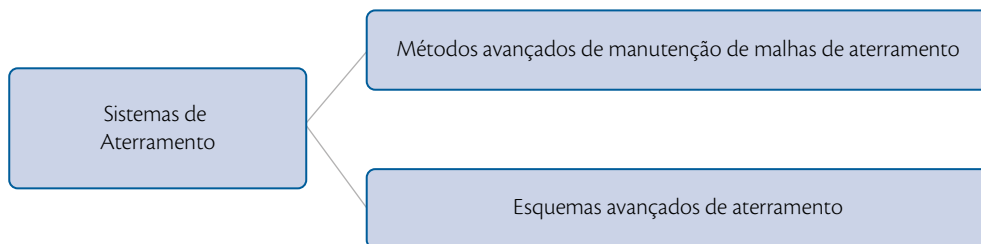


Figura 39 – Temática de sistemas de aterramento

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 63 e Gráfico 64. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 6 - Métodos avançados de manutenção de malhas de aterramento

Esta rota tecnológica visa solucionar um problema prático atual das distribuidoras de energia, qual seja, o de promover ações de manutenção de malhas de aterramento de subestações. Os métodos atuais são de difícil aplicação e pouco eficazes no diagnóstico e na mitigação de problemas no sistema de aterramento, culminando em problemas de queima de equipamentos e sistemas.

Esses problemas afetam tanto a qualidade do serviço de distribuição como os custos de operação

e manutenção de subestações, dois dos principais motivadores de investimentos em tecnologia atualmente no sistema elétrico brasileiro. Neste cenário, tem-se a evolução de maturidade tecnológica apresentada no Gráfico 63.

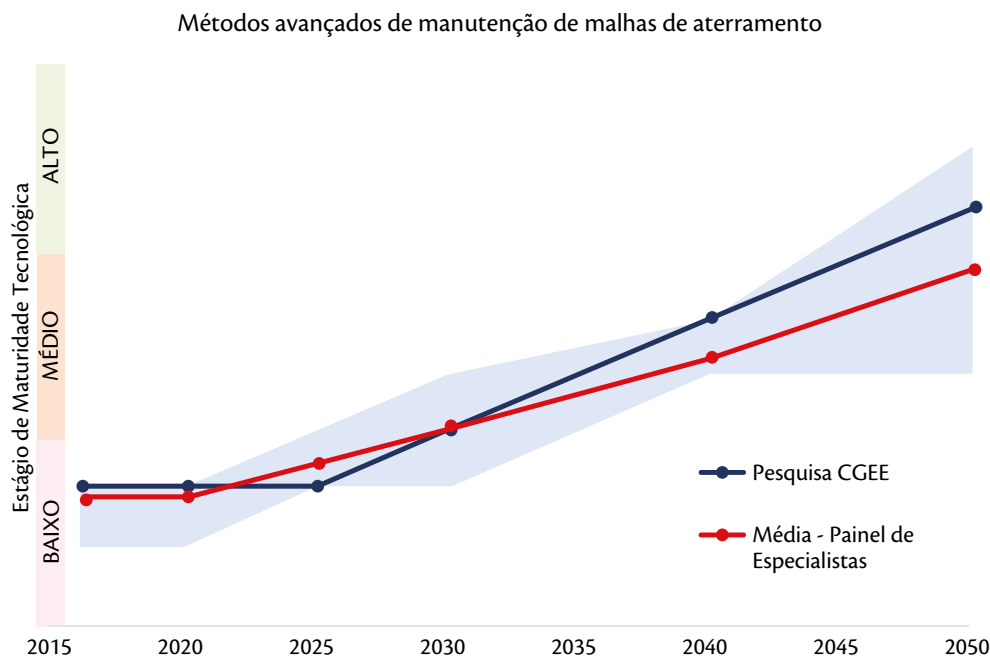


Gráfico 63 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métodos avançados de manutenção de malhas de aterramento

Fonte: Elaboração própria.

A motivação para o desenvolvimento desta rota tecnológica é uma questão prática que atinge algumas empresas de distribuição, qual seja a dificuldade em manter malhas de aterramento e os efeitos que uma malha ineficiente pode produzir no sistema (queima de equipamentos, etc.).

Porém a evolução da maturidade desta rota tende a ser lenta, pois, além de visar à resolução de um problema prático específico e pontual, o impacto de seu não desenvolvimento no desempenho do sistema não é expressivo a ponto de que sejam dispendidos grandes investimentos para este fim.

Assim, por não haver grandes motivadores no cenário geral, que sejam afetados de forma significativa



pela evolução desta rota, esta apresentará, segundo os especialistas, grau de maturidade médio ao fim do horizonte considerado.

Nota-se, no Gráfico 63, haver considerável dispersão sobre o estágio de maturidade ao fim do período. Isso certamente espelha a pluralidade das áreas de atuação dos profissionais, sendo que aqueles que trabalham em distribuidoras e, por isso, afetados diretamente pelo problema, naturalmente esperam evolução mais acelerada da maturidade desta rota.

Rota 7 - Esquemas avançados de aterramento

O aprimoramento do sistema de aterramento de subestações visa melhorar o desempenho do sistema, sobretudo no que tange ao seu comportamento em situações de contingências, auxiliando o correto funcionamento do sistema de proteção e reduzindo a degradação dos equipamentos e, assim, a interrupção do fornecimento. Este aprimoramento também visa otimizar esforços de manutenção, elevando a eficiência dos processos da empresa e resultando em economia de recursos para essa finalidade. Assim, os motivadores desta rota são os mesmos descritos para a rota 6 e sua evolução se dá como apresentado no Gráfico 64.

Esquemas avançados de aterramento

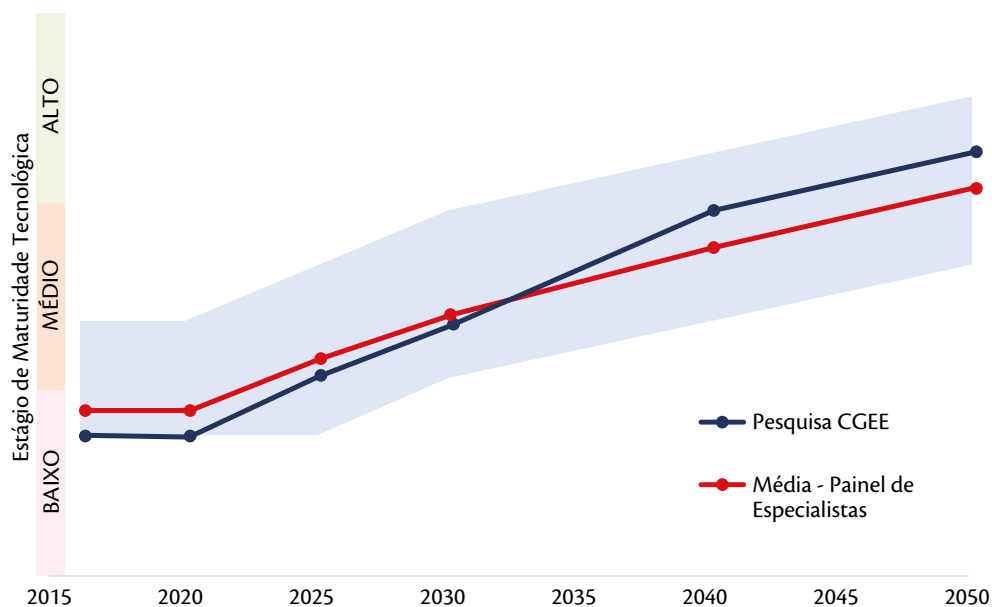


Gráfico 64 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de esquemas avançados de aterramento

Fonte: Elaboração própria.

Embora haja a demanda pelo desenvolvimento de novos esquemas de aterramento, os atualmente aplicados atendem, com relativa eficiência, às necessidades atuais.

Porém a expansão da infraestrutura de distribuição demandará a construção de novas subestações, vislumbrando a oportunidade de otimização dos sistemas de aterramento para melhor desempenho.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 32 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática sistemas de aterramento

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Sistemas de Aterramento	Métodos avançados de manutenção de malhas de aterramento	Fatores portadores de futuro	Pouco impacto dos problemas gerados pelo gap tecnológico			Idade dos ativos		
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	
	Esquemas avançados de aterramento	Fatores portadores de futuro	Pouco impacto dos problemas gerados pelo gap tecnológico			Idade dos ativos		
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

8.3.4 Temática equipamentos

Para a temática equipamentos, foram definidas quatro rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 40.

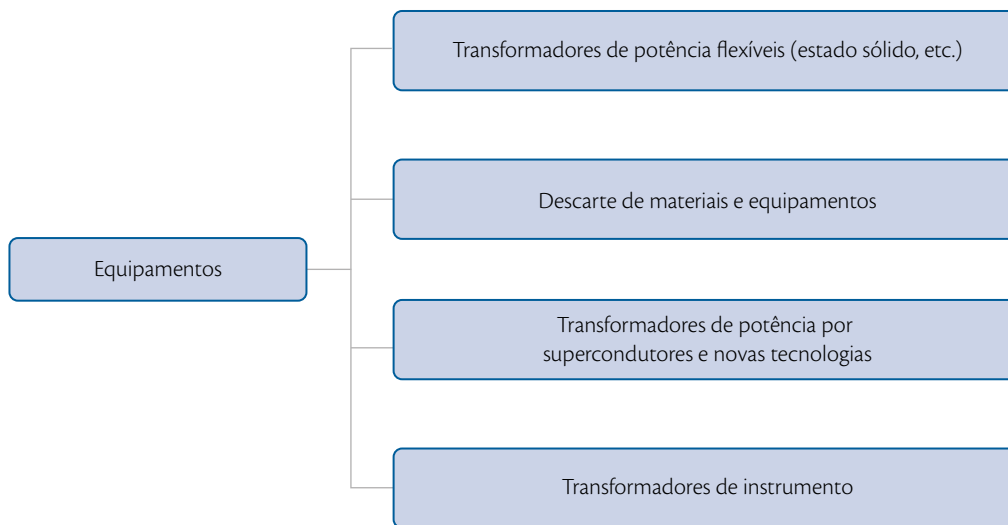


Figura 40 - Temática equipamentos

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 65 ao Gráfico 68. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.



Rota 8 - Transformadores de potência flexíveis (estado sólido, etc.)

A subestação de distribuição consiste em importante problema para gestão de indicadores técnicos de desempenho do sistema. Nesse sentido, o transformador de potência representa ponto de controle imprescindível para a busca por maior eficiência.

Soma-se a isso o fato de que o mercado consumidor se torna cada vez mais sensível aos problemas de qualidade do produto, além dos incentivos regulatórios orientados ao aumento da eficiência do serviço de distribuição.

Nesse cenário, são dispendidos esforços pelo desenvolvimento de transformadores que possibilitem maior flexibilidade operacional, permitindo maior gestão sobre os indicadores. Dessa forma, apresenta-se a evolução de maturidade tecnológica proposta no Gráfico 65.

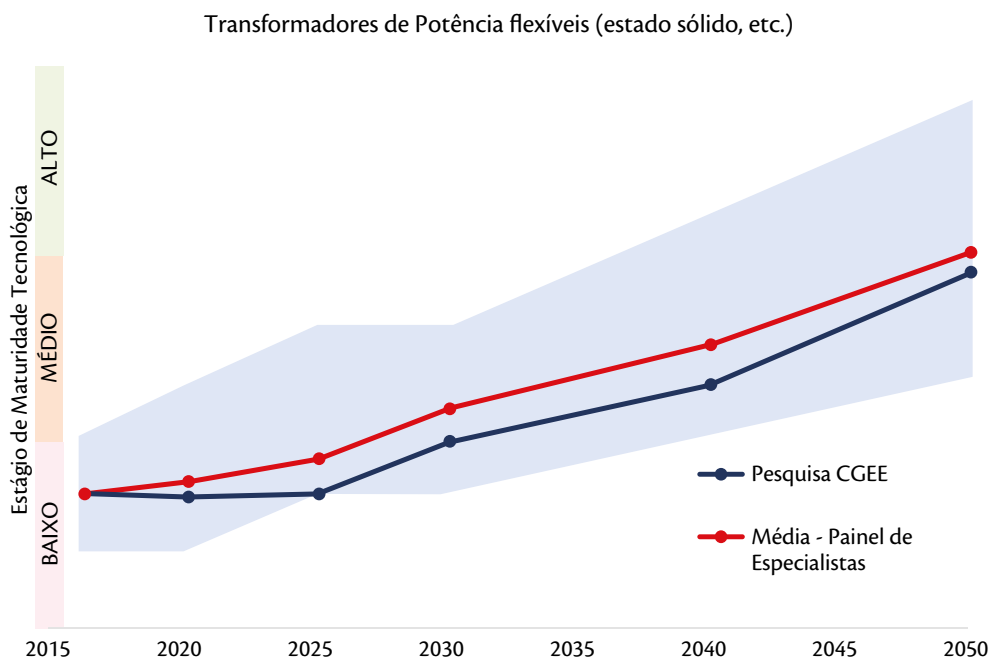


Gráfico 65 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de transformadores de potência flexíveis (estado sólido, etc.)

Fonte: Elaboração própria.

Há, no cenário geral, demanda crescente pelo aumento da eficiência do serviço e dos processos de distribuição de energia elétrica. Essa demanda tem motivado diversos investimentos em tecnologias que permitam reduzir as perdas do sistema e garantir índices adequados de qualidade do produto. Nesse tocante, o transformador destaca-se como elemento-chave para o controle das grandezas elétricas, sendo um dos principais focos de desenvolvimentos.

No entanto a tecnologia de transformação de tensão teve, ao longo do tempo, pouquíssima evolução, sendo aprimoradas tecnologias de isolamento e construção, mas sem alterações significativas no seu desempenho elétrico.

Recentemente, devido à demanda supracitada, passou-se a investir na efficientização do processo de transformação, com tecnologia estática fundamentada em eletrônica de potência. Porém esses desenvolvimentos são relativamente recentes e se iniciaram em segmentos do sistema com níveis de tensão inferiores (MT/BT), com os primeiros resultados em larga escala sendo alcançados atualmente.

A expansão dessa tecnologia para níveis mais elevados de tensão e potência requer tempo e desenvolvimentos avançados, com reduzido ritmo de evolução do estágio de maturidade, também em decorrência da elevada vida útil dos ativos desta natureza.

Rota 9 - Descarte de materiais e equipamentos

Um dos principais fatores caracterizados no cenário geral do setor elétrico é justamente a preocupação com o impacto ambiental decorrente do descarte de equipamentos e materiais. Esse problema tende a se acentuar devido à entrada de novas tecnologias cuja depreciação ocorre de forma mais acelerada do que os comumente instalados, acarretando na formação de montantes consideráveis de materiais e substâncias a serem descartadas.

Materiais químicos, como os componentes das baterias e o gás SF₆, utilizados para compactação das instalações, devem ter seu descarte aprimorado em face das pressões sociais cada vez mais relevantes.

Isso ocorre em toda a cadeia do sistema elétrico, sendo o segmento da subestação talvez o que menos contribua para esse cenário, dada a quantidade diminuta de instalações quando comparados aos equipamentos e dispositivos da rede de distribuição (por exemplo, medidores eletrônicos).

Em paralelo, a preocupação social com questões ambientais também impulsiona a busca por soluções de descarte sustentáveis e eficientes, com reduzido impacto ao meio ambiente.



Nesse cenário, entende-se que a evolução da maturidade de tecnologias e técnicas de descarte de materiais se dará de forma acentuada, vide Gráfico 66, mas não necessariamente sendo incentivada por esse segmento do sistema, mas, ao contrário, sendo esse um usufrutuário dos esforços motivados por outros segmentos.

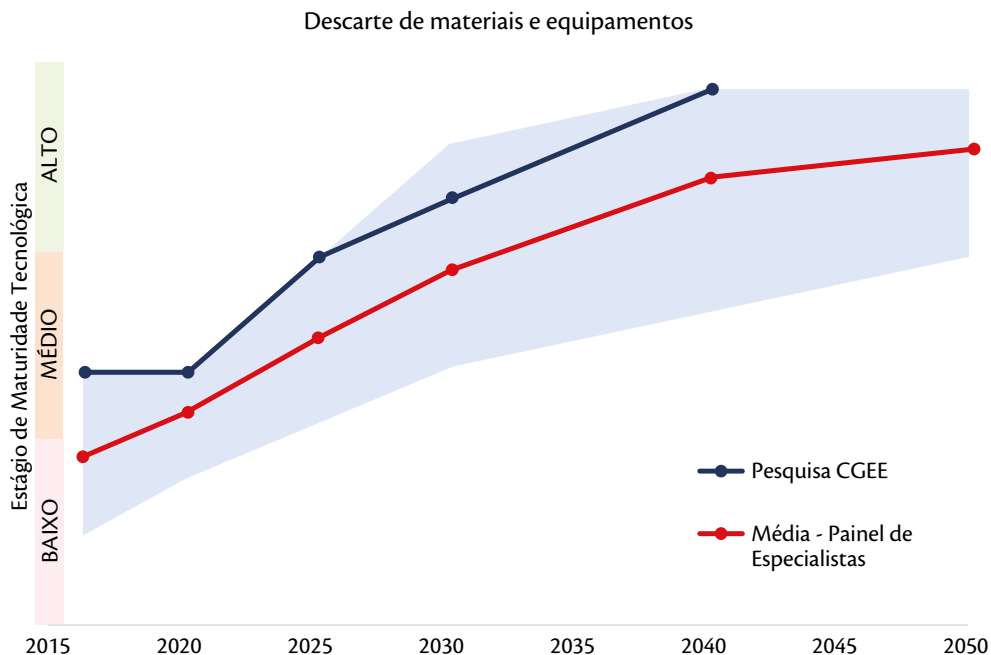


Gráfico 66 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de descarte de materiais e equipamentos

Fonte: Elaboração própria.

Rota 10 - Transformadores de potência por supercondutores e novas tecnologias

Este desenvolvimento tecnológico há como principal driver a eficientização do serviço de distribuição, uma vez que contribui para a redução dos índices de perdas técnicas nas subestações. A redução das perdas técnicas tem sido alvo de investimentos constantes por parte das distribuidoras de energia, pois representam perdas financeiras de montantes expressivos.

Assim, verifica-se que os motivadores desta rota tecnológica são os mesmos apresentados para a rota 8, sobretudo no tocante ao aumento da eficiência do serviço através da redução de perdas técnicas e elevação da capacidade de condução.

No entanto a aplicação da tecnologia de semicondutores é, atualmente, empregada em outros segmentos onde sua aplicação trará retorno mais expressivo em termos de redução de perdas e aumento da capacidade.

A construção de uma linha de transmissão, por exemplo, é, via de regra, muito mais difícil do que a de uma subestação, justificando, assim o direcionamento de esforços para a aplicação de tecnologia de supercondutores neste segmento, reduzindo a necessidade de sua ampliação.

Isso acaba por deixar em segundo plano a aplicação em transformadores de potência, retardando assim a evolução de sua maturidade tecnológica, conforme visualizado no Gráfico 67. A dispersão considerável verificada no gráfico para o estágio de evolução ao fim do período deve-se, sobretudo, à grande inovação da rota, com ainda pouco conhecimento de seu potencial de aplicação nesse segmento.

Transformadores de potência por supercondutores e novas tecnologias

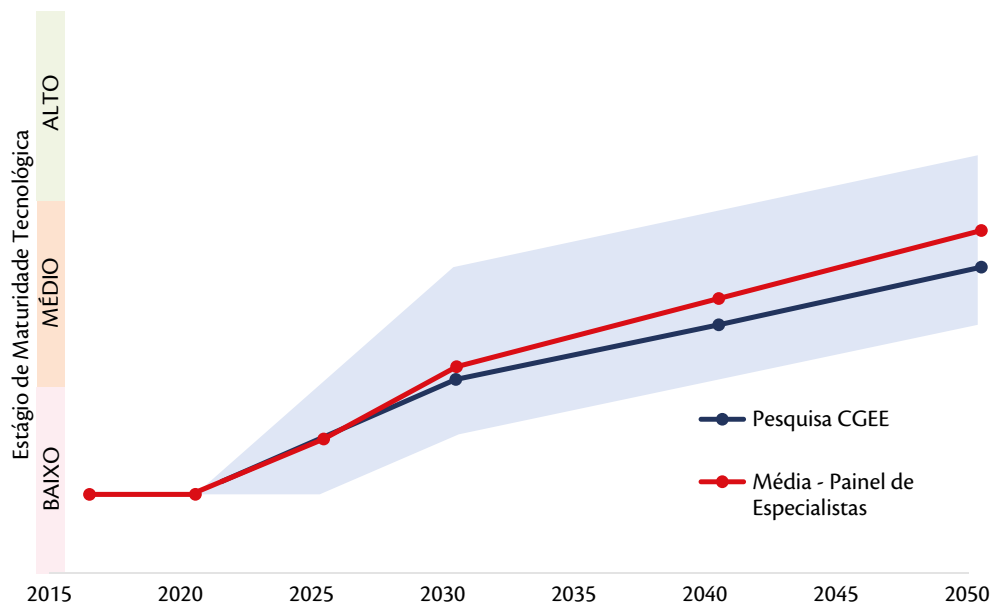


Gráfico 67 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de transformadores de potência por supercondutores e novas tecnologias

Fonte: Elaboração própria.



Rota 11 - Transformadores de instrumento

Os desenvolvimentos voltados ao aprimoramento de transformadores de instrumentos detêm como objetivo principal melhorar a acurácia das grandezas medidas (permitindo, assim, melhor desempenho dos sistemas de proteção) e reduzir a quantidade de materiais empregados neste processo (supressão dos cabos de força).

Esse desenvolvimento está em consonância com os desenvolvimentos de protocolos e tecnologias de automação de sistemas, e também visam viabilizar aplicações avançadas de esquemas de controle e proteção. Assim, a evolução dessa rota tecnológica está intimamente relacionada ao desenvolvimento de funções avançadas de proteção e automação de sistemas elétricos. O aprimoramento de transformadores de instrumento, sobretudo no que tange ao desenvolvimento de tecnologias ópticas, está associado ao desenvolvimento de protocolos de digitalização e automação de sistemas (IEC61850).

Tais protocolos já estão em estágio avançado de maturidade, sendo agora concentrados os esforços no aprimoramento destes equipamentos de maneira a potencializar os ganhos possíveis.

Por outro lado, tais desenvolvimentos envolvem alterações significativas nos equipamentos, com digitalização de sinais analógicos e, por vezes, mudanças na tecnologia de transformação de tensão e corrente. Conseqüentemente, por se tratar de desenvolvimento de fronteira, o estágio de maturidade, vide Gráfico 68, encontra-se em níveis ainda baixos com sua evolução se dando em médio e longo prazo.

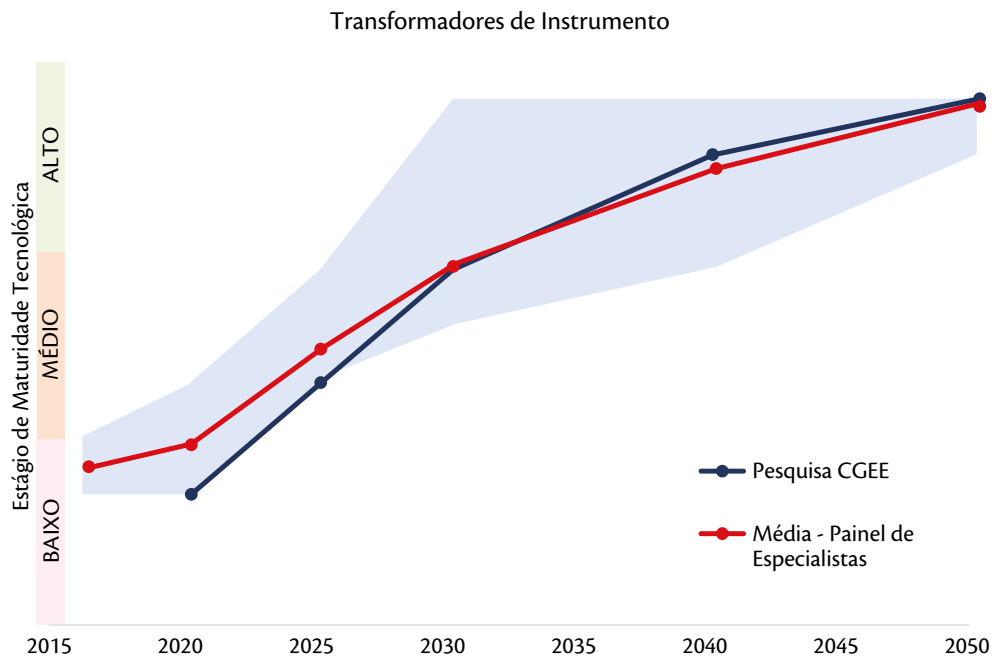


Gráfico 68 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de transformadores de instrumento

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 33 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática equipamentos

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Equipamentos	Transformadores de Potência flexíveis (estado sólido, etc.)	Fatores portadores de futuro	Maiores exigências pela melhoria da qualidade do serviço e do produto; regulação com fortes incentivos à melhoria da eficiência do serviço; esforços concentrados no segmento MT/BT, por permitir controle mais próximo da carga		Envelhecimento dos transformadores existentes; elevação da penetração de geração distribuída nas redes MT e BT		Redes ativas, com elevada penetração de unidades de geração
	Maturidade	BAIXO			MÉDIO		
	Descarte de materiais e equipamentos	Fatores portadores de futuro	Grandes exigências acerca do impacto ambiental; desenvolvimento de técnicas e métodos de descarte em outros segmentos de maior impacto; falta de tratativa regulatória para o tema		Intensificação das exigências para mitigação de impacto ambiental; substituição de grande parque de ativos com reduzida vida útil		Intensificação das exigências para mitigação de impacto ambiental; substituição de grande parque de ativos com reduzida vida útil
	Maturidade	MÉDIO		ALTO			
Transformadores de Potência por supercondutores e novas tecnologias	Fatores portadores de futuro	Maiores exigências pela melhoria da qualidade do serviço e do produto; regulação com fortes incentivos à melhoria da eficiência do serviço; esforços concentrados no segmento AT, por representar maior problema sistêmico		Envelhecimento dos transformadores existentes			
Maturidade	BAIXO		MÉDIO				
Transformadores de Instrumento	Fatores portadores de futuro	Elevada maturidade dos protocolos de automação de subestações, com elevado grau de aplicação no sistema					
Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

8.3.5 Temática esquemas de controle e proteção de subestações

Para a temática esquemas de controle e proteção de subestações, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 41.

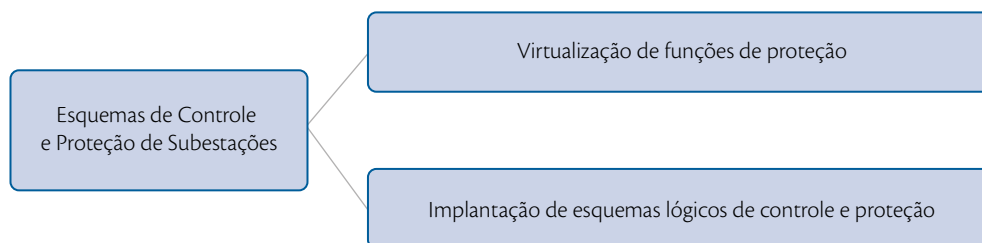


Figura 41 - Temática esquemas de controle e proteção de subestações

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 69 e Gráfico 70. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 12 - Virtualização de funções de proteção

A virtualização de funções de proteção propicia a redução do número de dispositivos necessários para a proteção da subestação e, com isso, a redução de cablagem necessária à sua interligação. Com isso, o desenvolvimento contribui para a agilidade no processo de implantação da subestação, reduzindo o impacto ambiental decorrente do tempo de obra, assim como os custos decorrentes destes. Dessa forma, esta rota tecnológica há os mesmos motivadores e condicionantes apresentados para a rota 11, com ritmo de evolução do estágio de maturidade semelhante, conforme no Gráfico 69.

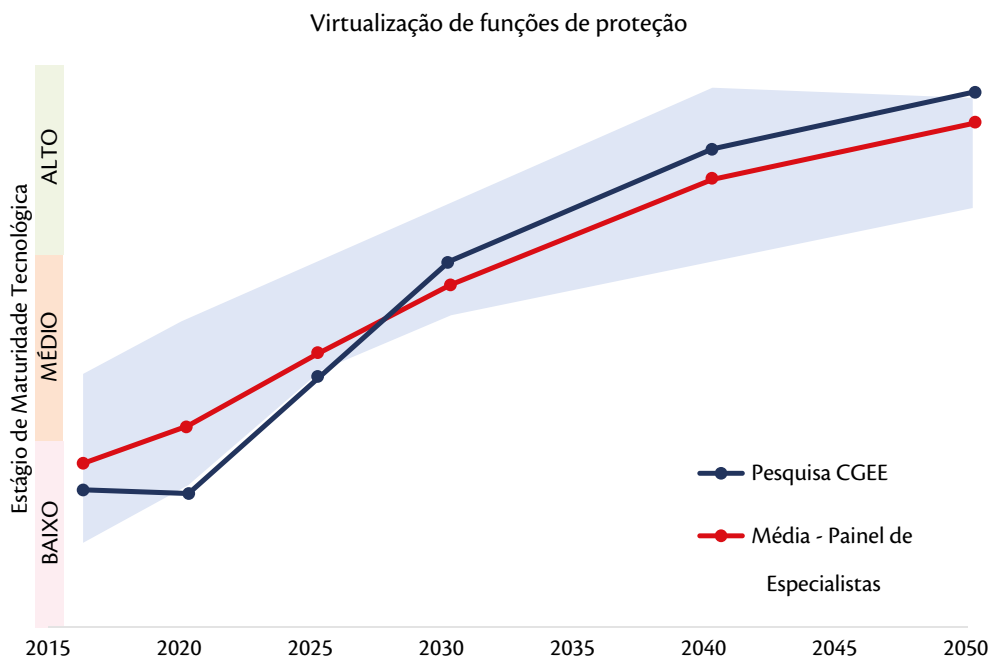


Gráfico 69 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de virtualização de funções de proteção

Fonte: Elaboração própria.

A diferença que se pode destacar é em um ritmo um pouco mais acelerado desta rota no curto prazo em função do tempo de vida útil de dispositivos de proteção e controle ser sensivelmente inferior ao dos transformadores de instrumento, sendo, assim, a renovação do parque um motivador relevante para a realização de novos desenvolvimentos.

Rota 13 - Implantação de esquemas lógicos de controle e proteção

Os investimentos dispendidos em automação de sistemas elétricos são, já há alguns anos, em grande parte direcionados ao desenvolvimento e aprimoramento de protocolos de comunicação que permitam a interação entre dispositivos e sistemas de maneira ágil e interoperável. Estes desenvolvimentos, já em estágio desenvolvido, têm permitido a aplicação de lógicas cada vez mais sofisticadas e proteção e controle, reduzindo sensivelmente os índices de falhas desses sistemas.

Além disso, por digitalizar esquemas, esta tecnologia suprime consideravelmente o emprego de cablagem, simplificando a obra civil e, conseqüentemente, os custos e tempos de implantação. Nesse cenário, verifica-se a evolução apresentada no Gráfico 70.

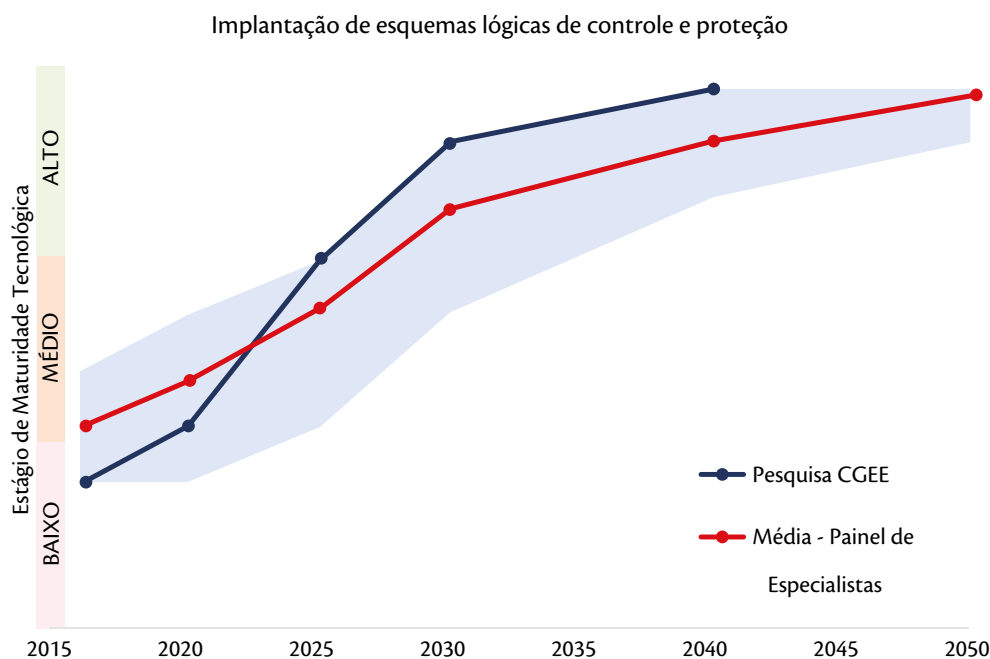


Gráfico 70 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de implantação de esquemas lógicas de controle e proteção

Fonte: Elaboração própria.

O processo de digitalização de subestações já é um fato, e a aplicação de normas e tecnologias de automação avançada uma tendência crescente no segmento de subestações de distribuição. Assim, esta rota tecnológica envolve mais a aplicação e a exploração avançada de tecnologia já desenvolvida do que um desenvolvimento tecnológico de fato.

Por conseguinte, o passo atual é o de sofisticar as lógicas e algoritmos, aproveitando os recursos do parque já instalado, com eventuais aprimoramentos das normas estabelecidas e em consonância com os desenvolvimentos de dispositivos fomentados em outras rotas (a exemplo do 12).



Dessa forma, entende-se que a evolução de sua maturidade ocorrerá de forma consideravelmente acelerada, para um estágio bastante elevado já em médio prazo.

Ressalta-se ainda que as tecnologias desta natureza são alvos de desenvolvimento no segmento de transmissão e geração, impulsionando assim, sua maturidade no segmento de distribuição.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 34 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática esquemas de controle e proteção de subestações

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Esquemas de Controle e Proteção de Subestações	Virtualização de funções de proteção	Fatores portadores de futuro	Elevada maturidade dos protocolos de automação de subestações, com elevado grau de aplicação no sistema; necessidade de substituição de parque de dispositivos, dado o tempo reduzido de vida útil; resistência dos agentes à ruptura significativa de paradigma no tema proteção			Elevada maturidade dos protocolos de automação de subestações, com elevado grau de aplicação no sistema; necessidade de substituição de parque de dispositivos, dado o tempo reduzido de vida útil		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Implantação de esquemas lógicos de controle e proteção	Fatores portadores de futuro	Elevada maturidade dos protocolos de automação de subestações, com elevado grau de aplicação no sistema; necessidade de substituição de parque de dispositivos, dado o tempo reduzido de vida útil; resistência dos agentes à ruptura significativa de paradigma no tema proteção			Elevada maturidade dos protocolos de automação de subestações, com elevado grau de aplicação no sistema; necessidade de substituição de parque de dispositivos, dado o tempo reduzido de vida útil		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

8.3.6 Temática gerenciamento de índices técnicos no nível da subestação

Para a temática gestão de ativos de subestações, foram definidas três rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 42.

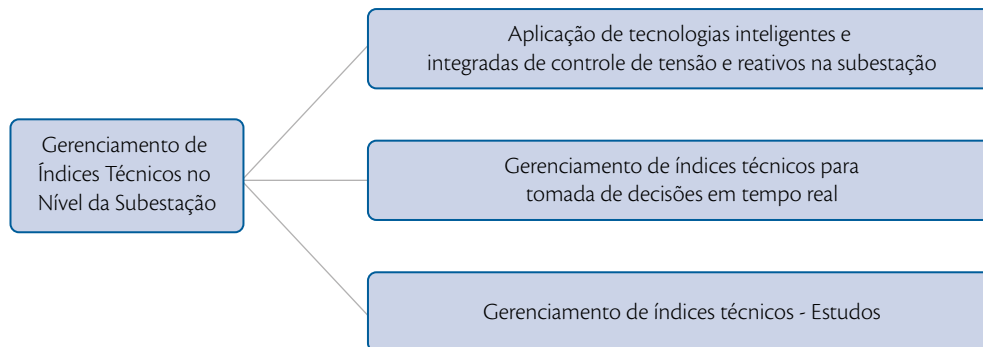


Figura 42 - Temática gerenciamento de índices técnicos no nível da subestação

Fonte: Elaboração própria.



Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 71 ao Gráfico 73. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 14 - Aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação

A elevação da sensibilidade do mercado consumidor aos distúrbios de qualidade do produto, somado ao cenário de elevação significativa da inclusão de unidades de geração distribuída no sistema de distribuição tendem a acelerar o desenvolvimento tecnológico coberto por esta rota.

Ademais, as pressões pela efficientização do serviço, espelhadas pela regulação do setor e o avanço dos desenvolvimentos tecnológicos nas áreas de telecomunicações e TI possibilitam o avanço deste tipo de tecnologia.

Por fim, o controle inteligente de tensão e reativos será condição básica para a viabilização da conexão de painéis solares em grandes escalas no sistema de distribuição, de forma que se faz necessária a evolução tecnológica desta rota, tal qual Gráfico 71.

Aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação

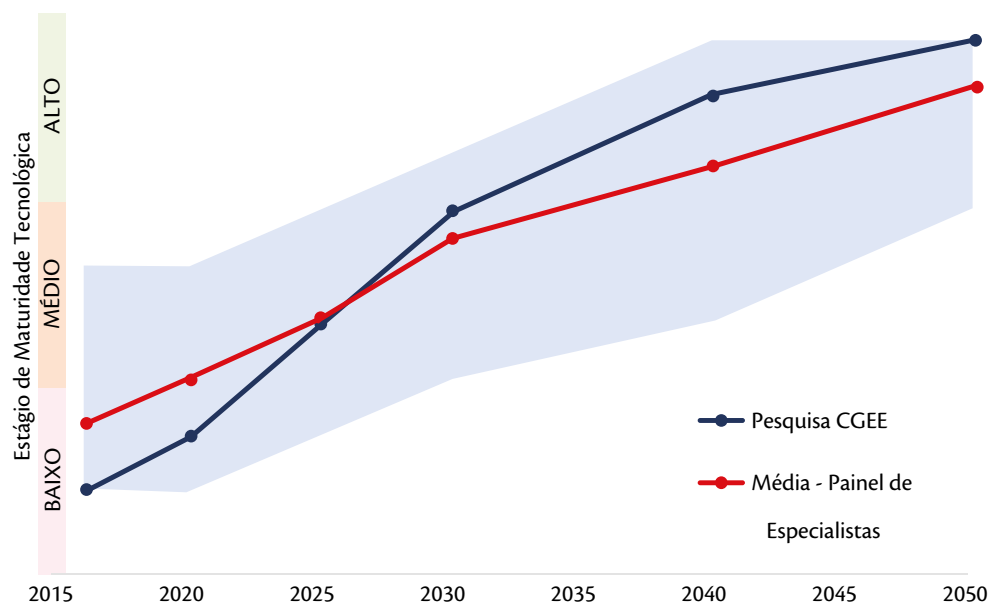


Gráfico 71 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação

Fonte: Elaboração própria.

O cenário supracitado demanda desenvolvimentos urgentes em tecnologias que permitam controlar as grandezas elétricas no sistema de maneira a absorver os novos recursos e garantir índices adequados de qualidade do produto com o maior grau de eficiência possível.

Tais tecnologias, em geral, demandam a execução de modelos avançados de estimação de estados em tempo real para sistemas de distribuição, algo bem complexo e ainda pouco difundido no cenário internacional, exigindo grandes esforços computacionais - de modo que se tem uma maturação tecnológica baixa nos anos iniciais do período considerado. Por outro lado, o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias de telecomunicações em larga escala viabilizam a implementação de soluções desta natureza.



Rota 15 - Gerenciamento de índices técnicos para tomada de decisões em tempo real

Esta rota tecnológica é impulsionada por três dos principais motivadores de investimentos no sistema na atualidade, quais sejam: melhoria da qualidade do serviço, melhoria da qualidade do produto e maior eficiência do serviço de distribuição de energia elétrica.

Uma vez que o comportamento do mercado é dinâmico, a possibilidade de gerenciar a topologia do sistema de forma adaptativa às reais condições de carga permite a manutenção de níveis otimizados de tensão e perdas, além de possibilitar o estabelecimento de configurações que garantam a maior confiabilidade possível de acordo com as condições do momento.

Toda a infraestrutura física para esta implementação já está devidamente desenvolvida, restando apenas esforços no sentido de desenvolver e aprimorar algoritmos que fundamentem a tomada de decisão em tempo real. Nesse cenário, tem-se a evolução da maturidade tecnológica apresentada no Gráfico 72.

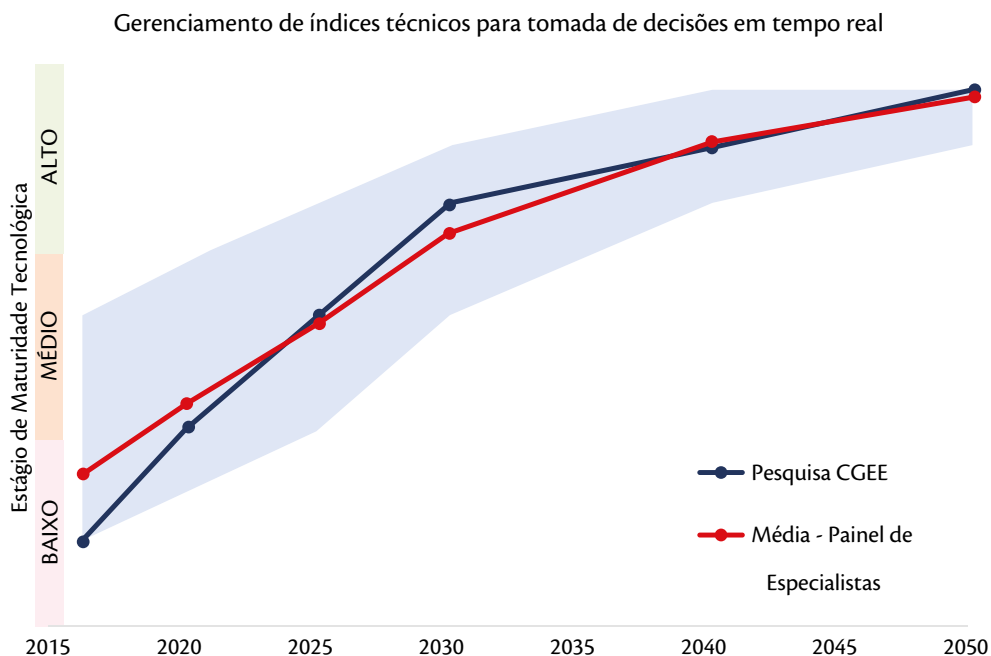


Gráfico 72 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de gerenciamento de índices técnicos para tomada de decisões em tempo real

Fonte: Elaboração própria.

Como verificado, a evolução do estágio de maturidade desta rota ocorre de forma acelerada pela demanda crescente por melhor qualidade do serviço e do produto, além da necessidade de se elevar a eficiência do serviço.

A infraestrutura física para a implantação desse tipo de funcionalidade já está disseminada e com elevado estágio de maturidade, o que facilita a elevação acentuada do grau de maturidade desta solução já em médio prazo.

Ademais, atualmente muitos esforços já são dispendidos no desenvolvimento de algoritmos voltados à função de *self-healing*, o que oferece relevante ponto de partida para a evolução para outras funcionalidades.

Por fim, assim como exposto para a funcionalidade 14, o aumento da inclusão de geração distribuída e microgeração na rede também acelerará o ritmo de desenvolvimento dessas funções de controle.

Rota 16 - Gerenciamento de índices técnicos - Estudos

Esta rota tecnológica é impulsionada pela busca de eficiência dos processos com redução de mão de obra para atividades de estudos assim como pela busca por maior assertividade na realização dos estudos, o que garante maior eficiência na alocação de recursos em expansão e melhoria do sistema.

Dentre os desafios, está o investimento em capacidade de TI para coleta e tratamento de grandes massas de dados, de maneira a extrair daí informações relevantes para o planejamento e operação do sistema. A evolução de maturidade tecnológica desta rota é dada no Gráfico 73.

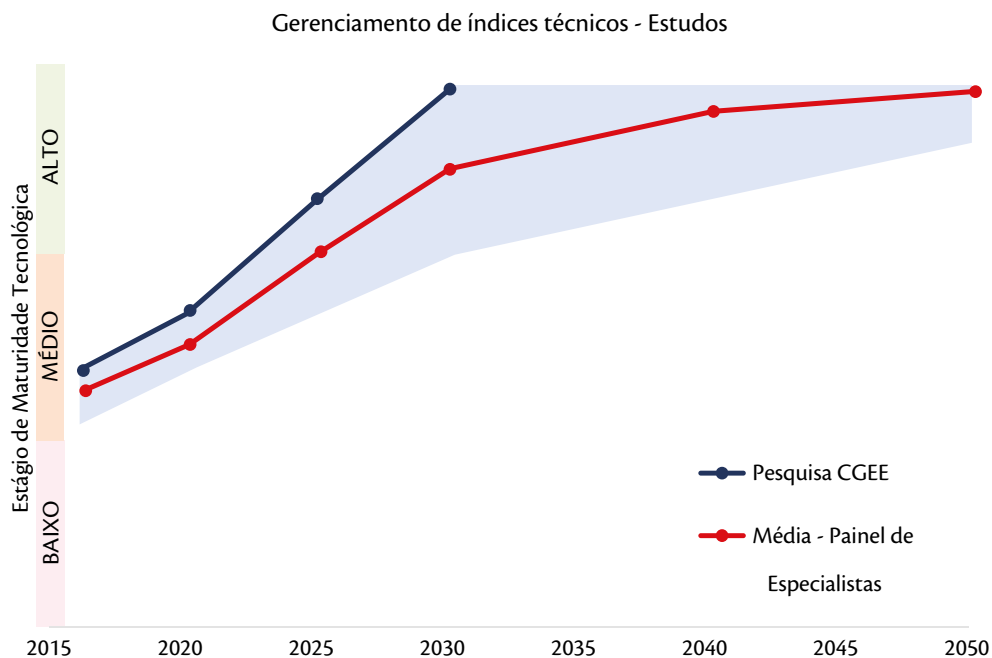


Gráfico 73 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de gerenciamento de índices técnicos - Estudos

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 35 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática gerenciamento de índices técnicos no nível da subestação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Esquemas de Controle e Proteção de Subestações	Aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação	Fatores portadores de futuro	Elevada exigência por melhor qualidade do serviço e do produto; implantação de infraestrutura física necessária para a execução da funcionalidade (digitalização de equipamentos); necessidade de sistemas com alta capacidade de processamento paralelo, a fim de permitir a execução de cálculos elétricos em grande escala		Elevada inclusão de unidades de geração distribuída nos segmentos MT e BT		Rede ativa	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Gerenciamento de índices técnicos para tomada de decisões em tempo real	Fatores portadores de futuro	Elevada exigência por melhor qualidade do serviço e do produto; implantação de infraestrutura física necessária para a execução da funcionalidade (digitalização de equipamentos); necessidade de sistemas com alta capacidade de processamento paralelo, a fim de permitir a execução de cálculos elétricos em grande escala		Elevada inclusão de unidades de geração distribuída nos segmentos MT e BT		Rede ativa	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Gerenciamento de índices técnicos - Estudos	Fatores portadores de futuro	Elevada exigência eficiência dos processos; implantação de infraestrutura física necessária para a execução da funcionalidade (digitalização de equipamentos); aquisição de dados de equipamentos e sistemas em larga escala; necessidade de sistemas com alta capacidade de processamento paralelo, a fim de permitir a execução de cálculos elétricos em grande escala		Evolução da tecnologia de sensoriamento		Rede ativa	
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			

Fonte: Elaboração própria.



8.4 Priorização

Neste item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática subestações e equipamentos. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da Macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados na nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, crescentemente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota 16, pois são dezesseis rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas. Na primeira rodada, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem. Na segunda rodada, os especialistas podem compartilhar

sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 36.

Tabela 36 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática subestações e equipamentos

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Desenvolvimento de modelos de vida útil de ativos	Gestão de Ativos de Subestações
2	Desenvolvimento e aplicação de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de manutenção centrada na condição dos equipamentos	Gestão de Ativos de Subestações
3	Gerenciamento de índices técnicos para tomada de decisões em tempo real	Gerenciamento de Índices Técnicos no Nível da Subestação
4	Métodos construtivos para agilidade na implantação de subestações	Integração de Subestações
5	Aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação	Gerenciamento de Índices Técnicos no Nível da Subestação
6	Virtualização de funções de proteção	Esquemas de Controle e Proteção de Subestações
7	Implantação de esquemas lógicos de controle e proteção	Esquemas de Controle e Proteção de Subestações
8	Gerenciamento de índices técnicos - Estudos	Gerenciamento de Índices Técnicos no Nível da Subestação
9	Viabilização de implantação de subestações aéreas em terrenos urbanos	Integração de Subestações
10	Viabilização de implantação de subestações subterrâneas em terrenos urbanos	Integração de Subestações
11	Métodos avançados de manutenção de malhas de aterramento	Sistemas de aterramento
12	Esquemas avançados de aterramento	Sistemas de aterramento
13	Transformadores de potência flexíveis (estado sólido, etc.)	Equipamentos
14	Transformadores de instrumento	Equipamentos
15	Transformadores de potência por supercondutores e novas tecnologias	Equipamentos
16	Descarte de materiais e equipamentos	Equipamentos

Fonte: Elaboração própria.



Nota-se que as rotas tecnológicas tidas como prioritárias são aquelas mais afetas à melhoria da qualidade do serviço e à gestão dos ativos de distribuição, uma vez que esses são dois dos principais motivadores atuais para investimentos no sistema, em face tanto das exigências sociais como do acabouço regulatório vigente.

Prova disso é que as duas rotas tidas como prioritárias envolvem o desenvolvimento de tecnologias voltadas à gestão de ativos, quais sejam o modelamento da vida útil dos ativos e o desenvolvimento de sistemas especialistas incorporando tais modelos de maneira a balizar políticas de manutenção direcionada à condição dos equipamentos.

Como menos prioritárias observam-se rotas cujos desenvolvimentos são, em geral, impulsionados por outros segmentos do sistema, como é o caso das tecnologias de descarte e de transformação de tensão.



Capítulo 9



Capítulo 9

Macrotemática infraestrutura de proteção, automação e controle da distribuição

A macrotemática infraestrutura de proteção, automação e controle foi estruturada em três temáticas distintas, conforme apresentado na Figura 43.

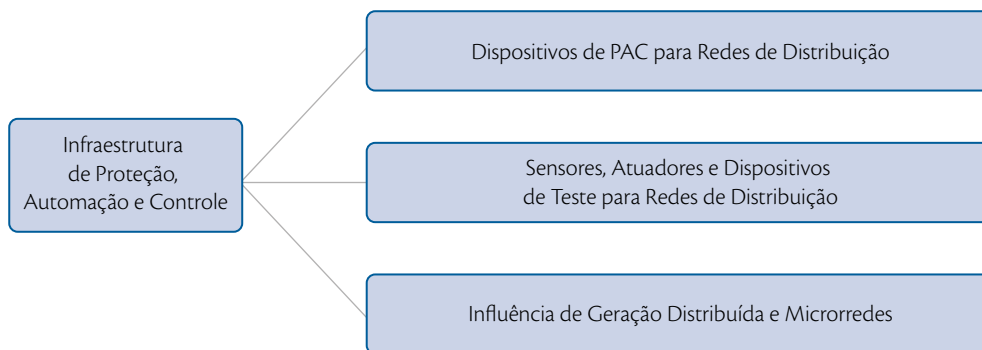


Figura 43 - Temáticas de infraestrutura de proteção, automação e controle

Fonte: Elaboração própria.

A Macrotemática Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle (PAC) apresenta proposições destinadas a viabilizar e estimular o avanço das Redes de Distribuição por meio de Dispositivos de PAC digitais numéricos para modernização intrínseca das redes, de meios específicos para convivência harmoniosa com a introdução de Geração Distribuída e Microrredes, bem como com recursos avançados em termos de sensores, atuadores e dispositivos de teste.

Essas temáticas apresentam uma coletânea de funções e protótipos de PAC na forma de *Intelligent Electronic Devices* (IEDs) como a base da infraestrutura em termos de principais esforços de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). As funções propostas como linhas de pesquisa ampliam o universo de PAC da Distribuição, permitindo atender aos crescentes anseios dos consumidores em termos de confiabilidade do suprimento. Uma vez que a geração distribuída introduz a multiplicidade de fontes no âmbito das redes de distribuição, os dispositivos de PAC, aqui preconizados, permitem resolver os problemas intrínsecos e, conseqüentemente, mais frequentes da bidirecionalidade permanente ou sazonal dos fluxos de correntes de carga e de curto-circuito.

A introdução crescente de componentes baseados em eletrônica de potência no centro das redes de distribuição implica requisitos, por vezes excessivos, para funções convencionais de PAC, ainda que implementadas pelos meios mais modernos e eficientes sugeridos pelo “estado da arte”. Para estes casos, está prevista uma temática para lidar exclusivamente com os novos requisitos, cobrindo a influência de geração distribuída e microrredes, na qual também se destacam as Virtual Power Plants (VPPs).

A terceira temática contempla os esforços de PD&I vinculados ao avanço das redes de distribuição em termos de sensores, atuadores e dispositivos de teste modernos que complementam os recursos vislumbrados nos dois temas acima, dentro dos conceitos permanentes de PAC da distribuição.

Por fim, ressalta-se que, no contexto de proteção deste projeto, os dispositivos e sistemas necessários para os sistemas de subtransmissão das distribuidoras serão abordados na Macrotemática de PAC da transmissão. Assim, no grupo temático de Distribuição, serão considerados dispositivos e sistemas para barramentos de até 13,8 kV (FERRER, 2010).

9.1 Visão de futuro

9.1.8 Cenário setorial

A evolução da demanda de energia elétrica até 2050 deve exigir algo entre 400 GW e 480 GW em capacidade instalada do SIN. Esse cenário trará desafios como a necessidade crescente de contar com rapidez e eficiência (seletividade) na eliminação de faltas (curtos-circuitos) e na otimização da qualidade de energia.



Simultaneamente, a área de distribuição no Brasil e no mundo passará por grandes inovações conceituadas como redes elétricas inteligentes (*smart grids*), microrredes (*microgrids*), geração distribuída (GD), armazenamento de energia e veículos elétricos. Para a Geração Distribuída, por exemplo, prevê-se um crescimento contínuo até 2030, podendo atingir até 10% do mercado de energia neste ano. Dessas inovações, as três últimas modificam profundamente as características elétricas da distribuição, cujos circuitos radiais tornam-se passíveis de fluxos de potência bidirecionais. Tudo isto suscetível às variações de despacho das novas fontes de energia, criando um ambiente operativo similar ao da operação da transmissão, na qual a multiplicidade de configurações topológicas é inerentemente elevada.

No que diz respeito à proteção, automação e controle, com ênfase na proteção, a evolução trará impactos ainda maiores, visto que as correntes de contribuição para uma falta (curto-circuito) não só adquirem o caráter bidirecional, mas também não terão necessariamente o envolvimento das componentes simétricas habituais de cada tipo de defeito, devido aos requisitos do tipo de conversão baseada em eletrônica de potência entre as novas fontes e o sistema existente. Um ambiente assim, tecnicamente sofisticado e desafiador, clama intrinsecamente por controle remoto e alto grau de automação, de modo a ser operável, com segurança elétrica e qualidade de energia ainda melhores do que oferecido atualmente.

Em paralelo com todas essas modificações evolutivas, há que se considerar a perspectiva crescente de entendimento e exigência de qualidade de energia, modicidade tarifária e igualdade de direitos por parte dos consumidores de todos os segmentos. Para tanto, é indispensável prover a concepção de uma infraestrutura de proteção, automação e controle para os sistemas de distribuição no país.

9.1.9 Objetivo geral

Nesse contexto, a macrotemática de infraestrutura de proteção, automação e controle (PAC) tem como objetivo geral, por meio do aporte da PD&I, dominar o projeto e produção de todos os dispositivos e sistemas necessários para atender às peculiaridades do cenário setorial acima, em particular às adaptações exigidas pelas áreas de geração distribuída (GD), virtual power plants (VPP), armazenamento de energia e veículos elétricos, que retiram o caráter radial.

A infraestrutura de PAC deve, ainda, ser capaz de prover informações, por meio de uma rede inteligente de comunicação onipresente, para outros níveis hierárquicos, levando em consideração a introdução de novas tecnologias de GD, VPP e, mesmo, alterações de concepções da operação da rede.

9.1.10 Objetivo específico

Nesse contexto, a macrotemática de PAC tem como objetivo geral, por meio do aporte da PD&I, dominar o projeto e produção de todos os dispositivos e sistemas necessários para atender às peculiaridades do cenário setorial acima, em particular às adaptações exigidas pelas áreas de GD, VPP, Armazenamento de Energia e Veículos Elétricos, que retiram o caráter radial.

A infraestrutura de PAC deve, ainda, ser capaz de prover informações, por meio de uma rede inteligente de comunicação onipresente, para outros níveis hierárquicos, levando em consideração a introdução de novas tecnologias de GD, VPP e, mesmo, alterações de concepções da operação da rede.

Curto prazo (2017-2020):

Modelos com conceitos validados em laboratório de funções de proteção; localização de faltas, registro digital de perturbações, medição da qualidade da energia (qualímetro) dispositivos de teste e indicadores de circuito em falta.

Médio prazo (2020-2030):

Protótipos demonstrados em escala real de aplicação de funções de proteção, medição instantânea, controle e automação, sensores e atuadores para automação da rede de distribuição e dispositivos de teste.



Longo prazo (2030-2050):

Solução completa com as funções e protótipos operando em toda a gama de condições esperadas, abrangendo o conjunto de dez rotas tecnológicas desta macrotemática.

9.1.11 Fundamentação

Para prover uma PAC para os sistemas de distribuição, a expectativa futura está diretamente ligada à melhoria dos indicadores Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), mediante a melhoria global da qualidade de energia (PRODIST, 2017). Isto implica dispor de meios para reduzir os danos causados pelos inevitáveis curtos-circuitos, ou seja, minimizar os tempos de eliminação de faltas.

Ressalta-se que a GD tende a extinguir as redes de distribuição radiais, portanto, espera-se uma ampla atividade de engenharia no sentido de implantar redes de distribuição de fontes múltiplas, cujo desempenho dará uma melhoria quase que imensurável na segurança e na qualidade da energia elétrica, desde que a seletividade e a rapidez na eliminação de faltas sejam otimizadas. Esta otimização depende de disjuntores mais rápidos e, acima de tudo, da aplicação de funções de proteção capazes de atuar sem retardo intencional, exclusivamente para defeitos no componente protegido, de sorte a preservar todo o restante do sistema de distribuição assegurando continuidade de fornecimento aos consumidores. O emprego de proteções unitárias (ou restritas) em adição às proteções gradativas (ou irrestritas) existentes constitui o cerne do avanço possível, a ponto de já oferecer benefícios significativos mesmo em Redes de Distribuição Radiais (MASON, 2017).

Outro efeito da GD é a consequente proliferação de fontes baseadas em inversores, que não transmitem qualquer inércia para o sistema elétrico, dificultando a manutenção da estabilidade angular. A tendência futura é clara quanto à aplicação da estimação de estado linear nos sistemas de distribuição para viabilizar a análise dinâmica de contingências e executar as ações remediais corretivas, em tempo real, no âmbito dos sistemas de geração e transmissão.

O avanço vislumbrado até 2050 depende também da disponibilidade de uma infraestrutura moderna de comunicações capaz de cobrir desde os centros de operação da distribuição, passando pelas subestações e alimentadores e chegando até aos consumidores de energia elétrica. Graças à integração das macro funções de proteção, automação e controle nos *Intelligent Electronic Devices* (IEDs), a expectativa futura também usufruirá do desenvolvimento de tecnologias de outras macrotemáticas,

tais como: geração distribuída, microrredes, medição avançada, TIC, segurança cibernética, subestações, equipamentos de distribuição e redes de distribuição aéreas e subterrâneas, sendo a automação crucial para tanto (BRAND; HENVILLE, 2010).

A transformação de dados em informações de alto valor agregado aliviará os meios de comunicação com os níveis hierárquicos superiores, bem como reduzirá a quantidade de processamento dos sistemas de supervisão e controle (SSCs) dos centros de operação (ORDACGI, 2011).

As extrapolações conceituais empregadas nesta visão de futuro seguem a linha de raciocínio apresentada em Ordacgi (2011).

A tônica desta macrotemática é viabilizar PD&I para dispositivos, sistemas e equipamentos de alta qualidade e baixo custo totalmente nacionais, lembrando sempre que as normas internacionais de PAC e a regulação da distribuição deverão ser estritamente atendidas. O projeto de prospecção tecnológica no setor de energia elétrica deve assegurar que as rotas tecnológicas de PAC da distribuição sejam desenvolvidas em alinhamento com as expectativas futuras do setor elétrico brasileiro (SEB) e com a evolução do “estado da arte” no cenário internacional.

9.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessária para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

O PIB será crescente e modulado, significando então que crescerá menos no final do período, até meados de 2030, com projeção de um crescimento médio em torno de 2,5% a.a. no período de 2017 e 2026 (EPE e MME). Os diferentes setores crescem a taxas distintas havendo uma correspondência entre o grau de desenvolvimento da economia e a distribuição setorial (MME), implicando uma estabilidade qualitativa de uma Pirâmide de Consumidores (MAFRA, 2017) que avança quantitativamente. A manutenção do perfil dos consumidores, mais do que o seu aumento numérico, não é um indicador de estabilidade técnica quanto a PAC da distribuição, visto que a conscientização dos consumidores



tende a se expandir no sentido de demandar maior qualidade no fornecimento e tratamento igualitário no âmbito de sua faixa de consumo:

- Grandes consumidores devem compreender melhor a responsabilidade pelos defeitos internos a suas instalações, distinguindo-os dos problemas oriundos do SIN, para os quais apresentarão questionamentos sobre providências concretas para melhoria de DEC e FEC.
- Idem para os pequenos consumidores, acrescentando que poderão compreender que fazem parte de esquemas de corte de cargas não prioritárias, vislumbrando que todos os consumidores de sua região devem ser igualmente onerados, num sistema de rodízio de cargas.

Portanto, independentemente das evoluções do serviço de distribuição mencionadas no capítulo 2, não há como manter a proteção, a automação e o controle como estão hoje. Isto implica uma melhor escolha de funções de proteção e um avanço de esquemas de automação e controle no sentido de minimizar o corte temporário do fornecimento.

A indústria nacional será mobilizada por um desenvolvimento tecnológico motivado pela demanda interna (desafios tecnológicos internos), todavia o país buscará ser competitivo internacionalmente. Um destes desafios internos consiste justamente em envolver a cadeia produtiva na criação da infraestrutura de PAC da distribuição, estimulando a incubação de empresas deste ramo no país. A intenção de competir no mercado internacional leva à economia de escala, viabilizando novas empresas no ramo de PAC.

Uma vez que os aproveitamentos de GD entrarão principalmente na zona urbana e de modo crescente até 2030, podendo chegar a algo em torno de 10% do mercado de energia, em 2030. A partir daí, as taxas de crescimento serão menores. O desenvolvimento da GD irá se fortalecer em todos os segmentos de consumo industrial, comercial e residencial. Em suma, a distribuição radial deverá tornar-se em fontes múltiplas, assim requerendo inapelavelmente *Intelligent Electronic Devices* (IEDs) para linhas aéreas e subterrâneas de distribuição primária.

Acresce que haverá aproveitamento de GD em CGH, biomassa e biogás, na zona rural, sem subsídios, especialmente para autoprodução. E mais, segundo a EPE, os atuais estudos para o planejamento consideram que a GD deverá ocorrer, na zona urbana, a partir do aproveitamento dos resíduos sólidos e efluentes e, no nível rural, a partir de resíduos agropecuários. Esses fatos reforçam o fim da radialidade na distribuição, indicando aumento significativo dos níveis de curto-circuito, justificando

o uso de *Intelligent Electronic Devices* (IEDs) para transformadores abaixadores abrigados (Distribuição Primária/Secundária).

Nesse contexto, foram definidas as seguintes métricas, explanadas nos tópicos subsequentes:

- atingir estado da arte em PAC;
- acompanhar nível de integração;
- participar da elaboração e evolução de normas internacionais de PAC;
- acompanhar evolução da geração distribuída;
- acompanhar aumento dos requisitos de qualidade de energia no suprimento de consumidores particularmente sensíveis;
- certificar processo estatístico sobre desempenho da proteção da distribuição;
- modernizar ensino de PAC ligando-o à pesquisa, desenvolvimento, produção e aplicação de produtos.

A evolução tecnológica é o principal pilar de sustentação da infraestrutura de PAC da distribuição. Uma vez que a evolução internacional de PAC (“estado da arte”) vem se desenvolvendo num ambiente praticamente sincronizado entre os fabricantes renomados. O período de hoje a 2020 é crítico para que a PD&I brasileira avance e assuma o mesmo ritmo. Dispondo dos protótipos de 2020, com o cenário acima, é certo que, em 2025, sejam atingidos, com sucesso, os modelos com conceitos validados em ambiente real de aplicação. De sorte a atingir, na próxima década, o objetivo geral do projeto de prospecção tecnológica, no âmbito da infraestrutura de PAC da distribuição. Contando com protótipos demonstrados em escala real de aplicação, a partir de 2030, o sincronismo tecnológico mundial de PAC colocará o Brasil em condições altamente qualificadas em PD&I, em meados do século XXI.

O aumento do nível de integração deve ser acompanhado acuradamente, diante do seu alto grau de interferência em PD&I e na produção. Uma solução simples para fazer este acompanhamento, por exemplo, é criar um grupo de trabalho no âmbito do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação do CIGRÉ-Brasil para tratar do nível de integração.

Participando da evolução das normas internacionais, o país obterá o balizamento necessário ao desenvolvimento de PD&I da infraestrutura de PAC da distribuição, passando pela produção e chegando aos detalhes da aplicação. A partir de 2025, sugere-se que esta atividade passe a ser feita sob coordenação estratégica, cabendo então definir se o MME, a Aneel ou outra entidade ficarão responsáveis pela coordenação.



Conforme apontado anteriormente, o crescimento da aplicação de GD, no âmbito das redes de distribuição, caracteriza-se como o principal fator de modificação das características e requisitos de operação, proteção, automação e controle. Uma vez que a introdução de fontes múltiplas de contribuição de corrente de curto-circuito extingue a radialidade do sentido do fluxo, as funções de proteção, até agora empregadas, precisarão ser substituídas por outras capazes de lidar com a bidirecionalidade das correntes de falta. Neste sentido, é recomendável que as ações de PD&I devam dar ênfase, primeiramente, às funções de proteção unitária (ou restrita), que resolvem intrinsecamente a questão da seletividade, evoluindo posteriormente no tratamento de outras funções, buscando menores custos de aquisição e instalação.

O parágrafo anterior é necessário, porém insuficiente para balizar as ações de PD&I, visto que a qualidade da energia tem influência inerente na infraestrutura de PAC, com máxima ênfase em proteção. É esperada uma necessidade de requisitos mais exigentes na qualidade da energia, principalmente da parte de consumidores mais sensíveis e com risco de perdas financeiras na sua produção. Por esta razão, as ações de PD&I devem partir das funções de proteção unitária com foco permanente em atender aos novos e mais estritos requisitos de qualidade da energia.

Destaca-se, ainda, que a influência mútua de PAC da transmissão e da geração sobre a PAC de distribuição é tão natural quanto notória, pois, na essência, a missão mais importante é detectar e eliminar seletiva e rapidamente as faltas em qualquer um desses três segmentos do sistema elétrico. O estímulo à PD&I deve ser equalizado em todos os segmentos, de modo que haja progresso equânime e que a duplicação de esforços seja evitada.

É altamente recomendável que seja implantada uma estratégia setorial para PAC da distribuição, de maneira a se dispor de um arcabouço de informações capaz de descrever acuradamente o desempenho em relação a procedimentos pré-fixados. Isto requer ações permanentes em termos de estatística abrangente, procedimentos de PAC da distribuição e formação de mão de obra qualificada.

Criar um processo estatístico de âmbito nacional sobre desempenho da proteção e realimentar o processo de PAC da distribuição possibilitará adquirir benefícios das lições aprendidas nos blecautes, desde que não sejam deixados de lado todos os eventos de menor monta. À luz do que se pratica na geração e transmissão, as estatísticas deverão ser elaboradas em base anual. Um processo desta natureza terá sua credibilidade e eficiência aumentadas, se for certificado por entidade credenciada em gestão da qualidade.

A implantação de procedimentos de PAC da distribuição deverá ser feita em consonância com as ações de PD&I e será aferida e realimentada permanentemente pelos resultados da estatística de desempenho. Essas ações culminam por criar um círculo virtuoso de grande proveito para todos os segmentos do setor elétrico brasileiro.

Neste contexto, a formação de mão de obra só terá a ganhar, se o ensino de PAC for modernizado, ligando-o à pesquisa, desenvolvimento, produção e aplicação de produtos. O ensino e a aferição dos seus resultados são inerentemente aferidos por meio do círculo virtuoso citado acima, permitindo uma busca permanente pela máxima profissionalização dos discentes que se envolverem com PAC após a conclusão de seus estudos para atingir a titulação adequada.

As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas neste estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento destas rotas, ver anexo.

9.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

9.3.1 Temática dispositivos de proteção, automação e controle (PAC) para redes de distribuição

Para a temática dispositivos de PAC para redes de distribuição, foram definidas seis rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 44. As rotas dessa temática foram divididas em dois agrupamentos, que abordam o tratamento de faltas na rede de distribuição (I) e o tratamento de operação em regime permanente (II).

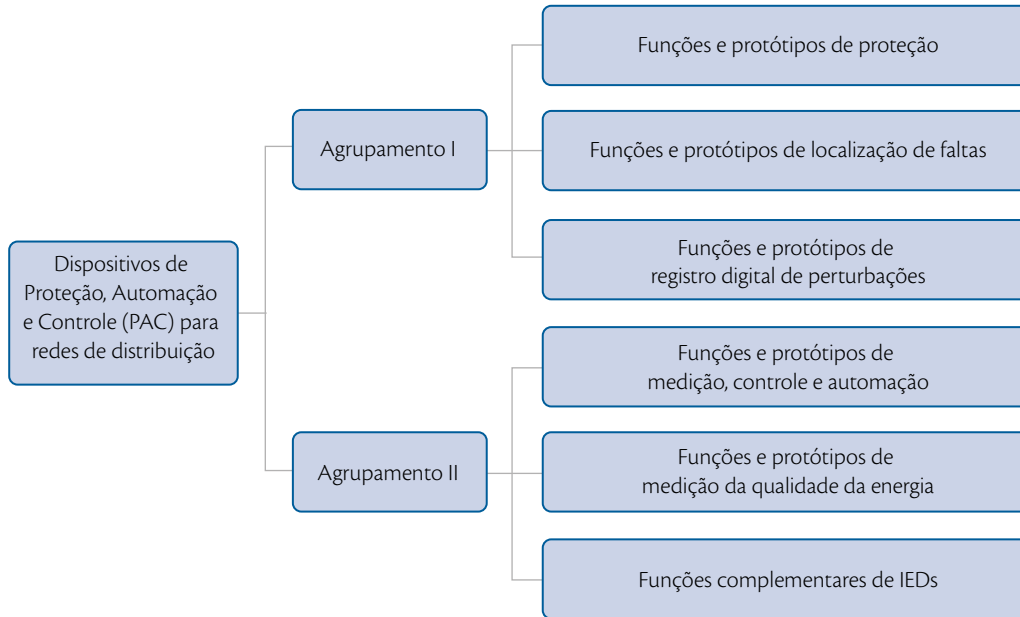


Figura 44 - Temática dispositivos de proteção, automação e controle (PAC) para redes de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 74 ao Gráfico 79. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Agrupamento I

Rota 1 - Funções e protótipos de proteção

O acompanhamento do nível de integração crescente do hardware implica atualizar os protótipos em 2025. Há a perspectiva de ruptura de paradigma no aumento do nível de integração, viabilizando processadores muito mais poderosos e rápidos do que os atuais. Estima-se que isto deverá ocorrer entre 2030 e 2050, justificando reorientar a rota de funções e protótipos de proteção. Na eventualidade de um aumento radical da capacidade de processamento dos chips, denominados placa-mãe e processador de sinais, ou até do surgimento de novos chips ainda mais especializados, a arquitetura e o software até então desenvolvidos terão de ser totalmente revisados para que permaneçam em sincronismo tecnológico com o novo hardware, o qual passará a ser empregado em escala global. O mesmo se aplica por analogia com a participação brasileira na evolução e elaboração de normas internacionais.

O aumento da capacidade instalada de GD, internamente às Redes de Distribuição, deve ser seguido em termos mercadológicos e técnicos para reorientar o esforço de PD&I sobre funções e protótipos de proteção. O acompanhamento das tendências de novos produtos, ofertados no mercado de PAC para GD, implica a ação técnica para discernir se as funções de proteção, que compõem as linhas de pesquisa da Rota 1, cumprem os requisitos, ou se é necessário incluir uma rota ou linha de pesquisa adicional na temática de influência de geração distribuída e microrredes.

Uma vez que a redução do tempo de eliminação de faltas tem influência positiva direta na qualidade de energia, a observação técnica dos produtos oferecidos no mercado internacional de PAC também poderá otimizar o rumo da pesquisa sobre as funções de proteção e os meios de sua implementação. Isto porque os requisitos de tempo de atuação podem ser tornados mais estritos com a complexidade crescente das redes de distribuição ou com as exigências de processos industriais cada vez mais sensíveis à duração de distúrbios. Por outro lado, a tendência de maior rigor quanto aos limites de DEC e FEC exigirá uma evolução desta rota em termos técnicos e, certamente, numa cronologia mais ágil.

Destaca-se, ainda, que a estratégia setorial deverá ser conduzida no sentido de criar um processo de estatística de desempenho dos componentes das redes de distribuição e da proteção frente a todos os eventos de faltas internas a tais redes, bem como de faltas externas quando a geração distribuída for capaz de contribuir com valores significativos de corrente de curto-circuito. Um desafio particular consiste no empenho para que o processo seja certificado junto a entidades credenciadas



em qualidade, por exemplo a International Organization for Standardization (ISO), com as normas cabíveis. Para tanto, a disponibilidade de procedimentos de distribuição sobre PAC é crucial para que haja referências explícitas sobre os requisitos das redes de distribuição no país. Nesse contexto, espera-se que a rota apresente evolução de maturidade tal qual Gráfico 74.

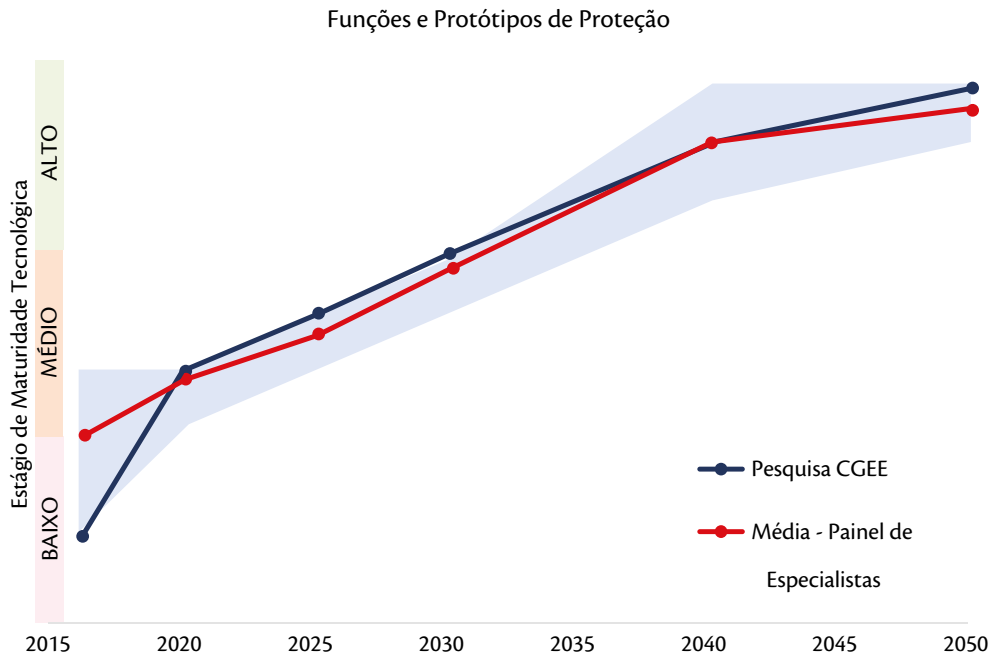


Gráfico 74 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de proteção

Fonte: Elaboração própria.

Rota 2 - Funções e protótipos de localização de faltas

A localização de faltas transitórias é intimamente vinculada à proteção de linhas aéreas de distribuição, além de se aplicar também às linhas subterrâneas de distribuição, onde os defeitos são majoritariamente permanentes. Desnecessário, portanto, ressaltar sua importância.

Os acompanhamentos do nível de integração e da participação em normas internacionais, desenvolvidos para a Rota 1, aplicam-se diretamente às funções e protótipos de localização de faltas.

O aumento da capacidade instalada de geração distribuída internamente às redes de distribuição influi sobre as funções e protótipos de localização de faltas no sentido de ampliar o universo de linhas aéreas e subterrâneas, que demandam algoritmos aplicáveis a fontes múltiplas.

Quanto à influência na qualidade de energia, a rota 2 contribui diretamente para a redução do DEC, o que facilita sobremaneira a identificação de eventuais correções de rumo. Por outro lado, a tendência de maior rigor quanto aos limites de DEC e FEC exigirá uma evolução desta rota em termos técnicos e, certamente, numa cronologia mais ágil, de forma que se tem a evolução prevista no Gráfico 75.

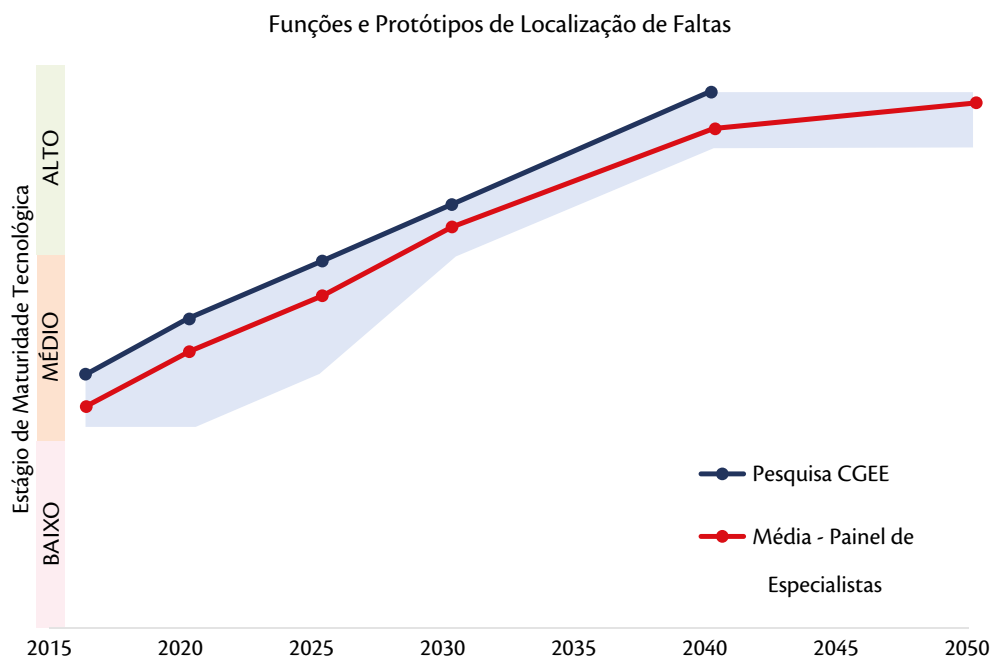


Gráfico 75 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de localização de faltas

Fonte: Elaboração própria.



Rota 3 - Funções e protótipos de registro digital de perturbações

Uma vez que a estratégia setorial transcorra como preconizado para as rotas 1 e 2, os esforços de PD&I, em funções e protótipos de registro digital de perturbações, serão inerentemente contemplados. Destaca-se ainda que o processo estatístico de desempenho da proteção, no qual também deve ser contemplado o desempenho dos componentes das redes de distribuição, depende da rota 3 para poder ser acuradamente executado, a partir de cada desligamento forçado de componentes, fazendo com que seja essencial a evolução desta rota tal qual apresentado no Gráfico 76.

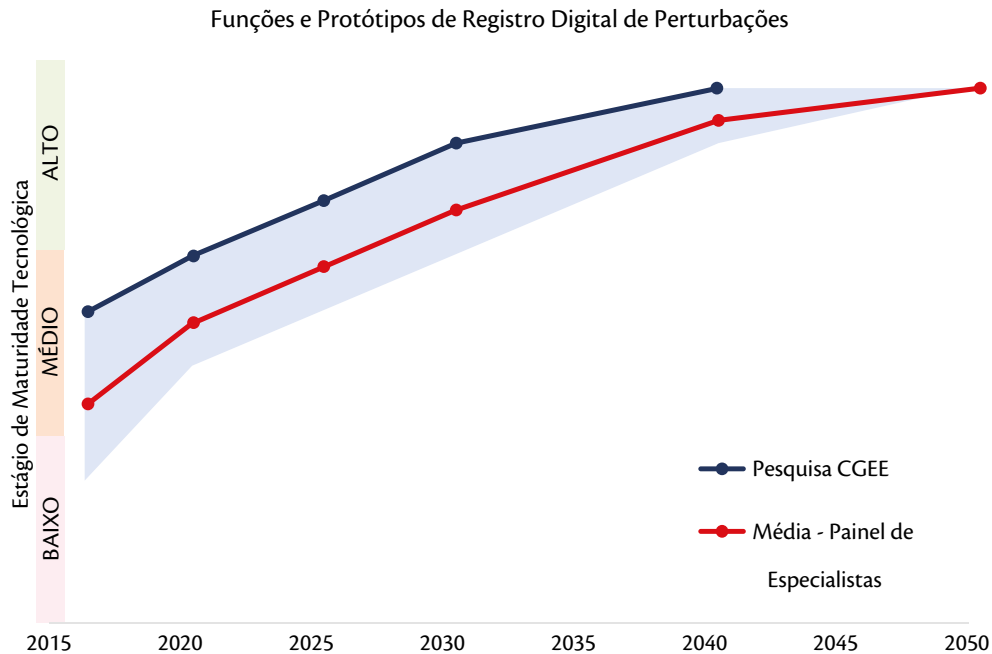


Gráfico 76 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de registro digital de perturbações

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 37 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática dispositivos de proteção, automação e controle (pac) para redes de distribuição - agrupamento I

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC) para Redes de Distribuição	Funções e Protótipos de Proteção	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRÉ-Brasil; requisitos de qualidade mais rígidos	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto, e das empresas de distribuição; requisitos de qualidade mais rígidos	Necessária avaliação do nível de integração; requisitos de qualidade mais rígidos	Possível risco de descompasso com o avanço internacional		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC) para Redes de Distribuição	Funções e Protótipos de Localização de Falhas	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRÉ-Brasil; experiência de alguns centros acadêmicos e universidades, como a UnB; requisitos de qualidade mais rígidos	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das Empresas de Distribuição; requisitos de qualidade mais rígidos	Necessária avaliação do nível de integração; requisitos de qualidade mais rígidos	Possível risco de descompasso com o avanço internacional		
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			
	Funções e Protótipos de Registro Digital de Perturbações	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRÉ-Brasil; experiência de alguns centros acadêmicos e universidades, como a UFSC	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das empresas de distribuição	Necessária avaliação do nível de integração	Possível risco de descompasso com o avanço internacional		
		Maturidade	MÉDIO	ALTO				

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento II

Rota 4 - Funções e protótipos de medição instantânea, controle e automação

Uma vez que a evolução tecnológica antevista para as rotas 1, 2 e 3 (agrupamento I) é bastante promissora, as rotas do grupo II são automaticamente beneficiadas, visto que só a união entre os dois grupos provê PD&I adequado e suficiente para se ter um protótipo de *Intelligent Electronic Device* (IED). Qualitativamente, os pesquisadores não terão dificuldades em atingir o “estado da arte” no tocante à rota 4. Do ponto de vista quantitativo, caberá ao setor elétrico organizar-se para mobilizar mão de obra suficiente para atingir as metas estabelecidas até 2050. O acompanhamento do nível de integração crescente do hardware e a participação brasileira na evolução e elaboração de normas internacionais também seguirão o ritmo ditado pelas rotas do grupo I.

O aumento da capacidade instalada de geração distribuída internamente às redes de distribuição deve ser seguido em termos mercadológicos e técnicos para reorientar o esforço de PD&I sobre funções e protótipos de medição instantânea, controle e automação. Uma vez que a geração distribuída tende a requerer níveis crescentes de automação, conforme a macrotemática de automação da rede de distribuição, esta parte da infraestrutura de PAC será caracterizada por diversos estímulos no sentido de viabilizar os requisitos de aplicação.

Nesse contexto, espera-se que a rota apresente evolução de maturidade tal qual Gráfico 77. Por fim, é interessante observar como a dispersão descrita no gráfico abaixo aumenta no longo prazo, caracterizando enfaticamente a dificuldade de antecipar o que será a automação básica (genérica) ao final da primeira metade do século XXI.

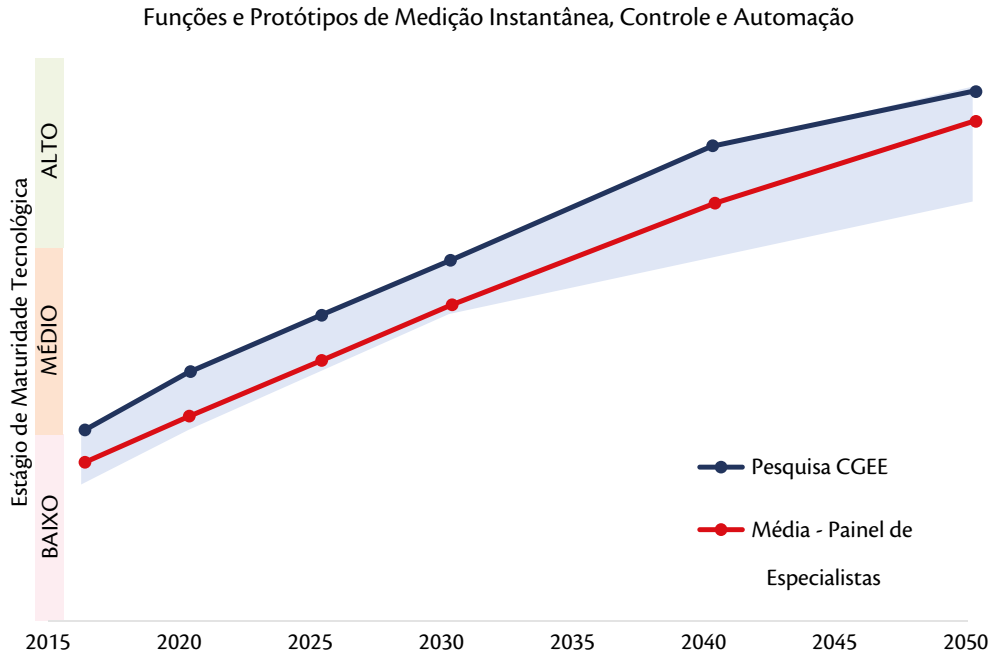


Gráfico 77 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de medição instantânea, controle e automação

Fonte: Elaboração própria.

Rota 5 - Funções e protótipos de medição da qualidade da energia - qualímetro

Os qualímetros são os responsáveis pela criação de um círculo virtuoso capaz de quantificar o que se deve fazer para atender aos requisitos cada vez mais estritos de qualidade no fornecimento de energia elétrica. Assim, será possível executar estudos técnico-econômicos que otimizem o uso dos recursos financeiros ao se atender às diferentes necessidades de cada grupo de consumidores por região ou até por subestação.

Por outro lado, os requisitos cada vez mais estritos de qualidade no fornecimento de energia elétrica deverão aumentar a necessidade de aplicação de qualímetros cada vez mais acurados, criando um círculo virtuoso capaz de conduzir a um aumento do mercado desta função com consequente acréscimo de investimentos.

Destaca-se ainda que o aumento da capacidade instalada de geração distribuída internamente às redes de distribuição deve ser seguido em termos mercadológicos e técnicos para dosar o esforço de PD&I sobre funções e protótipos de medição da qualidade da energia. Uma vez que a geração distribuída tende a requerer níveis crescentes de qualidade, esta parte da infraestrutura de PAC será caracterizada por diversos estímulos no sentido de viabilizar os requisitos de aplicação. Assim, espera-se que a evolução desta rota se dê tal qual Gráfico 78.

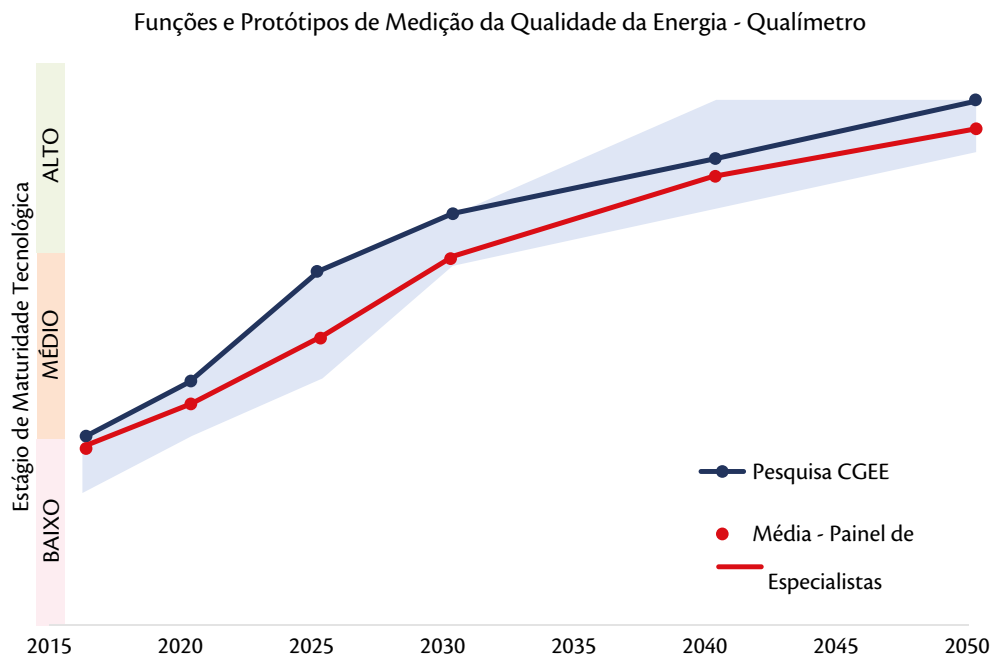


Gráfico 78 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de medição da qualidade da energia - qualímetro

Fonte: Elaboração própria.

A dispersão dos dados apresentados no gráfico acima decerto é devida à inexperiência das comunidades brasileira e internacional de PAC com a medição da qualidade de energia. Por outro lado, os avanços já conquistados em termos de Registradores Digitais de Perturbação (RDPs), bem mais complexos, assegura um andamento normal para a cronologia desta rota. Aplica-se basicamente o conteúdo da rota 3.



Rota 6 - Funções complementares de IEDs

Esta rota visa a contemplar as necessidades de funções de apoio e complementação das demais rotas desta temática que criarão definições objetivas sobre a cronologia e o conteúdo de PD&I sobre as funções complementares de IEDs. Por conseguinte, a rota 6 será muitíssimo influenciada pelo desenrolar das rotas 1, 2, 3, 4 e 5. Ademais, em se tratando de funções complementares de algo maior, há uma significativa diversidade entre as linhas de pesquisa, de forma que para a evolução desta rota - apresentada no Gráfico 79 - há considerável dispersão.

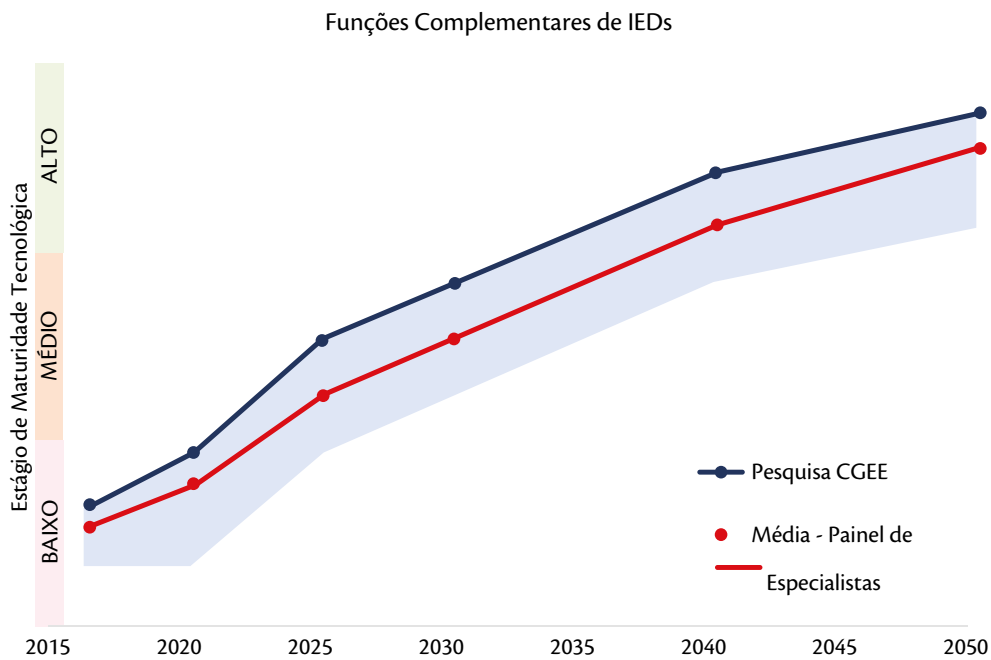


Gráfico 79 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções complementares de IEDs

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 38 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC) para redes de distribuição - agrupamento II

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC) para Redes de Distribuição	Funções e Protótipos de Medição Instantânea, Controle e Automação	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRE-Brasil	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das Empresas de Distribuição; aumento da penetração de medidores inteligentes	Necessária avaliação do nível de integração; aumento da inclusão de medidores inteligentes	Possível risco de descompasso com o avanço internacional; aumento da penetração de medidores inteligentes		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO	
	Funções e Protótipos de Medição da Qualidade da Energia - Qualmetro	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRE-Brasil; requisitos de qualidade mais rígidos	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das empresas de distribuição; requisitos de qualidade mais rígidos	Necessária avaliação do nível de integração; requisitos de qualidade mais rígidos	Possível risco de descompasso com o avanço internacional		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO	



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC) para Redes de Distribuição	Funções Complementares de IEDs	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRE-Brasil	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das empresas de distribuição	Necessária avaliação do nível de integração	Possível risco de descompasso com o avanço internacional		

Fonte: Elaboração própria.

9.3.2 Temática Influência de Geração Distribuída (GD), Virtual Power Plants (VPP) e Microrredes (MR)

Para a temática influência de Geração Distribuída (GD), *Virtual Power Plants* (VPP) e Microrredes (MR), foi definida apenas uma rota tecnológica, conforme indicado na Figura 45.



Figura 45 - Temática influência de Geração Distribuída (GD), *Virtual Power Plants* (VPP) e Microrredes (MR)

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, é apresentada a curva de evolução da maturidade tecnológica da rota considerada - disposta no Gráfico 80. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 7 - Dispositivos e funções de PAC para GD, VPP e MR

Dado o impacto, requisitos e motivações oriundos da introdução maciça de Geração Distribuída, *Virtual Power Plants* e Microrredes nos sistemas de distribuição do Brasil, julgou-se necessária a concepção de uma temática exclusiva para o tema. Nesta rota, são contempladas linhas de pesquisa referentes a:

- desenvolvimento de dispositivos e funções de PAC preconizados pela macrotemática de GD e microrredes;
- desenvolvimento de funções de proteção capazes de responder adequadamente durante as condições de *Fault Ride Through*;
- desenvolvimento de funções de detecção de ilhamento indesejado;
- desenvolvimento de funções para implementação de ilhamento intencional;
- desenvolvimento de funções para recomposição após a ocorrência de ilhamento indesejado ou intencional;
- integração de funções do IED para viabilizar protótipo específico para as questões de GD, VPP e MR.

Após a ocorrência de blecautes, no Brasil, são frequentes, até mesmo nos veículos de comunicação aberta, debates técnicos e opiniáticos sobre ilhamento. As três menções nas linhas de pesquisa acima mostram que o tão debatido ilhamento pode ocorrer de forma ou em momento indesejados, precisando, portanto, ser desfeito. A identificação de que ocorreu um ilhamento e, em particular, indesejado não deve ser feita por esquemas complexos como uma cadeia de muitos elos, na qual a falha de um único elo inibe todo o conjunto. Em outras palavras, não é um assunto de aplicação em primeira instância, trata-se de tema para um sólido esforço de PD&I visando encontrar uma solução tão elegante quanto eficiente e, acima de tudo, que seja altamente confiável (MULHAUSEN, 2009).



Já o ilhamento intencional, no âmbito das redes de distribuição, requer fontes de energia, conexão com os consumidores e balanço entre carga e geração. Uma vez que as fontes e os consumidores não serão sempre os mesmos, é indispensável que a área a ser ilhada disponha de flexibilidade elétrica, energética e geográfica. Pode-se dizer que área ilhada, com propriedade, ainda é tema incipiente no cenário internacional, onde já se pode encontrar uma certa profusão em GD, mas pouco em termos de VPP e MR. Vale ressaltar que, no caso, as VPPs assumem uma certa analogia com os geradores diesel de emergência empregados nas usinas e subestações, como acionamento rápido e operação confiável - dois assuntos espinhosos, que, por experiência, até hoje acontece com os geradores de emergência. Em suma, trata-se de uma oportunidade invejável para o Brasil assumir a liderança neste assunto.

Formada uma ilha, desejável ou não, sempre será necessário restabelecer a integridade do sistema elétrico - recompor a rede de distribuição, no jargão do SEB. Para uma ação desta natureza, aparentemente simples, é preciso unir sem sobrepor requisitos análogos aos mencionados nos dois parágrafos anteriores. Neste caso, o esforço de PD&I talvez supere a soma daqueles ligados ao ilhamento em si.

A partir deste discernimento, os resultados serão tão melhores quanto mais se planejar os esforços de PD&I para a solução de problemas que requeiram efetiva inovação - ensejando a evolução de maturidade tecnológica tal qual proposta no Gráfico 8o.

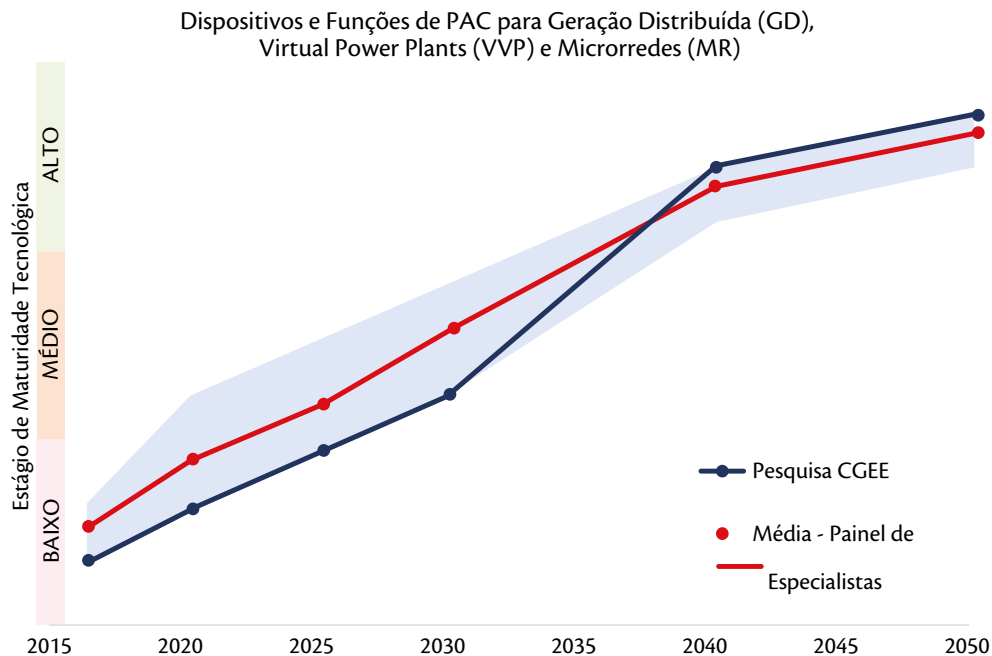


Gráfico 80 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos e funções de PAC para GD, VPP e MR
 Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que, para um tema ainda tão cheio de incógnitas, o Gráfico 80 apresenta uma dispersão previsível entre as opiniões dos que contribuíram para sua elaboração. É interessante observar que a dispersão fica reduzida a longo prazo, de sorte a representar que haverá convergência quando as incógnitas se tornarem conhecidas.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados na tabela a seguir os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 39 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática influência de Geração Distribuída (GD), *Virtual Power Plants* (VPP) e Microrredes (MR).

Temática	Rota	Dado	Período							
			2016	2020	2025	2030	2040	2050		
Influência de Geração Distribuída (GD), <i>Virtual Power Plants</i> (VPP) e Microrredes (MR)	Dispositivos e Funções de PAC para Geração Distribuída (GD), <i>Virtual Power Plants</i> (VPP) e Microrredes (MR)	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRÉ-Brasil		Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das empresas de distribuição; aumento da penetração de medidores inteligentes		Necessária adequação da regulação para inserção massiva de geradores distribuídos; necessária avaliação do nível de integração; aumento da penetração de medidores inteligentes		Inclusão de GD da ordem de 10%; possível risco de descompasso com o avanço internacional; aumento da inclusão de medidores inteligentes	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

9.3.3 Temática sensores, atuadores e dispositivos de teste para redes de distribuição

Para a temática sensores, atuadores e dispositivos de teste para redes de distribuição, foram definidas três rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 46.

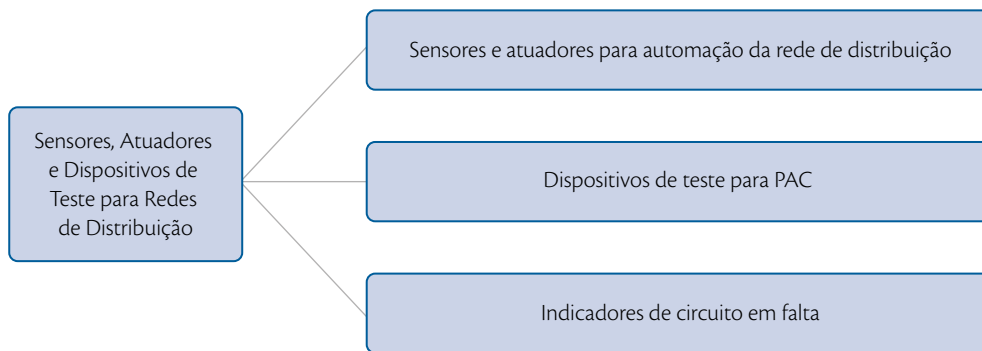


Figura 46 - Temática de sensores, atuadores e dispositivos de teste para redes de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 81 ao Gráfico 83. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 8 - Sensores e atuadores para automação da rede de distribuição

O papel da automação como parte de um *Intelligent Electronic Device* (IED) já foi enfatizado para a rota 4. No entanto há uma ampla expectativa sobre o papel da automação na transformação das redes de distribuição. Tudo o que vier a empregar atuadores específicos para fins de automação tende a ter sensores digitais na forma de conjuntos destinados a automatizar processos hoje lentos por depender de ações humanas, fazendo necessária sua evolução.

Hoje, já se pode destacar o nível qualitativa e quantitativamente crescente de automação nas redes de distribuição que desfrutam dos melhores indicadores em termos de DEC e FEC. Este exemplo tende a ser seguido por todas as empresas na busca por melhor desempenho perante a sociedade, conforme aferido pela Aneel. Acresce que o aumento dos recursos de automação nas redes de distribuição vai aproximá-las das redes de transmissão com compartilhamento de ideias e experiências (a transmissão dispõe de um longo e profícuo histórico nesta direção, lembrando-se também da dose de insucessos, talvez mais importante do que os acertos para poupar tempo e investimentos).

Há que destacar que o investimento em atuadores convencionais ou específicos sempre será muitas vezes superior ao dos IEDs ou sensores dedicados, por se tratar de equipamentos e instrumentos. Em complementação, a automação requer comunicação onipresente com alta disponibilidade e alta confiabilidade, pois se deve investir em TIC. Em suma, o investimento em automação sempre será impactante devido ao custo dos equipamentos primários, o que implica em PD&I e aplicação de alta qualidade com clara definição dos benefícios. Dessa forma, prevê-se que a evolução desta rota ocorra tal qual Gráfico 81.

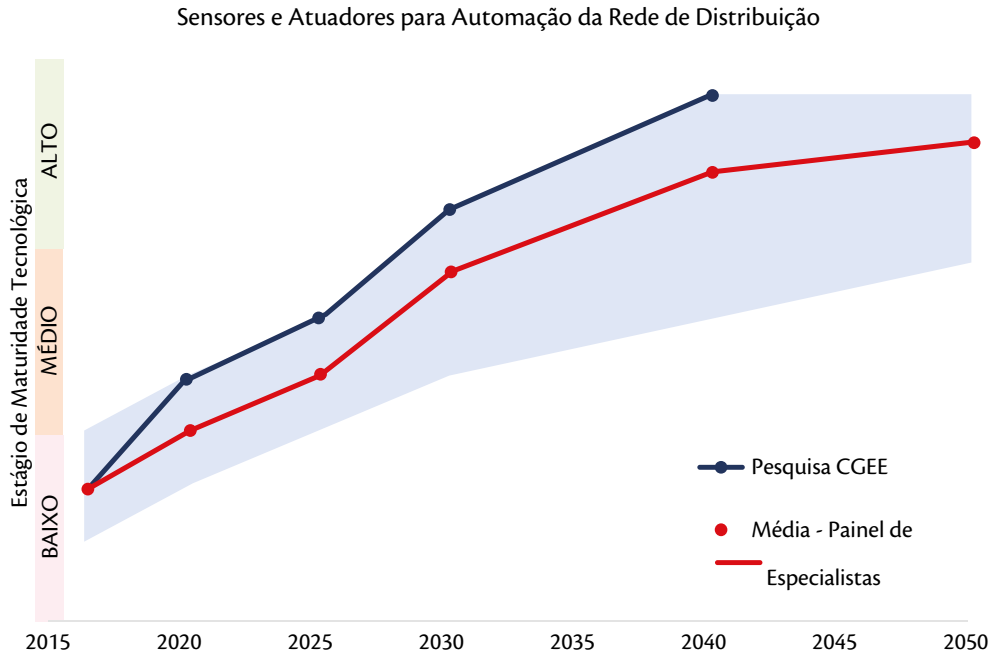


Gráfico 81 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para automação da rede de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Rota 9 - Dispositivos de teste para PAC

Esta rota visa atender à necessidade de se testar e avaliar os produtos relacionados ao PAC. Assim, a evolução de tais produtos estimula a evolução da rota de dispositivos de teste para PAC, a qual conta, naturalmente, com os facilitadores descritos para as demais rotas, em especial aqueles da rota 1. Há, outrossim, cadeia produtiva nacional bem estabelecida. Neste contexto, tem-se a evolução de maturidade proposta no Gráfico 82.

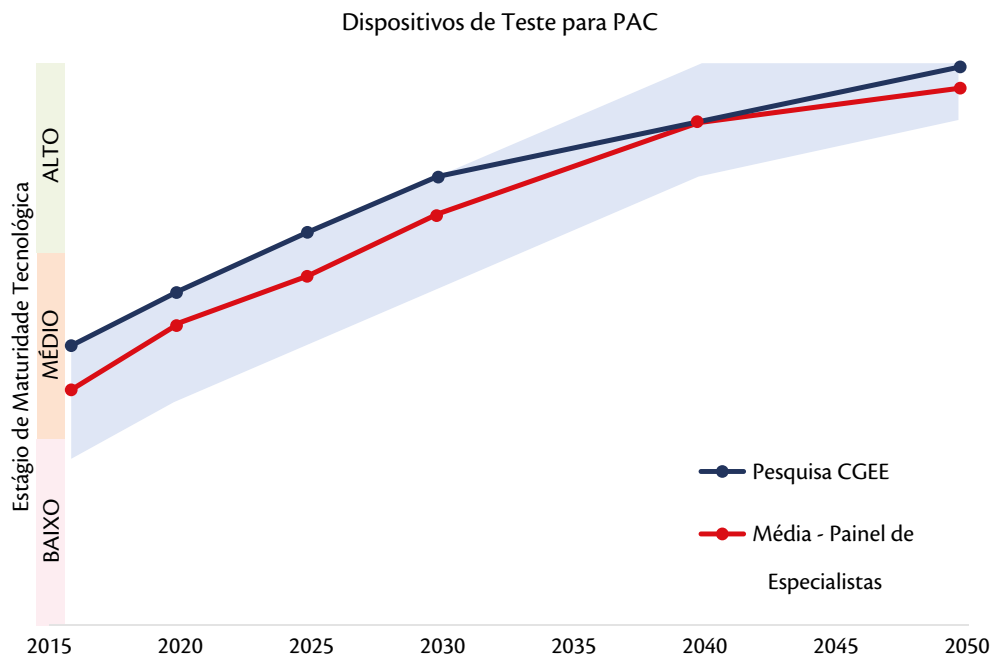


Gráfico 82 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos de teste para PAC

Fonte: Elaboração própria.

Rota 10 - Indicadores de circuito em falta

Uma vez que os Indicadores de Circuito em Falta (ICF) são dispositivos simples, porém indispensáveis para complementar a localização de faltas transitórias na redução do DEC e não são ainda produzidos no Brasil, não há entraves aparentes para sua evolução tecnológica inicial como dispositivos primários *standalone*. O advento de GD, VPP e MR é um grande estímulo para que os ICF passem a se comunicar com a subestação de distribuição e com quaisquer centros de operação, viabilizando a localização de faltas transitórias em modo remoto, em analogia com o mesmo processo em serviço no sistema de transmissão, há mais de duas décadas.

Enfatiza-se ainda que a criação de um processo estatístico de desempenho da proteção contribuirá para ressaltar os benefícios dos ICFs, bem como para indicar onde mais precisam ser instalados, e os procedimentos de PAC da distribuição deverão sempre destacar os requisitos dos indicadores de circuito em falta. Nesse contexto propõe-se a evolução de maturidade tecnológica da Gráfico 83.

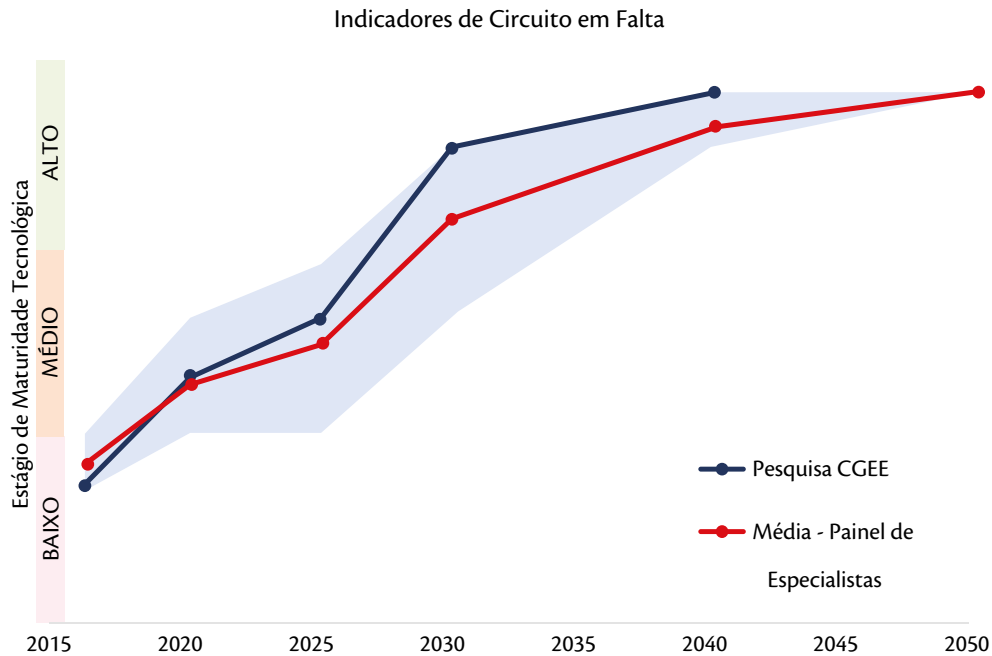


Gráfico 83 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de indicadores de circuito em falta

Fonte: Elaboração própria.

A dispersão observada acima sugere que ainda não há convergência sobre o momento adequado (ou previsto) para os ICFs passarem a se comunicar com as subestações de distribuição. Por serem dispositivos de desenvolvimento relativamente simples, os ICFs não ensejam o tipo de desafio capaz de estimular um esforço de PD&I no âmbito da Academia. Provavelmente, vai-se atingir melhor resultado por meio de uma empresa que se disponha a atacar este tema.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 40 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de sensores, atuadores e dispositivos de teste para redes de distribuição

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Sensores, Atuadores e Dispositivos de Teste para Redes de Distribuição	Sensores e Atuadores para Automação da Rede de Distribuição	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRÉ-Brasil	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das empresas de distribuição	Necessária avaliação do nível de integração	Possível risco de descompasso com o avanço internacional		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Dispositivos de Teste para PAC	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; experiência do Comitê de Estudos B5 - Proteção e Automação (CE B5) do CIGRÉ-Brasil; experiência da cadeia produtiva nacional neste setor; desenvolvimento de equipamentos preconizados pelas demais rotas desta macrotemática	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das empresas de distribuição; experiência da cadeia produtiva nacional neste setor; desenvolvimento de equipamentos preconizados pelas demais rotas desta macrotemática	Necessária avaliação do nível de integração; desenvolvimento de equipamentos preconizados pelas demais rotas desta macrotemática.	Possível risco de descompasso com o avanço internacional; desenvolvimento de equipamentos preconizados pelas demais rotas desta macrotemática.		
		Maturidade	MÉDIO	ALTO				



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Sensores, Atuadores e Dispositivos de Teste para Redes de Distribuição	Indicadores de Circuito em Falta	Fatores portadores de futuro	Objetivos devem ser claramente definidos, de maneira que entidades distintas assumam partes complementares e haja PD&I para toda a rota; necessário maior interesse por parte dos centros acadêmicos	Interesse por parte das empresas da cadeia produtiva em fabricar e comercializar os resultados do projeto e das empresas de distribuição	Necessária avaliação do nível de integração	Possível risco de descompasso com o avanço internacional		
			Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

9.4 Priorização

Neste item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática **Infraestrutura de Proteção, Automação e Controle**. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados, em consideração, a visão de futuro da macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, crescentemente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **10**, pois são **dez** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira rodada, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda rodada, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 41.

Tabela 41 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática de infraestrutura de proteção, automação e controle

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Dispositivos e funções de PAC para Geração Distribuída (GD), <i>Virtual Power Plants</i> (VPP) e Microrredes (MR)	Influência de Geração Distribuída (GD), <i>Virtual Power Plants</i> (VPP) e Microrredes (MR)
2	Funções e protótipos de proteção	Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC)
3	Funções e protótipos de localização de faltas	Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC)
4	Funções e protótipos de medição instantânea, controle e automação	Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC)
5	Funções e protótipos de registro digital de perturbações	Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC)
6	Indicadores de circuito em falta	Sensores, Atuadores e Dispositivos de Teste
7	Dispositivos de teste para PAC	Sensores, Atuadores e Dispositivos de Teste
8	Funções e protótipos de medição da qualidade da energia – qualímetro	Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC)
9	Sensores e atuadores para automação da rede de distribuição	Sensores, Atuadores e Dispositivos de Teste
10	Funções complementares de IEDs	Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC)

Fonte: Elaboração própria.

Explana-se, a seguir, o porquê da prioridade adotada:

Prioridade 1 - Dispositivos e funções de PAC para Geração Distribuída (GD), *Virtual Power Plants* (VPP) e Microrredes (MR)

A rota de dispositivos e funções de PAC para GD, VPP e MR foi granjeada com a prioridade máxima pelo seu compromisso de prover recursos de proteção, automação e controle para as citadas aplicações, onde nem as rotas da temática dispositivos de PAC para redes de distribuição nem os produtos disponíveis no mercado forem capazes de atender plenamente aos novos requisitos demandados pela introdução de Geração Distribuída, *Virtual Power Plants* e Microrredes nas Redes de Distribuição do Brasil.



É importante ter em mente que os dispositivos e funções de PAC para GD, VPP e MR nada mais serão do que *Intelligent Electronic Devices* (IEDs), cujo conteúdo são as rotas da temática dispositivos de PAC para redes de distribuição, porém para aplicações convencionais. Tudo o que for desenvolvido para GD, VPP e MR servirá de arcabouço para a Temática 1.

Prioridade 2 - Funções e protótipos de proteção

A rota de funções e protótipos de proteção logra de alta prioridade porque a expectativa de ocorrência de grandes desafios específicos de inovação e ampliação de horizontes reside sempre nos recursos necessários à eliminação seletiva de curtos-circuitos e outros defeitos inerentes aos componentes das futuras redes de distribuição.

Por exemplo, o esforço de PD&I sobre a linha de pesquisa de proteção diferencial longitudinal para linhas aéreas e subterrâneas de distribuição e para transformadores abaixadores abrigados permitirá a eliminação rápida de curtos-circuitos internos independentemente da evolução em termos de GR, VPP e MR.

Prioridade 3 - Funções e protótipos de localização de faltas

Tendo havido menção a curtos-circuitos internos em linhas aéreas e subterrâneas de distribuição, é natural que a rota de funções e protótipos de localização de faltas receba a prioridade 3, porque a proteção de linhas e esta rota são intimamente ligadas na melhoria do desempenho em termos de DEC e FEC.

Basta lembrar que a localização de faltas transitórias e a proteção de distância para linhas têm a mesma origem histórica, mas a primeira só pôde ser eficientemente desenvolvida depois do advento da tecnologia digital na Ciência de PAC.

Prioridade 4 - Funções e protótipos de medição instantânea, controle e automação

Tendo em mente os requisitos básicos para a composição de IEDs de redes de distribuição (temática de dispositivos de PAC para redes de distribuição), as prioridades 2 e 3 englobam a essência da detecção e localização de faltas. Assim, a rota de funções e protótipos de medição instantânea, controle e automação assume o nível seguinte de priorização, pois é o meio de prover recursos para a operação da rede de distribuição por acessos local e remoto, bem como por viabilizar a implementação de automatismos de toda sorte.

Prioridade 5 - Funções e protótipos de registro digital de perturbações

Como quinta prioridade, surge a rota de funções e protótipos de registro digital de perturbações para viabilizar análises acuradas de perturbações, para que se possa colocar em prática o processo estatístico de desempenho da proteção, conforme preconizado nos indicadores do futuro em termos do cenário ambiental e social. Neste contexto, objetiva-se também evoluir com as lições aprendidas nos blecautes.

Os esforços de PD&I que receberam prioridades mais relevantes que este de nível 5 serão facilitados por receber realimentação de eventos reais na forma de registros de sequência de eventos e de formas de onda de tensões e correntes. Estes recursos permitem analisar em profundidade eventuais problemas encontrados, dentre os quais não se pode afastar a possibilidade de concepção inadequada de dispositivos e funções oriundos das três temáticas que constituem a infraestrutura de PAC da distribuição.

Prioridade 6 - Indicadores de circuito em falta

As rotas que receberam prioridades 6 a 10 não são menos importantes para a infraestrutura de PAC da distribuição. Mas são aquelas que se beneficiam dos avanços de PD&I nas rotas mais prioritárias, como é precisamente o caso dos indicadores de circuito em falta.

Sua missão precípua de cooperar com a localização de faltas numa rede de distribuição com muitas derivações, com reflexos altamente positivos sobre o DEC, justifica plenamente ser considerada como prioridade 6.

Prioridade 7 - Dispositivos de teste para PAC

Todas as funções, protótipos, sensores e atuadores contemplados neste capítulo precisam ser submetidos a testes nas mais variadas circunstâncias. Portanto os dispositivos de teste para PAC estão enquadrados como sétima prioridade.

Prioridade 8 - Funções e protótipos de medição da qualidade da energia - qualímetro

Os qualímetros estão em prioridade 8 devido à capacidade dos Registradores Digitais de Perturbações (RDPS) e da medição instantânea (por intermédio de seu histórico local) cumprirem razoavelmente a missão de viabilizar a medição da qualidade da energia.



Prioridade 9 - Sensores e atuadores para automação da rede de distribuição

Conforme exposto anteriormente tais sensores e atuadores serão objeto de PD&I apenas nas situações em que a automação convencional e os atuadores convencionais (disjuntores e *load switches* - chaves para interrupção de correntes de carga) não forem qualitativamente suficientes para atender aos crescentes requisitos de automação da rede de distribuição. Razão pela qual esta rota ficou na penúltima prioridade.

Prioridade 10 - Funções complementares de IEDs

Não se trata de um paradoxo a rota de funções complementares de IEDs haver recebido a última prioridade, visto que dela depende o funcionamento de IEDs e sensores mais específicos. Esta classificação é estratégica porque a implementação de protótipos de sete das nove demais rotas desta macrotemática demanda uma ou mais linhas de pesquisa classificadas como funções complementares, conforme listado a seguir:

- Desenvolvimento de recursos de comunicação com níveis hierárquicos superiores (SAGE e IEC 61850).
- Desenvolvimento de funcionalidades referentes à segurança cibernética.
- Desenvolvimento de funções de transformação de dados em informações de alto valor agregado para os Sistemas de Supervisão e Controle (SSCs).
- Desenvolvimento para viabilizar a migração do cenário de uso de canais dedicados de comunicação (qualidade de performance garantida) para o uso de canais compartilhados (estabelecimento de parâmetros de atraso, perdas, vazão, etc.).
- Desenvolvimento de funções e dispositivos de proteção para os eletropostos em caso de emprego de veículos elétricos como fonte emergencial de energia.

Assim, conclui-se que as funções complementares só estão em última prioridade como conjunto de linhas de pesquisa.



Capítulo 10



Capítulo 10

Macrotemática mobilidade elétrica

Os veículos elétricos (VE) - elemento chave para a mobilidade elétrica - são definidos como veículos equipados de motores elétricos e baterias, e estas podem ser carregadas a partir da rede de distribuição, dividindo-se em Veículos Elétricos puros à Bateria (VEB) ou Veículos Elétricos Híbridos *Plug-in*¹³ (VEHP). Por utilizarem a energia elétrica como insumo para a operação dos sistemas de propulsão, VEs estão intrinsecamente relacionados ao setor elétrico, mais especificamente aos segmentos de geração e de distribuição de energia, decorrendo daí a relevância desta macrotemática, que tratará fundamentalmente dos aspectos associados ao fornecimento de energia elétrica para os veículos e a integração destes com a operação da rede elétrica.

Para tanto, são consideradas questões tecnológicas, regulatórias, normativas e mercadológicas associadas às infraestruturas de carregamento, que atenderão às demandas dos veículos nos vários casos de uso, seja em residências, no uso cotidiano, em emergências, em viagens, no uso corporativo, seja na prestação de serviços de táxi, locação, *carsharing* e transporte público. Desta forma, VEs são tratados como uma nova carga para sistema elétrico, com perfil de carga diferenciado e comportamento móvel, trazendo assim desafios no tratamento dos impactos na rede elétrica, na otimização do uso da rede de distribuição e na regulação, proporcionando também oportunidades para novos negócios.

Para endereçar estes desafios e oportunidades na forma de PD&Is, foram definidas as temáticas descritas a seguir e representadas no diagrama da Figura 47:

13 Veículos que possuem um motor a combustão operando em conjunto com o motor elétrico.

Integração de veículos elétricos à rede de distribuição

Esta temática aborda os aspectos relacionados à conexão dos veículos elétricos à rede de distribuição, contemplando as funcionalidades de recarga das baterias, de forma convencional por fio e sem fio, e a transferência de energia das baterias à rede elétrica com o veículo operando em modo *Vehicle to Grid* (V2G). Para tanto, são tratados os aspectos tecnológicos, normativos e regulatórios associados a essas infraestruturas nos diversos ambientes de conexão dos VEs à rede elétrica, tais como residências, locais urbanos de acesso público e rodovias. A temática considera também sistemas de medição específicos para VEs e mecanismos inteligentes para otimização do uso da rede elétrica no atendimento à demanda por recarga.

Inserção de veículos elétricos

Esta temática trata dos impactos da inserção dos veículos elétricos na frota circulante nacional. Os assuntos abordados contemplam os impactos técnicos, que podem afetar a qualidade do serviço de fornecimento de energia, e impactos de natureza comercial associados a novos empreendimentos baseados na mobilidade elétrica e com implicações para o setor de distribuição.

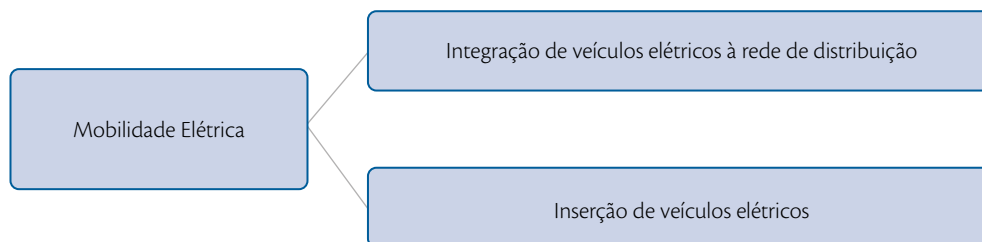


Figura 47 - Temáticas de mobilidade elétrica

Fonte: Elaboração própria.



10.1 Visão de futuro

10.1.1 Cenário setorial

A adoção de veículos elétricos (VEs) leves em substituição aos convencionais a combustão tem se expandido de forma sistemática nos principais mercados mundiais (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016), particularmente nos Estados Unidos, na China e em diversos países europeus. Tal adoção faz parte de um conceito mais amplo conhecido como mobilidade elétrica, a qual envolve também a eletrificação de outros meios de transporte. Via de regra, a decisão pela aquisição de um veículo elétrico tem sido estimulada por incentivos públicos que visam reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEEs), compromisso assumido por vários países na conferência do clima da ONU¹⁴ em 2016, e por pressões locais para redução das emissões de poluentes em áreas metropolitanas. Dessa forma, VEs podem ter um papel significativo nas ações de contenção das mudanças climáticas e de melhoria da qualidade de vida nas grandes cidades. Destaca-se que, por utilizarem a eletricidade como fonte de energia, VEs estão intrinsecamente ligados ao setor elétrico, particularmente à geração e distribuição, decorrendo daí sua importância para este projeto de prospecção tecnológica.

Entretanto, para que os benefícios dos VEs se convertam efetivamente na redução dos GEEs, a matriz de geração de energia elétrica deve ter uma participação significativa de fontes com baixo nível de emissões de CO₂. Assim, mercados fortemente dependentes, por exemplo, da geração térmica a carvão mineral podem não se mostrar propícios para a disseminação de veículos elétricos. Neste sentido, é igualmente importante o uso de fontes renováveis, como a solar, eólica e biomassa, para viabilizar e até potencializar os benefícios dos VEs.

Em relação a este aspecto, o Brasil se encontra em posição privilegiada devido à elevada participação das fontes hídrica, eólica e biomassa na nossa matriz energética, que, segundo dados do Banco de Informações de Geração da Aneel, totalizam cerca de 75% da capacidade instalada. Para os próximos anos, levantamentos de mercado preveem a expansão da geração hídrica até os limites do potencial inventariado, da ordem de 172 GW, no período entre 2030 a 2040. Além disso, o crescimento das fontes eólicas *onshore* deve se manter nos próximos anos, consolidando ainda mais a participação dessa fonte na nossa matriz. Já em relação à fonte solar, são previstos investimentos em grandes centrais fotovoltaicas do presente momento até 2030, seguido de um forte crescimento da mini e micro geração distribuída. Tal cenário aponta, portanto um baixo nível de carbonização da matriz elétrica

¹⁴ Conference of Parties - COP 21, realizada em dezembro/2015 em Paris.

brasileira, tornando, sob este critério, o Brasil um ambiente bastante propício ao desenvolvimento da mobilidade elétrica.

10.1.2 Objetivo geral

Considerando o cenário descrito, esta macrotemática tem como objetivo o planejamento e a preparação do setor de distribuição de energia elétrica brasileiro para a entrada de soluções de mobilidade elétrica assim como preparação das modificações que ocorrerão no perfil de consumo de energia elétrica. Com esse propósito, deverá fomentar 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.

Destaca-se, também, a necessidade de um arcabouço regulatório e comercial para criar um ambiente propício à disseminação da mobilidade elétrica para indivíduos, empresas e o setor público. Dessa forma, pode-se racionalizar a exploração de novos modelos de negócio proporcionados pela mobilidade elétrica, tais como o uso de veículos elétricos em frotas comerciais e o reaproveitamento das baterias em aplicações de armazenamento para o setor elétrico.

Assim, as iniciativas de P&D deverão endereçar os desafios inerentes ao desenvolvimento do mercado de veículos elétricos no Brasil no que se refere aos aspectos atinentes ao setor de distribuição de energia elétrica, contribuindo para seu fortalecimento.

10.1.3 Objetivo específico

Para suportar o objetivo geral apresentado na seção anterior, é necessário, portanto, que se desenvolvam programas de P&DI que enderecem as questões de natureza normativa, regulatória e tecnológica e preparem o setor de distribuição de energia para a gradual inserção da mobilidade elétrica, tornando o país um ativo protagonista nessa transformação tecnológica. Para tanto, são objetivos específicos desta macrotemática desenvolver:



Curto prazo (2017-2020):

- normas e certificações para conectores, protocolos de recarga e comunicação e para instalação em ambientes privados e públicos;
- pilotos e padrões elétricos e construtivos para sistemas de recarga em residências, prédios e ambientes corporativos;
- pilotos e padrões técnicos de sistema de recarga para veículos de grande porte utilizados no transporte público;
- experiências e pilotos de VEs em modelos de negócio tradicionais e inovadores, tais como: serviços de táxi, locação, *carsharing*, etc.

Médio prazo (2020-2030):

- pilotos e padrões técnicos de sistemas de recarga pública com suporte ao carregamento rápido em modo CC e CA, em linha com mercados desenvolvidos;
- sistemas de recarga para residências e ambientes corporativos com suporte às tarifas horárias ofertadas aos consumidores;
- caracterização dos impactos na rede elétrica e definição da estratégia de mitigação;
- sistemas de medição de energia e adequações nas tarifas de energia para contemplar o perfil de carga dos VEs.

Longo prazo (2030-2050):

- planejamento para a entrada de infraestrutura de recarga em larga escala para ambientes públicos e rodovias;
- sistemas de recarga inteligente com controle integrado à rede de distribuição - protocolos, sistemas de controle, ferramentas de análise e pilotos;
- sistemas de controle, protocolos e ferramentas de análise, pilotos para fornecimento da energia das baterias à rede (V2G);

- técnicas de avaliação do estado de baterias, processos para reutilização e modelamento do negócio, com vistas a permitir a segunda vida das baterias em aplicações do setor elétrico;
- pilotos e padrões técnicos de sistemas de recarga sem fio, com padronização de transdutores, protótipos, e instalações em vias públicas e pontos de conveniência.

10.1.4 Fundamentação

O objetivo geral e os objetivos específicos apresentados, bem como a estruturação das temáticas e rotas tecnológicas associadas a esta macrotemática, foram definidos levando-se em consideração as barreiras que precisam ser vencidas para levar em âmbito nacional: este novo mercado à maturidade; o papel da infraestrutura de recarga no desenvolvimento da mobilidade elétrica; os possíveis impactos na rede elétrica e suas estratégias de mitigação. A seguir, discorre-se sobre tais pontos, ressaltando a relevância dos estudos, objetivos e rotas tecnológicas apontadas neste projeto para estes aspectos.

Barreiras à adoção de veículos elétricos

A justificativa dos objetivos identificados para esta macrotemática está intimamente relacionada às principais barreiras à disseminação dos veículos elétricos. Sua importância decorre do fato de algumas delas originarem trajetórias tecnológicas que deverão ser contempladas na visão de futuro, e por consequência, nas temáticas e rotas de desenvolvimento tecnológico. Dentre os entraves identificados, destacam-se, por exemplo, questões associadas ao custo e à capacidade das baterias de lítio e à infraestrutura de recarga de acesso público e privado.

Assim, é necessário avaliar as questões de natureza econômica decorrentes do maior preço de aquisição dos VEs em comparação aos convencionais. Esta barreira se manifesta de forma mais intensa nos momentos iniciais do mercado em que a oferta é substancialmente pequena, e VEs são tratados como produtos de nicho. Com preços elevados, VEs tendem a ser preteridos em favor de similares a combustão, uma vez que o *premium*, valor adicional pago em relação a um veículo convencional equivalente, pode ser proibitivo para muitos interessados. Para endereçar esta barreira, governos em mercados desenvolvidos têm implantado programas de incentivo por meio de créditos para compensação de impostos estaduais e federais (MCKINSEY&COMPANY, s.d; EVVOLUMES, 2016), além de outros benefícios não financeiros.



Por outro lado, a elevada eficiência e a simplicidade do sistema de propulsão elétrica contribuem para diminuir o custo das manutenções periódicas, tornando-as também menos frequentes. Aliado às tendências de redução do preço de aquisição dos VEs, estes aspectos possibilitam uma gradual redução do custo total de propriedade (TCO¹⁵) entre o momento de aquisição e a venda do veículo como usado. Como consequência, o *premium* tende a ser gradativamente reduzido, aumentando assim a competitividade da mobilidade elétrica. Decorre daí a importância dos avanços tecnológicos nos sistemas de propulsão elétrica dos VEs, em particular dos sistemas de armazenamento de energia.

Outra barreira importante é a baixa autonomia dos VEs operando em modo elétrico puro¹⁶ quando comparada a dos veículos à combustão. Atualmente, a maior parte dos modelos tem autonomia na faixa entre 140 a 200 km, como é o caso do Nissan Leaf equipado com bateria de 30 kWh, existindo poucas opções, como o Model S da Tesla, com autonomia acima de 350 km. Embora uma autonomia de 200 km seja suficiente para o uso cotidiano em ambiente urbano, um VE com estas características não se mostra adequado para viagens ou longos deslocamentos devido à necessidade de recargas frequentes. No entanto pesquisas na tecnologia de baterias preveem progressos expressivos no aumento da densidade de armazenamento de energia, o que permitirá construir baterias de maior capacidade, posicionando assim os futuros veículos elétricos no mesmo patamar de autonomia dos veículos a combustão.

Ainda relacionado com a autonomia dos veículos, cabe analisar um sentimento experimentado pelos primeiros adotantes, que é conhecido como *range anxiety*, ou o receio de não encontrar um ponto de recarga de acesso público quando o nível da bateria atinge um nível crítico. De modo geral, o *range anxiety* é decorrente de uma infraestrutura de recarga pública deficiente, que não cumpre o seu papel de transmitir confiança aos usuários na nova tecnologia, acabando por inibir a adoção de VEs. Muito embora o seu efeito não tenha sido ainda precisamente mensurado, há um consenso geral sobre a importância de uma infraestrutura de recarga abrangente como forma de minimizar suas influências no processo de desenvolvimento da mobilidade elétrica (NAS, s.d).

Neste sentido, cabe destacar que, além de viabilizar a recarga de baterias nos diversos ambientes de acesso público, a infraestrutura de recarga deve contemplar também o ambiente residencial, aquele preferencialmente utilizado devido à conveniência de uso e ao menor custo da energia. Há, no entanto,

15 Total Cost of Ownership

16 No caso dos VEHPs.

desafios associados à instalação dos equipamentos e dos sistemas de medição em condomínios verticais e outros espaços de uso compartilhado que devem ser tratados por frentes de pesquisa.

Por fim, é fundamental considerar o *roadmap* tecnológico associado à infraestrutura de recarga. Tópicos como recarga sem fio em pontos de conveniência e rodovias soam como futuristas, mas representam as próximas fronteiras a serem estudadas e precisam ser endereçados pelas rotas tecnológicas. Outra questão importante é o uso das baterias dos VEs para fornecimento de energia à rede, uma funcionalidade que deverá impor novos requisitos às estações de recarga.

Infraestrutura de recarga de veículos elétricos

A operação de recarga das baterias dos VEs difere significativamente do abastecimento de combustíveis líquidos em veículos a combustão devido a dois fatores: o tempo necessário para completar a operação e os ambientes em que a recarga pode ser realizada, que apresentam uma diversidade muito maior do que a encontrada nas redes de postos combustíveis tradicionais. A análise desses fatores permite listar vários aspectos a serem considerados na formulação das temáticas e rotas de desenvolvimento tecnológico, como detalhado a seguir.

Aspectos referentes ao tempo de recarga das baterias

Diversos fatores afetam o tempo de recarga das baterias, sendo o principal deles a potência disponibilizada pelos pontos de recarga (eletropostos¹⁷) conectados à rede de distribuição de energia elétrica. Os demais fatores são intrínsecos aos veículos e estão relacionados à potência máxima de carregamento suportada pelo veículo e a própria capacidade da bateria. Pela perspectiva do veículo, a recarga pode ser realizada tanto em corrente contínua (CC) ou alternada (CA), dependendo da configuração do sistema elétrico existente no veículo.

Os modos CC ou CA se distinguem pela localização do conversor CA/CC que transforma a tensão alternada da rede elétrica na tensão contínua que vai alimentar o processo de recarga das baterias. No caso da recarga em CA, o conversor está no próprio veículo, o que de certa forma tende a limitar a potência máxima de carregamento. Por outro lado, na recarga em CC, o conversor está localizado no eletroposto, o que simplifica o sistema elétrico dos veículos e torna esta opção a mais comum para recargas em alta potência.

17 Eletropostos são também conhecidos como EVSE (Electric Vehicle Service Equipment).



As recargas podem ser classificadas em relação ao tempo necessário para realizar a operação ou à máxima potência disponibilizada no eletroposto, não existindo uma terminologia comum utilizada por todos os mercados. Em termos de potência, foi adotada a classificação mostrada na Tabela 42, utilizada na consulta pública da Aneel sobre a prestação comercial dos serviços de recarga pública (DENATRAN, 2016) e derivada de estudos da Eurelectric.

Tabela 42 - Classificação dos modos de recarga em relação potência do eletroposto

Potência Nominal	Conexão	Potência (KW)	Corrente (A)	Recarga (alcance/hora)	Instalação
Normal	Monofásica	> 3,7	10 - 16	> 20 km (8h carga total)	Doméstica
Média	Mono/Trifásica	3,7 - 22	16 - 32	20 - 110 km (2-8h carga total)	Locais Públicos
Alta	Trifásica	> 22	> 32	> 110 km (2h carga total)	Locais Públicos
Alta	Corrente Contínua	> 22	> 32	> 110 km (2h carga total)	Locais Públicos

Fonte: Aneel, 2017

Por outro lado, os Estados Unidos adotam três níveis de potência para os eletropostos, conforme indicado na Tabela 43. Os níveis *Level 1* e *Level 2* correspondem aproximadamente às potências normal e média na terminologia europeia, enquanto o *Level 3 / DC Fast* corresponde à potência alta. Note que, no mercado americano, potências altas operam unicamente em corrente contínua.

Tabela 43 - Classificação dos modos de recarga nos Estados Unidos

Nível	Potência (kW)	Tempo de Recarga	Kms / hora de carga
Level 1	3,7	Lento	3 a 8 km por hora de carga
Level 2	7,2 - 22	Intermediário	30 a 60 km por hora de carga
Level 3 / DC Fast	> 40kW (DC)	Rápido	80 a 125 km em 20 minutos de carga

Fonte: a partir de dados do Alternative Fuels Data Center (AFDC-USA)

Como potência e tempo de recarga estão relacionados, foram adotados os termos *Recarga Lenta* para os sistemas que operam na potência Normal e *Level 1* até 3,7 kW; *Recarga Intermediária* para as potências *Médias* e *Level 2* entre 7,2 e 22 kW; *Recarga Rápida* para as potências Alta e *Level 3/ DC Fast*, operando acima de 40 kW. O número de km por período de carga está indicado na última coluna da Tabela 45. No modo rápido, em potências acima de 40kW, a carga de até 80% da capacidade da bateria poderia ocorrer entre 20 a 30 minutos, tornando esta opção a mais adequada para viagens ou situações em que o tempo de espera seja um fator crítico.

Devido à competitividade dos veículos elétricos estar vinculada ao aumento da capacidade das baterias, há uma relação forte entre os avanços na tecnologia de baterias e os que se farão necessários na infraestrutura de recarga para manter, e até mesmo reduzir os atuais patamares de duração das operações. Para tanto, serão necessários equipamentos que operem em potências ainda mais elevadas que as atuais, impondo assim requisitos adicionais à rede elétrica e aos sistemas de gerenciamento de demanda.

Aspectos referentes aos ambientes de recarga das baterias

A conveniência de uso e o menor custo do kWh residencial em comparação às alternativas de acesso público certamente tornarão a recarga em residências a opção preferencial para muitos usuários. Contribui para isto o fato de os veículos passarem a maior parte do tempo estacionados em espaços de garagem de uso exclusivo ou compartilhado, principalmente durante a noite, um período de bastante interesse para as distribuidoras devido à baixa demanda por energia. Por razões análogas, VEs de uso corporativo terão provavelmente suas baterias carregadas preferencialmente em eletropostos de acesso privado localizados nas próprias dependências das empresas. Desta forma, será possível aproveitar os contratos de fornecimento de energia já estabelecidos com as distribuidoras de energia e efetuar as operações de recarga a preços competitivos, viabilizando ainda mais a transição para a mobilidade elétrica.



No entanto, quando distante desses ambientes e com baterias em nível criticamente baixo, a alternativa para recarga é a infraestrutura de acesso público formada por estações distribuídas pelas áreas urbanas das cidades e rodovias. Equipadas com um ou mais eletropostos de potências diversas, estas estações diferem significativamente da estrutura da rede de postos de abastecimento de combustível líquido. Via de regra, os eletropostos podem ser instalados em lugares tão diversos quanto estacionamentos, shoppings, lojas de conveniência, aeroportos, vias públicas e rodovias.

A escolha da potência dos eletropostos é o fator principal para caracterizar o tipo de recarga suportada, se lenta, intermediária ou rápida. Em geral, esta escolha leva em consideração o ambiente onde serão instalados os equipamentos. Em rodovias, por exemplo, o tempo de espera é um fator crítico. Assim, este ambiente tende a requerer eletropostos para recarga rápida. Por outro lado, ambientes como estacionamentos em aeroportos e shopping centers podem ser atendidos com outros tipos de eletropostos.

Alguns estudos, apontam que o ambiente de recarga predominante é o residencial (NAS, s.d), fruto da conveniência de uso e do menor custo relativo da recarga em comparação às opções de acesso público. Neste caso, a potência dos eletropostos fica na faixa entre 3,6 a 7,2 kW, com custos de aquisição e instalação de inteira responsabilidade do proprietário do veículo. A instalação é geralmente simples, necessitando de circuitos elétricos dedicados, semelhantes aos utilizados para os chuveiros elétricos. Entretanto, há necessidade de soluções específicas para prédios e outros locais em que os espaços de garagens sejam de uso compartilhado, tanto para a instalação elétrica quanto para o sistema de medição. Pela perspectiva da rede de distribuição, seria ideal a realização da recarga nos horários fora da ponta, o que torna os veículos elétricos uma carga bastante interessante para o uso da tarifação horária, o que minimizaria os impactos na rede elétrica.

Ainda conforme NAS, (s.d), o segundo ambiente mais predominante nas operações de recarga compreenderia os locais de trabalho (*workplaces*), que atuam como complemento à recarga residencial, estimulando assim um maior uso dos veículos elétricos. Como o tempo necessário para recarga pode ser longo e se estende por parte do dia, este ambiente não se mostra, em princípio, propício ao uso da tarifação horária. Entretanto, para evitar picos na curva de demanda, sistemas de recarga integrados à rede de distribuição serão certamente necessários em instalações com muitos carregadores.

Na sequência, tem-se o ambiente urbano das cidades (*intracity*). Neste caso, o acesso é público, e os eletropostos estão usualmente distribuídos em pontos estratégicos das cidades, permitindo que a recarga seja efetuada enquanto os usuários estão ocupados com os afazeres do dia a dia. Dependendo do local de instalação dos equipamentos, que podem ser shoppings, estacionamentos, aeroportos e outros lugares públicos, as recargas podem ser lentas ou de duração intermediária. Importante notar

que equipamentos para recarga rápida podem também ser instalados em pontos estratégicos no ambiente *intracity*, dando uma contribuição adicional para minimizar o sentimento de *range anxiety*.

Por fim, encontram-se os ambientes utilizados em viagens intermunicipais e interestaduais, em que o tempo disponível para recarga é crítico. Neste caso são utilizados preferencialmente eletropostos de potência alta operando em CC ou CA.

De modo geral, espera-se que os avanços tecnológicos na tecnologia de baterias, na infraestrutura de recarga sem fio e na operação do veículo em modo V2G alterem a configuração desses ambientes, o que torna esses aspectos fundamentais para o delineamento das rotas de desenvolvimento tecnológico.

Padronização dos sistemas de recargas

Os sistemas de recarga das baterias estão sujeitos à padronização e processos de certificação e homologação. Estes itens, por sua vez, estão invariavelmente ligados aos padrões de conexão dos sistemas de recarga de veículos aos eletropostos e aos protocolos de comunicação utilizados. Atualmente, há uma grande diversidade de opções, provavelmente ocasionada pela forma descentralizada, que caracterizou o desenvolvimento do mercado de veículos elétricos a partir de 2010, com alguns fabricantes, isoladamente ou em consórcios, promovendo soluções específicas que acabaram por se disseminar no mercado.

Uma iniciativa importante de padronização tem sido conduzida pela aliança *Charging Interface Initiative ev*¹⁸, cuja missão é desenvolver o padrão CCS (*Combined Charging System*) para cargas em modos CA e CC em baixa e alta potência. O objetivo da aliança é desenvolver um conjunto de padrões que atendam a todos os cenários de recarga em nível global. Importante notar que o padrão CCS está em contínua evolução por conta dos avanços tecnológicos na infraestrutura de recarga, o que torna os aspectos de padronização fundamentais para a estruturação das ações de pesquisa e desenvolvimento.

Impactos na rede elétrica

Pelo lado da distribuição, VEs se comportam como uma nova carga de perfil bastante específico. Em termos de consumo de energia, um VE corresponde a uma unidade consumidora (UC) de consumo médio próximo a 240 kWh¹⁹. Há diferenças, contudo, no padrão da curva de carga representativa do carregamento das baterias, uma vez que a operação de recarga pode durar de 30 minutos a

¹⁸ www.charinev.org

¹⁹ Correspondente a uma quilometragem de 1.200 km/mês e autonomia de 5 km/kWh.



várias horas, dependendo da potência do carregador, da capacidade da bateria e do ambiente em que é realizada. Com uma maior inserção de VEs, a simultaneidade das recargas pode gerar picos de demanda que precisarão ser tratados pelos sistemas de distribuição, além de impactos na qualidade da energia fornecida. Ademais, é necessário considerar futuros cenários em que a recarga seja feita conforme a disponibilidade do sistema de distribuição de energia, ou em que o VE atue como um fornecedor de energia à rede. Assim, tópicos relacionados à evolução da infraestrutura de recarga pública e privada, às implicações com o sistema de distribuição de energia elétrica e ao *roadmap* tecnológico assumem papéis-chave neste trabalho de prospecção tecnológica.

Cabe indicar, também, que o surgimento dos VEs irá impulsionar novos modelos de negócio baseados na mobilidade elétrica, muitas vezes motivado pelo apelo ecológico da nova motorização. Dentre eles, pode-se citar frotas corporativas, serviços de táxi, transporte urbano de massa, *carsharing*, etc. Um ponto comum a esses modelos é que as implantações comerciais deverão utilizar, em algum nível, infraestruturas de recarga próprias cujas forma de operação, padrão de carga, interações e impactos com a rede elétrica também precisam ser estudados.

Por fim, destaca-se que, apesar de contar com um mercado ainda incipiente - em sua totalidade, a frota de VEs no Brasil é de 403 unidades²⁰ -, o Brasil vem se desenvolvendo nesta área e já conta com pilotos em projetos de pesquisa sobre a mobilidade elétrica, a exemplo de: P&D Aneel PA0060 'Mobilidade Elétrica - Emotive'(PROJETO EMOTIVE, s.d), conduzido pela CPFL e institutos de pesquisa na região de Campinas-SP; o P&D Aneel sobre o uso de VEs em aplicações de *carsharing* (PROJETO COELCE, s.d), conduzido pela COELCE e parceiros na cidade de Fortaleza-CE. Tais projetos indicam que há interesse de mercado, mas se observa que, por um lado, o crescimento da frota pode vir a impactar a rede, e, por outro, o país pode demonstrar que tem a capacidade de alcançar os objetivos e o desenvolvimento prospectado.

20 Valor apurado a partir das informações da frota nacional de veículos, referentes a outubro de 2016.

10.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessária para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo). Assim, é exposto um panorama geral da mobilidade elétrica, contemplando os avanços tecnológicos, os motivadores à adoção e as barreiras que precisam ser vencidas para construir em âmbito nacional uma trajetória que leve este novo mercado à maturidade.

Segundo a consultoria *evvolumes* (2016), as vendas de veículos elétricos em 2016 totalizaram 773.600 unidades, representando um crescimento de 42% em relação a 2015 (EVVOLUMES, 2016). Estes dados mostram a força deste novo mercado, que tem apresentado um crescimento consistente nos últimos três anos. Embora ainda seja considerado um nicho, as montadoras já começam a ofertar produtos mais acessíveis em vários países, o que deve contribuir para o aumento das vendas e da inserção desses veículos ao longo dos próximos anos.

Ainda segundo a *evvolumes*, a frota global ao final de 2016 passou de 2 milhões de unidades - este número ainda é pouco em termos mundiais, algo em torno de 0,86% do total de veículos leves. Contudo a tendência é de crescimento acentuado para os próximos anos devido aos incentivos de programas governamentais, aos avanços tecnológicos - em particular ao aumento da capacidade das baterias e à redução do custo de armazenamento - e ao aumento da oferta de modelos VEBs e VEHPs pelas montadoras, que devem se refletir numa contínua redução dos custos de aquisição.

Em relação às baterias de lítio, as quais equipam a grande maioria dos VEs, cabe citar estudos internacionais sobre a evolução tecnológica deste componente (ELECTREK, 2017). Considerando as informações técnicas de novos modelos introduzidos recentemente no mercado, aponta-se para uma possível redução de custos dos sistemas de baterias para cerca de 100 USD/kWh até 2020, mais acelerada do que a redução anteriormente estimada pelo Departamento de Energia Norte Americano (DOE U.S, 2017) - de 125 USD/kWh em 2022. Esse rápido avanço tende a contribuir para uma inserção mais rápida dos VEs, em especial os VEBs, na frota circulante, dado que as baterias correspondem a uma parcela significativa dos custos de fabricação.



A conjuntura mundial pode influenciar o mercado nacional, acelerando seu crescimento devido ao desenvolvimento tecnológico alcançado. Não obstante o cenário nacional se encontra ainda bastante embrionário. A oferta comercial se limita a dois modelos de VEBs (i3 da BMW²¹ e E6 da BYD²²), e dois modelos VEHP, (*outlander* da Mitsubishi²³ e i8 da BMW²⁴). Há, contudo, presença de veículos de outras marcas, como a Renault, ligados a projetos pilotos em desenvolvimento. Em termos de evolução de mercado, previsões da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017) indicam uma inserção inicial de veículos elétricos híbridos, seguida por ofertas de veículos elétricos puros em escala comercial ampla, com início em 2025, contemplando também mercados de nicho e aplicações especiais de veículos elétricos, tais como serviços de *carsharing*, locação, frotas corporativas e transporte público.

Para avaliar a expectativa de demanda de veículos elétricos em âmbito nacional e a capacidade do parque fabril nacional no sentido de viabilizar sua produção, foram definidos três indicadores no âmbito de indústria e mercado. Esses indicadores se aplicam a todas as rotas tecnológicas, uma vez que a introdução dos veículos elétricos será o fator demandante das correspondentes tecnologias. Para o *nível de demanda de VEs, no mercado nacional*, conforme estudo da EPE (2017), espera-se que a demanda seja irrisória até 2025, a partir de então, há uma aceleração da inserção de VEs até 2050, quando será elevada. Quanto ao *nível de demanda de VEs, no mercado internacional*, considerando a trajetória de vendas de veículos plug-ins no mundo (EVIOLUMES, 2016), estima-se que a demanda seja elevada já em 2030. Por fim, a *disponibilidade de produtos nacionais associados à mobilidade elétrica* avalia a expectativa de disponibilidade de produção nacional de veículos elétricos e/ou partes/componentes.

A padronização de equipamentos e conectores, necessários ao acoplamento dos veículos elétricos com a rede de distribuição de energia elétrica, por sua vez, deverá ocorrer tendo em vista às necessidades do mercado nacional, ao processo de padronização em curso nos mercados internacionais e à expectativa de evolução da mobilidade elétrica (conforme Cenário Setorial Geral, que consta na publicação “Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico Brasileiro”). Considerando o cenário prospectado, esperam-se investimentos e desenvolvimentos fabris nacionais para os veículos elétricos a partir de 2025.

Assim, tendo em vista esse mercado, em relação à estratégia setorial, destaca-se que o arcabouço regulatório do setor elétrico brasileiro certamente precisará de adaptações para atender os cenários

21 Disponível em: <<http://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/i3/2013/at-a-glance.html>>. Acesso em: maio 2017.

22 Disponível em: <<http://www.byd.com/la/auto/pt/e6.html>>. Acesso em: maio 2017.

23 Disponível em: <<http://revistaautoesporte.globo.com/Analises/noticia/2014/09/primeira-volta-avaliamos-o-hibrido-mitsubishi-outlander-phev.html>>. Acesso em: maio 2017.

24 Disponível em: <<http://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/i8/2014/at-a-glance.html>>. Acesso em: maio 2017.

futuros advindos da introdução dos veículos elétricos. Atualmente não é possível a comercialização de energia elétrica para unidades móveis, e a atividade de revenda de energia elétrica é uma exclusiva das distribuidoras. Este é um aspecto que já vem sendo trabalhado pela Aneel em audiências públicas e deverá moldar a forma de organização do mercado.

Além disso, mudanças na forma de tarifação, tais como a tarifação horária e, em função do estado de carregamento da rede, poderão minimizar a incidência de picos de consumo, gerando benefícios para o planejamento de expansão da rede e otimização de investimentos, aspectos que devem também ser influenciados pela adoção da mobilidade elétrica. Isto é, a utilização dos veículos elétricos exigirá a revisão dos modelos normativos de distribuição de energia elétrica, visando permitir o fornecimento tarifado de energia em locais públicos e a possibilidade de oferecer alternativas tarifárias para estimular a recarga do veículo fora dos horários de ponta e/ou para mitigar a ocorrência de sobrecargas da rede elétrica. Apesar de que a expectativa, vide Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), seja de que a forte difusão dos veículos elétricos ocorra apenas após 2025, medidas de curto prazo deverão ser adotadas para corrigir distorções nas regras para os serviços de recarga pública. Posteriormente, medidas adicionais serão necessárias a médio prazo para pavimentar o desenvolvimento da mobilidade móvel. Por fim, cabe destacar que a mobilidade elétrica possibilitará a distribuição de um maior volume de energia, o qual representará novas receitas para a distribuição. São estabelecidas como metas a serem desenvolvidas até:

- 2020, normas e regulamentos básicos para implantação de infraestrutura de recarga pública e privada;
- 2025, normas e regulamentos para o suporte à tarifação diferenciada aplicável em VEs;
- 2030, normas e regulamentos para o suporte à recarga inteligente e modo V2G.

Outro aspecto ligado à regulamentação ocorre em nível municipal e poderá afetar a dinâmica da introdução da mobilidade elétrica: o Programa de Controle de Poluentes dos Transportes (PCPV, 2017) como o que já existe na cidade de São Paulo. Entre outros aspectos, esses programas compreendem ações de prevenção e controle de caráter ambiental a fim de assegurar melhorias e aumento da eficiência nos sistemas de transporte coletivo e de carga, melhoria da qualidade do ar e redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa (GEE) e de ruído, causados pelo tráfego de veículos. Ações deste tipo podem impulsionar um desenvolvimento mais acelerado do mercado.

Desta forma, espera-se que novos modelos de negócios baseados na mobilidade elétrica se desenvolvam paulatinamente, proporcionando novas oportunidades para as distribuidoras de energia elétrica e as empresas do setor de serviços, tais como frotistas, provedores de recarga pública, operadores de



carsharing e locação de veículos, etc. Entre as iniciativas já em curso de novos serviços e/ou negócios relacionados à mobilidade elétrica, pode-se citar: serviço de táxi com veículo elétrico²⁵, ônibus elétricos com baterias em circulação no serviço de transporte público urbano²⁶ e oferta de *carsharing*²⁷.

Em relação ao aspecto socioambiental, a utilização dos veículos elétricos favorecerá a substituição de combustíveis fósseis, como gasolina e diesel. Esse processo já vem ocorrendo com a introdução dos biocombustíveis e poderá se intensificar pela inserção dos veículos elétricos, aliados à promoção de uma matriz energética a partir de fontes renováveis, como a hidrelétrica, fotovoltaica, eólica e biomassa. Dessa forma, conforme as premissas do Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), a participação dos biocombustíveis na frota de veículos continuará relevante e a inserção dos veículos elétricos iniciará um processo da substituição de demanda por combustíveis fósseis pela demanda de energia elétrica.

Além do cenário geral da macrotemática, essa conjuntura afetará diretamente as rotas de infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio, infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio e novos negócios decorrentes da mobilidade elétrica. A expectativa no cenário geral é de que num primeiro momento, a redução do uso de combustíveis fósseis se intensifique no setor de transporte público, com a entrada de ônibus elétricos para o transporte urbano. Posteriormente, em função da maior inserção dos veículos elétricos leves e médios a partir de 2030, conforme o estudo do EPE (2017), a redução passa a ocorrer também nesse segmento de veículos.

Quanto às políticas públicas, observa-se, no cenário internacional, que a utilização dos veículos elétricos, considerando seu maior preço em relação aos veículos com motores a combustão interna, vem sendo incentivada em vários locais. Países europeus (Noruega, Reino Unido, Alemanha), China e alguns estados dos EUA incentivam a adoção de veículos elétricos com o propósito de viabilizar a entrada dessa nova tecnologia no mercado e com o objetivo fim de reduzir as emissões veiculares entre elas e os GEEs.

25 Campinas é a primeira cidade do País a ter táxis elétricos na frota. 22/Mai/2015. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/noticias-integra.php?id=27014>>. Acessado em 19/Fev/2017.

26 Disponível: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/11/onibus-eletrico-e-testado-na-regiao-metropolitana-de-sao-paulo.html>>. Acesso em 19/Fev/2017.

27 Disponível em: <http://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/vida-urbana/2014/12/2015/interna_vidaurbana,549257/sistema-de-compartilhamento-de-carros-ja-em-teste-no-recife.shtml>. Acessado em 19/Fev/2017.

Em grande parte desses países, os incentivos são oferecidos ao consumidor sobre a forma de um bônus para a aquisição de um veículo elétrico. Também existem incentivos não financeiros, como a circulação irrestrita nas regiões centrais das cidades e/ou a livre utilização de faixas exclusivas para o transporte público para os veículos que não emitam poluentes.

Ouro aspecto importante é a disponibilização da infraestrutura para recarga pública dos veículos elétricos, a qual se compara ao paradigma do “ovo e a galinha”. No momento inicial, há poucos veículos elétricos, há pouca demanda para o carregamento público e não há atratividade econômica para sua oferta. A não existência de suporte a recarga pública, por sua vez, inibe fortemente a entrada desses veículos no mercado e, conseqüentemente, não haverá interesse econômico para a oferta de infraestrutura para recarga pública. Portanto há necessidade de que existam políticas e incentivos governamentais para que a infraestrutura mínima de recarga pública de veículos elétricos seja estabelecida.

No entanto, conforme o Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), a matriz de energia elétrica brasileira é limpa, o que fará com que o Brasil não tenha, em curto prazo, o mesmo nível de exigências de outros países com alta emissão de GEE na matriz. Nessa conjuntura, a tendência de incentivos governamentais às novas fontes energéticas será a de minimizar subsídios visando prevalecer a racionalidade econômica.

Para o setor de veículos, a conjuntura também não difere em termos qualitativos. O Brasil detém uma grande frota de veículos leves com tecnologia Flex, a qual permite o abastecimento com álcool hidratado, que é considerado um combustível limpo em termos de GEE. Portanto a perspectiva nesse setor também será de que políticas e/ou incentivos nacionais para a mobilidade elétrica somente ocorreriam em médio e longo prazo, mas sem aporte financeiro para incentivar à adesão de veículos elétricos.

Quanto à conscientização da contribuição da mobilidade elétrica à causa de dano ambiental, é notório que esta tem alcançado a pauta de preocupação de diferentes setores da sociedade, inclusive nos meios de comunicação e em debate político. A sociedade já tem conhecimento dos danos causados pela emissão de poluentes, efeito estufa e impactos climáticos e por isso, gradativamente o tema tem se tornado alvo de maior preocupação. No entanto as demandas sobre consumo de produtos ainda são pouco influenciadas pelos aspectos ambientais. Uma parcela da população escolhe produtos sustentáveis no momento da aquisição do veículo, porém o aspecto econômico geralmente prevalece na decisão da escolha e, assim, adquire-se o veículo de melhor preço, que não corresponde aos veículos elétricos. Destarte, para o cenário geral, assume-se que a preocupação ambiental continuará a aumentar na sociedade a longo prazo. Todavia tais preocupações começarão a se refletir nas demandas, em especial para os veículos elétricos e fontes de energia renováveis, somente a partir de 2030.



Considerando o impacto nas emissões de CO₂ e nas emissões controladas no setor de transporte, as metas de redução devem ocorrer nas aplicações de transporte urbano a partir de 2025 e na redução nas emissões referentes aos veículos leves e médios de 2030 a 2050.

Tais objetivos foram definidos devido à perspectiva de introdução mais forte dos veículos elétricos a partir de 2025 e à expectativa de que os serviços de mobilidade elétrica se desenvolvam primeiro, notadamente, nos relacionados ao transporte público urbano. Por fim, as métricas referentes à distribuição de RH, ao desenvolvimento de prestadores de serviços relacionados à mobilidade elétrica, à produção de CT&I e à estrutura de CT&I são apresentadas no anexo.

Dado o cenário supracitado, apresentam-se a seguir os objetivos referentes à evolução tecnológica, isto é, as métricas estreitamente relacionadas ao que se espera alcançar como resultado do investimento em PD&I.

Implantação da infraestrutura de carregamento pública

O indicador refere-se à disponibilidade de infraestrutura de recarga pública para os veículos elétricos. A ausência dessa infraestrutura constitui uma importante barreira de entrada para os veículos elétricos e afeta a ansiedade dos usuários quanto ao temor de ficarem sem a possibilidade de recarregar o veículo em trajetos com maior deslocamento que o habitual.

Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- sistemas para recarga de veículos elétricos;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio;
- infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G);
- prevenção de impactos na rede elétrica.

Para o cenário geral, foram utilizados critérios de importância e de dimensão dos municípios para a expansão da localização da infraestrutura de recarga de veículos elétricos. Dessa forma, até o ano 2025, conforme a perspectiva de difusão dos veículos elétricos no Brasil, apresentada no estudo Demanda de Energia 2050 da EPE (2017), a quantidade de veículos será muito reduzida. Porém a infraestrutura de recarga pública deverá ser preparada com antecipação para minimizar o efeito do *range anxiety*, devendo já estar com uma cobertura mínima nos maiores municípios brasileiros, requisito para o

estabelecimento da meta a ser atingida pelos municípios com mais de 1 milhão de habitantes até o ano 2020 e, posteriormente, até 2025, nos municípios de maior relevância econômica e social.

Após 2025, com a elevação da frota de veículos elétricos, existirão locais cuja demanda por carregamento atinjam níveis mais elevados. Essa tendência paulatinamente se estenderá para outras regiões, que em 2030 estabelecerá como meta a oferta de serviços de recargas, em condições de concorrência de mercado, nos municípios de maior relevância econômica e social. Posteriormente, para 2050, a oferta de serviços de recargas deverá estar presente em todos os municípios brasileiros.

Desta forma, são definidas para o cenário geral as seguintes metas:

- 2020 - infraestrutura mínima em municípios com mais de 1 milhão de habitantes;
- 2025 - infraestrutura mínima em municípios com alto desenvolvimento econômico e social;
- 2030 - concorrência de oferta de serviços de recarga em municípios com alto desenvolvimento econômico e social;
- 2050 - concorrência de oferta de serviços de recarga em todas as cidades brasileiras.

Implantação da infraestrutura de carregamento em ambiente residencial, corporativo e aplicações comerciais privadas

Esse indicador está relacionado à possibilidade de os usuários de veículos elétricos, pessoas físicas ou jurídicas, em poder efetuar o carregamento do veículo na residência ou em locais de trabalho. A recarga do veículo é feita através de equipamentos denominados eletropostos, instalados nesses locais, com a finalidade de utilização pessoal ou restrita.

A criticidade dessa infraestrutura é originada pelo fato de ser a forma preferida dos usuários de veículos elétricos, tanto pelo aspecto de comodidade quanto pelo custo da energia elétrica. Em ambientes de condomínios - comerciais, residenciais, dispostos horizontalmente ou em edificações verticais-, poderão ocorrer dificuldades na instalação dos eletropostos. Isso será um problema ainda maior na fase inicial de difusão do veículo elétrico em edificações não projetadas para essa finalidade.



Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- sistemas para recarga de veículos elétricos;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio;
- infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G);
- prevenção de impactos na rede elétrica.

Para o cenário geral, são abordadas as questões de admissibilidade da infraestrutura de recarga em ambientes privados e de opções de utilização que incentivem os usuários a um padrão de uso que reduza a probabilidade de ocorrência de impactos na rede elétrica. Dentre essas opções, estariam medidas de incentivo à recarga em horários fora de ponta e aos sistemas de recarga com controle integrado à rede, também designados como sistemas inteligentes, que permitiriam escalonar o carregamento e/ou reduzir a potência conforme o estado de carregamento da rede de distribuição.

Como solução mais sofisticada para evitar problemas na rede, também poderia ocorrer a transferência de energia das baterias dos veículos (V2G) para a rede elétrica. Isso contribuiria ainda mais para uma maior robustez do sistema em situações transitórias de grande severidade e também como opção de gestão da demanda.

Dessa forma, apresentam-se as seguintes metas para a infraestrutura de carregamento em ambiente residencial ou corporativo:

- 2020 - disponibilidade de infraestrutura para recarga de veículos elétricos em casas, condomínios verticais, ambiente corporativo e aplicações comerciais privadas;
- 2025 - disponibilidade de opções que incentivem o carregamento de VEs fora dos horários de ponta em residências, condomínios, ambiente corporativo e aplicações comerciais privadas;
- 2030 - integração da infraestrutura de recarga residencial (casas, condomínios verticais, ambiente corporativo e aplicações comerciais privadas) com a rede de distribuição;
- 2050 - disponibilidade de opções que permitam a transferência da energia das baterias para a rede elétrica (V2G) a partir do ambiente residencial, ambiente corporativo e aplicações comerciais privadas.

As soluções de infraestrutura de recarga mais avançadas - controle integrado à rede de distribuição e à transferência da energia das baterias para a rede (V2G) - exigem mais esforço de pesquisa, desenvolvimento e investimentos na rede, e além disso, o alcance de seus benefícios ocorreriam somente quando houvesse elevada inserção de veículos elétricos. Por esse motivo, suas metas serão associadas somente a partir de 2030, uma vez que a perspectiva de difusão dos veículos elétricos no Brasil, apresentada pela EPE, será relevante apenas após esse ano.

Utilização das baterias dos veículos elétricos no sistema de distribuição

Este indicador tem objetivo de acompanhar o desenvolvimento e a implantação de sistemas que aproveitem as baterias de veículos elétricos, parcialmente degradadas, para utilização na rede de distribuição de energia elétrica. É a chamada *second life* da bateria, na qual se faz outra destinação funcional.

Para que o reaproveitamento das baterias possa ocorrer, há necessidade de uma inserção de veículos elétricos em quantidade suficiente para suprir essa segunda destinação.

Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- sistemas para recarga de veículos elétricos;
- baterias e sistemas de armazenamento de energia;
- prevenção de impactos na rede elétrica.

A expectativa, no cenário geral, é de que somente a médio e longo prazo, a partir de 2030, haja baterias retiradas de veículos elétricos, em quantidade mínima, para os primeiros protótipos de sistemas de armazenamento. Isso decorre da baixa inserção de veículos elétricos prevista até 2030, conforme os dados do Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”). Os itens a seguir descrevem as metas estabelecidas para o cenário geral:

- 2030 - disponibilidade das primeiras baterias de veículos elétricos para uma segunda aplicação;
- 2050 - disponibilização comercial de baterias de veículos elétricos para uma segunda aplicação;
- impactos dos novos negócios baseados na mobilidade elétrica no setor de distribuição de energia elétrica.



Este indicador tem por objetivo, acompanhar o desenvolvimento e a implantação de novos negócios baseados na mobilidade elétrica e na perspectiva do setor de distribuição de energia elétrica.

Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- aplicações da mobilidade elétrica;
- prevenção de impactos na rede elétrica.

A expectativa, no cenário geral, é de que haja um processo de continuidade no surgimento de aplicações e modelos de negócios relacionados à mobilidade elétrica. Nessa conjuntura, será exigido o acompanhamento das distribuidoras de energia elétrica e dos agentes reguladores, para atuarem, caso necessário, modernizando o marco regulatório no sentido de viabilizar e/ou remover barreiras a esse novo mercado.

Os itens a seguir descrevem as metas estabelecidas para o cenário geral:

- 2020 - primeiras experiências de novos modelos de negócios de serviços, com base na mobilidade elétrica;
- 2025 - disseminação das aplicações da mobilidade elétrica em cidades com mais de um milhão de habitantes, em setores como *carsharing*, transporte urbano, frotas corporativas, etc.
- 2030 - disseminação das aplicações da mobilidade elétrica em municípios relevantes (social e econômico), em setores como *carsharing*, transporte urbano, frotas corporativas, etc.
- 2050 - disseminação das aplicações da mobilidade elétrica na maior parte das cidades brasileiras, em setores como *carsharing*, transporte urbano, frotas corporativas, etc.

Desenvolvimento de equipamentos nacionais

Esse indicador refere-se ao desenvolvimento de uma cadeia nacional para produção de equipamentos voltados à infraestrutura de recarga de veículos elétricos e aos sistemas de armazenamento de energia com baterias reutilizadas (*second life*), provenientes dos veículos elétricos.

Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- sistemas para recarga de veículos elétricos;
- baterias e sistemas de armazenamento de energia;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio;
- infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G).

Para o cenário geral, com base na projeção de licenciamentos de veículos realizada pela EPE (2017), a qual se iniciará com relevância apenas após de 2025. Até essa data, as demandas de infraestrutura de recarga privada serão reduzidas. Ainda assim, haverá necessidade de que a infraestrutura pública mínima seja desenvolvida de forma paulatina no território nacional.

Desta forma, a expectativa no cenário geral é de que, num primeiro momento, a demanda por equipamentos para provimento de infraestrutura de recarga seja majoritariamente de origem externa. Assim, devem-se estabelecer os primeiros elementos de uma cadeia produtiva nacional que se consolidará gradualmente com a incorporação de uma maior parcela de elementos nacionais.

No que se refere aos sistemas de armazenamento com baterias reutilizadas de veículos elétricos, sua consolidação com a cadeia produtiva ocorrerá apenas após 2030.

Os itens a seguir descrevem as metas estabelecidas para o cenário geral:

- 2020 - estabelecimento da cadeia produtiva nacional de equipamentos de recarga de VEs;
- 2025 / 2030 / 2050 – aumento do portfólio de componentes fabricados no Brasil, comparado ao período anterior.

Entrada de sistemas de microgeração fotovoltaico

Este indicador tem objetivo de acompanhar o desenvolvimento da microgeração distribuída e seus possíveis inter-relacionamentos com as rotas tecnológicas de veículos elétricos.

Tais tecnologias permitirão o ingresso de energia diretamente na rede de distribuição. Atualmente, essa energia injetada é pequena e a probabilidade de que haja algum impacto na rede elétrica não é significativa. Porém, com as tendências de expansões desses sistemas e o ingresso substancial de



energia na rede, poderão surgir impactos nas redes aos quais as distribuidoras deverão estar atentas e com isso se planejem adequadamente.

Paralelamente, o ingresso de veículos elétricos introduzirá uma nova demanda energética, que, ao longo do tempo, poderá ser tornar muito relevante, à medida que sua inserção nas residências e/ou empresas aumente.

Essa nova demanda de energia proporcionada pelos veículos elétricos, nos sistemas atualmente disponíveis, comporta-se como uma carga *standalone*, em que o usuário aciona da melhor forma que lhe convém. Porém, quando os sistemas de recarga com controle integrado à rede de distribuição estiverem operacionais, a demanda poderá se comportar de forma flexível: aumentando ou reduzindo a potência de carregamento, ou interrompendo temporariamente o processo de carregamento.

Tais sistemas com controle integrados poderão estar logicamente interligados aos sistemas de microgeração distribuída, permitindo que uma maior potência de carregamento seja aplicada, quando houver sobra de energia ou redução de potência nas situações de intermitência provocadas pela baixa da incidência solar, em sistemas fotovoltaicos, por exemplo.

Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- baterias e sistemas de armazenamento de energia;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio;
- prevenção de impactos na rede elétrica.

A expectativa, no cenário geral, é de que a inclusão dos sistemas de microgeração distribuída se eleve gradualmente durante o horizonte temporal até 2050. Os itens a seguir descrevem as metas estabelecidas para o cenário geral:

- 2020 - baixa entrada;
- 2025 - entrada intermediária, mas com baixa demanda para recarga de VEs;
- 2030 - entrada significativa, energia adicional pode ser incentivada para recargas de VEs;
- 2050 - entrada forte, com impactos potenciais à rede e pode ser incentivada para recargas de VEs.

Embora haja introdução relevante de sistemas de microgeração distribuída a partir de 2020, a frota de veículos elétricos prevista, na cenarização, será muito pequena, devendo se iniciar apenas em 2025. Dessa forma, em curto prazo, haverá pouca possibilidade de aproveitamento da energia adicionada pelos sistemas de microgeração para a recarga de veículos. Apenas em médio e longo prazo, a partir do ano 2030, haverá uma frota de veículos elétricos em quantidade suficiente para operar com cargas flexíveis, de modo a viabilizar a sinergia com os sistemas de microgeração distribuída. Por conseguinte, em 2050 o benefício mútuo entre os dois sistemas estará efetivo.

Entrada de sistemas de medição avançada de energia

Este indicador tem por objetivo de acompanhar o desenvolvimento dos sistemas de medição avançada e sua aplicação como suporte a diferentes possibilidades de aplicação de tarifa diferenciada para a recarga dos veículos elétricos.

A tarifação diferenciada é um importante indutor para uma maior racionalização das formas de carregamento dos veículos elétricos. Inicialmente, além da tarifação tradicional aplicada aos consumidores de baixa tensão residencial, poderão ser disponibilizadas tarifas especiais para incentivar a recarga em horários fora da ponta.

Posteriormente, em um cenário de massificação dos veículos elétricos, esse tipo de tarifação poderá ser insuficiente e formas mais sofisticadas de recarga poderão ser desenvolvidas. Nessa situação, poderão existir tarifas flexíveis, que levem em conta o carregamento da rede e/ou a disponibilidade energética dos sistemas de microgeração, para atuação conjunta com as infraestruturas de recarga com controle integrado e com V2G.

Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio;
- infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G);
- prevenção de impactos na rede elétrica

A expectativa, no cenário geral, é de que a introdução dos sistemas de medição avançada se eleve gradualmente, durante o horizonte temporal, até 2050. Porém a efetividade das soluções para suportar a infraestrutura de recarga dos veículos evoluirá em função da elevação e inserção dos veículos elétricos



e da entrada em operação dos modos de carregamentos mais sofisticados, com a incorporação de controle integrado e posteriormente o suporte a V2G.

Os itens a seguir descrevem as metas estabelecidas para o cenário geral:

- 2020 - baixa entrada;
- 2025 - entrada intermediária, com uso de tarifação horária para VEs;
- 2030 - entrada intermediária, com uso de tarifação para VEs horária e diferenciada para controle integrado à rede;
- 2050 - entrada forte, com uso de múltiplas tarifações diferenciadas para recarga de VEs, inclusive para suporte a V2G.

Desenvolvimento de sistemas demandantes de tecnologia de informação para suporte a VEs

Este indicador tem por objetivo acompanhar o desenvolvimento dos sistemas de tecnologia de informação para suporte aos veículos elétricos.

Entre as aplicações e sistemas que demandarão suporte das TICs na rede de distribuição, estão as relacionadas às infraestruturas de recarga de veículos elétricos com controle integrado e sua interação com a medição avançada, os sistemas de microgeração e os sistemas de proteção da rede de distribuição.

Tais aplicações são voltadas à implementação de funcionalidades para elevar o controle sobre a rede de distribuição, a otimização da capacidade da rede e da disponibilidade energética para os veículos elétricos. Tais sistemas poderão atuar no modo de operação da infraestrutura, o qual permitirá o veículo elétrico passar de um comportamento de uma carga simples, operando de forma *standalone*, para uma operação com controle integrado à rede de distribuição ou ainda poderá reduzir sua potência ou interromper o carregamento temporariamente em função da rede de distribuição, como uma carga inteligente. Em um segundo momento, também haverá a possibilidade de transferir a carga de baterias para a rede de distribuição (V2G), para mitigar transientes na rede, permitindo a recuperação rápida de condições operacionais críticas, e também, com propósito de efetuar a gestão de demanda de energia elétrica, permitindo que o veículo elétrico opere como um sistema armazenamento de energia, realizando o carregamento em horários fora de ponta e fornecendo energia à rede nos horários de ponta.

Como consequência da elevação de demanda de energia elétrica proporcionada pelos veículos elétricos, especialmente quando houver concentração de demanda em alguns pontos da rede, deverão ser

desenvolvidos sistemas de gestão de rede com propósito de proteção da rede e de subsídio para a operação com controle integrado dos sistemas de recarga de veículos.

Como suporte a tais funcionalidades, serão necessários desenvolvimentos de novos sistemas e bases de dados, que poderão atender a mais de uma macrotemática e, inclusive, com utilização de infraestruturas comuns para rede NAN, centro de dados, protocolo de aplicação e segurança cibernética.

Esse indicador se aplica às seguintes rotas tecnológicas de veículos elétricos:

- cenário geral;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio;
- infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio;
- infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G);
- prevenção de impactos na rede elétrica.

A expectativa, no cenário geral, é de que o desenvolvimento de sistemas demandantes de tecnologia de informação para suporte aos VEs ocorra já em curto prazo para suportar o desenvolvimento de protótipos e testes pilotos, devendo se estender a longo prazo em acompanhamento ao desenvolvimento tecnológico e suporte à inclusão de novas funcionalidades. Os itens a seguir descrevem as metas estabelecidas para o cenário geral:

- 2020 / 2025 - demanda de TICs para desenvolvimento de protótipos de sistemas de suporte a VEs;
- 2030 / 2050 - demanda de TICs para sistemas de suporte a VEs.

As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas neste estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

10.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.



10.3.1 Temática - Integração de veículos elétricos à rede de distribuição

Esta temática trata das funcionalidades relacionadas à conexão dos veículos elétricos à rede de distribuição, compreendendo a operação de recarga das baterias, na modalidade tradicional, por cabos (*com fio*) e de recarga sem conexão física entre os veículos e os equipamentos carregadores (*sem fio*), e ainda a operação de transferência de energia armazenada nas baterias para a rede de distribuição, conhecida como V2G.

Assim, a temática é composta pelas três rotas apresentadas na Figura 48, as quais abordam os diversos aspectos tecnológicos associados à evolução das infraestruturas de recarga e de suporte ao modo V2G, nos diversos ambientes de utilização. Contemplam o desenvolvimento de sistemas de operação inteligente para um melhor uso da rede elétrica, sistemas de medição específicos para VEs, requisitos de normatização, outros impactos regulatórios, integração com renováveis, mitigação dos impactos na rede elétrica, além da análise da organização do mercado para a exploração comercial dos serviços de recarga e V2G, nos aspectos atinentes ao setor de distribuição.

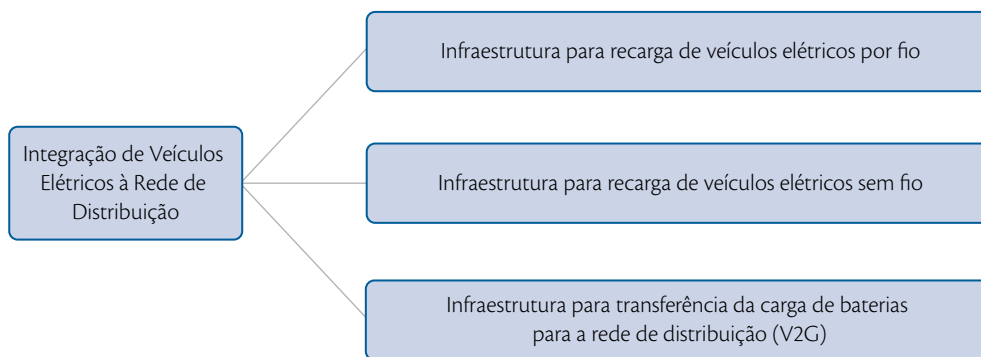


Figura 48 - Temática integração de veículos elétricos à rede de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

A rota de infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio trata dos aspectos sistêmicos, tecnológicos, normativos, regulatórios e comerciais relacionados ao desenvolvimento da infraestrutura de recarga das baterias de veículos elétricos em âmbito nacional e à sua evolução em consonância com o *roadmap* tecnológico de mercados desenvolvidos.

A rota de infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio trata dos aspectos sistêmicos, tecnológicos, normativos, regulatórios e comerciais relacionados ao desenvolvimento de tecnologias para a implantação de sistemas de recarga de baterias de veículos sem conexão física com as estações de recarga.

A rota de infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G) trata dos aspectos sistêmicos, tecnológicos, normativos, regulatórios e comerciais relacionados ao desenvolvimento de tecnologias para a implantação de sistemas de transferência da carga das baterias para a rede de distribuição, com vista a viabilizar o uso de veículos elétricos, equipados com o recurso V2G, como uma fonte de energia distribuída a serviço do sistema de distribuição.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 84 ao Gráfico 86. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Infraestrutura para recargas de veículos por fio

Dentre os meios públicos de carregamento de veículos elétricos, o sistema de recarga por fio deverá ser o predominante no cenário exploratório, até 2050. Essa tecnologia agrupa vantagens quando comparado ao sistema sem fio, como a simplicidade, menor custo, maior eficiência e potencial para escalar a potências de carregamento mais elevadas, além de estar com maior maturidade tecnológica. Assim, para sua evolução, destacam-se alguns aspectos:

Com relação ao setor de distribuição de energia elétrica, o modo de operação da infraestrutura deve ser avaliado: com comportamento de uma carga simples, operando de forma standalone e desintegrada da rede de distribuição; com uma carga inteligente e com controle integrado à rede de distribuição, podendo reduzir sua potência de carregamento e/ou interromper temporariamente em função do estado da rede de distribuição. Até o ano 2025, conforme a perspectiva de difusão dos veículos elétricos no Brasil, apresentada pelo EPE, no estudo Demanda de Energia 2050 (2017), a quantidade desses veículos será muito reduzida e não se justificará introduzir complexidade na infraestrutura de



carregamento, de modo que na fase inicial seu funcionamento será standalone. Em 2025, quando o crescimento da frota de veículos elétricos acelerar, iniciam-se os primeiros pilotos com sistemas com controle integrado, preparando a entrada comercial futura para suportar e preservar a qualidade da rede elétrica em locais com maior concentração de veículos elétricos.

O sistema de recarga de veículos elétricos em ambiente privado - residências, estabelecimentos comerciais e corporativos - deverá ser preferencialmente o mais utilizado, pois une o aspecto de comodidade ao baixo custo da energia elétrica. Assim, a infraestrutura de recarga privada é essencial para o desenvolvimento do mercado de veículos elétricos. Portanto, nessa fase, é fundamental que seja facilitada a instalação de eletropostos em residências, empresas e condomínios, mesmo que operando de forma *standalone*. A partir de 2030, com uma frota maior de veículos elétricos, os sistemas de recarga com controle integrado à rede passarão a trazer benefícios mais significativos ao permitir maior versatilidade no carregamento de veículos e ao minimizar impactos à rede de distribuição.

Em termos quantitativos, os eletropostos para uso privado, em residências e/ou empresas deverão ser os mais numerosos e, em tese, deverão acompanhar a quantidade de veículos elétricos em operação, na razão de um para um. Na maioria das instalações, serão instalados equipamentos com menor potência de carregamento (carga lenta) e com maior simplicidade do que os similares para uso público.

Quanto aos eletropostos de uso público, não existe uma correspondência direta com a quantidade de veículos elétricos. Nos primeiros anos, a infraestrutura de recarga deverá prover uma cobertura mínima ao longo das áreas urbanas e interurbanas, que atenderão a um número pequeno de veículos e com relativa ociosidade. Em uma segunda fase, a infraestrutura passará a crescer na capacidade de atendimento à demanda, reduzindo a ociosidade.

Como verificado pelos itens anteriores, a rota de infraestrutura para recargas de veículos por fio está intrinsicamente relacionada à disponibilização dos eletropostos de acesso público a serem instalados em residências, nos ambientes urbanos comerciais e em rodovias.

Também deverão ocorrer evoluções na capacidade de carregamento e com a maior disseminação de carregadores rápidos e super-rápidos, os quais contribuirão para a diminuição do tempo de carregamento e, conseqüentemente, para o atendimento da demanda de carregamento de um maior número de veículos.

Após 2030, com a elevação gradual da inserção de veículos elétricos, a meta estabelecida prevê que a infraestrutura para recarga por fio com controle integrado na rede de distribuição estará

apta para interoperar com os sistemas de microgeração distribuídos. Desta forma, a demanda de energia dos veículos elétricos poderá se comportar de forma flexível e atuar em função da disponibilidade energética, aumentando ou reduzindo a potência de carregamento ou interrompendo temporariamente o processo de carregamento.

As infraestruturas de recarga de veículos elétricos com controle integrado demandarão suporte das TICs na rede de distribuição. O controle integrado permitirá o veículo elétrico passar de um comportamento de uma carga simples, operando de forma *standalone*, para uma operação com controle integrado à rede de distribuição; podendo reduzir sua potência ou interromper o carregamento temporariamente em função da rede de distribuição, com uma carga inteligente. Assim, serão necessários desenvolvimentos de novos sistemas e bases de dados, que poderão atender a mais de uma macrotemática e, inclusive, com utilização de infraestruturas comuns para rede NAN, centro de dados, protocolo de aplicação e segurança cibernética.

Nesse sentido, espera-se que a evolução desta rota se dê tal qual Gráfico 84:

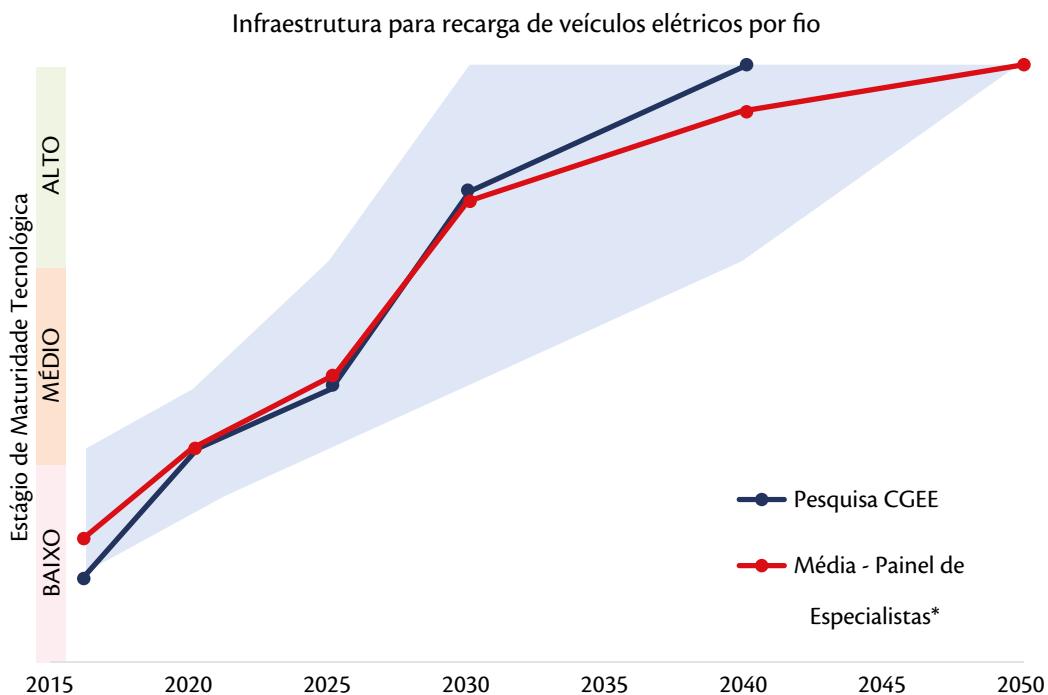


Gráfico 84 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura para recargas de veículos por fio

Fonte: Elaboração própria.



Essa evolução se justifica pelo fato de que:

- os princípios básicos da tecnologia são conhecidos, porém as novas funcionalidades dos eletropostos, operando de forma integrada com sistemas de medição avançados e com os sistemas de operação da distribuição, deverão ser estudadas com antecedência, de forma a estimular a plena disseminação dos veículos elétricos, uma vez que os eletropostos operam atualmente apenas no modo *standalone*, ou seja, sem interação com os sistemas de suporte da operação da distribuição;
- segundo a EPE (2017), a inserção de veículos elétricos deverá ocorrer de forma mais acelerada a partir de 2025 e, somente a partir de 2030, a introdução na frota brasileira começará a ter significância importante. Assim, pilotos e projetos demonstrativos devem acontecer antes destes marcos, contemplando também estudos provenientes de outras áreas, com a prevenção de impacto na rede elétrica e os sistemas de medição avançada de energia. A maturidade tecnológica da rota ocorrerá apenas a partir da existência de uma grande presença de veículos elétricos, provavelmente a partir de 2040.

Na reunião com os especialistas, três das opiniões concordaram com essa perspectiva. Duas delas foram mais otimistas, apontando uma maturidade ocorrendo em 2030, sob a alegação de que, na oferta de serviços e equipamentos de recarga, haveria participação de empresas *startups*, que são, em geral, muito ágeis. Outras duas opiniões foram mais pessimistas e apontaram que a maturidade ocorreria apenas em 2050, considerando que o mercado de veículos elétricos, no Brasil, demoraria muito para se massificar, pois as tecnologias envolvidas são complexas e envolveriam muitos atores. Estes aspectos foram debatidos durante a reunião, tendo sido acordado que a proposição inicial da evolução da maturidade seria a adequada por corresponder à média das opiniões dos presentes.

Rota 2 - Infraestrutura para recargas de veículos sem fio

O sistema de recarga de veículos sem fio ainda está globalmente em estágio experimental. Nos ambientes público (i) e privado (ii), virá atuar em situações de recargas oportunas sob o aspecto de conveniência e provendo facilidades aos usuários, tais como em locais de conveniência e grande circulação e até mesmo em vias públicas, permitindo o carregamento em momentos de imobilidade do veículo ou em estradas por meio de fornecimento contínuo de energia aos veículos (i) e em situações de elevada frequência de utilização, permitindo o carregamento imediato quando o veículo chega à garagem ou estacionamento (ii).

Por se apoiar em tecnologias ainda em fase experimental, a plena disseminação da rota de infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio tende a ocorrer apenas nos estágios finais da massificação dos veículos elétricos. Desta forma, para atingir a maturidade da rota, será necessário que o mercado de veículos elétricos no Brasil esteja consolidado, com grande quantidade de veículos em circulação e avanços tecnológicos significativos. Segundo o EPE (2017), a inclusão na frota brasileira começará a ter significância mais importante a partir de 2030. De forma que a massificação dos veículos elétricos tardaria ainda mais, o que posicionou a maturidade dessa rota apenas em 2050, conforme Gráfico 85. Porém os estudos e testes em projetos pilotos deverão ser efetuados com antecedência.

Infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio

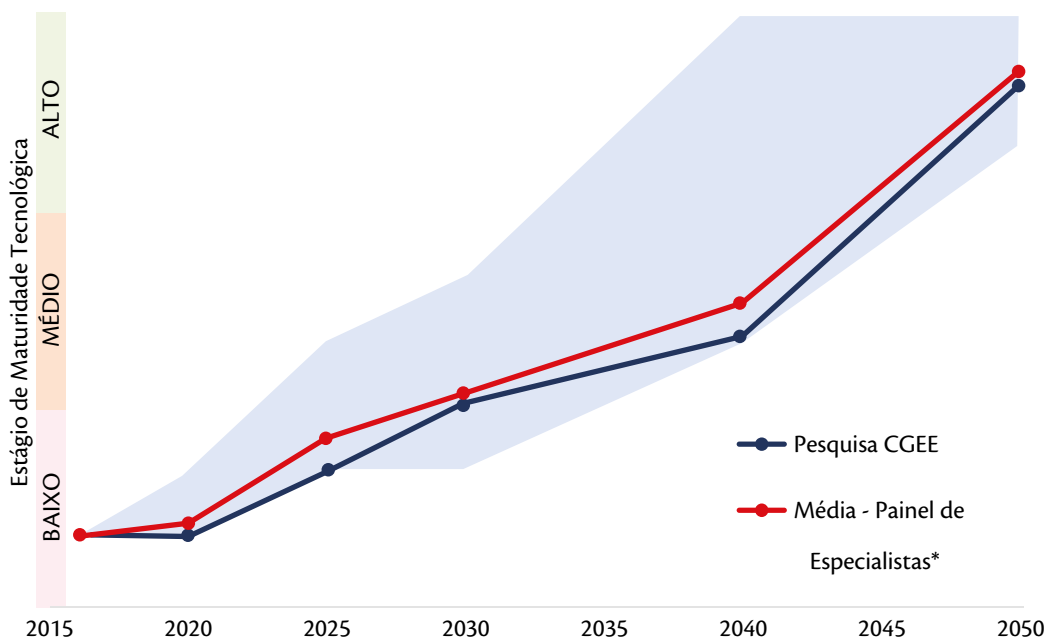


Gráfico 85 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura para recargas de veículos sem fio

Fonte: Elaboração própria.

Na reunião com os especialistas, as opiniões concordaram em sua grande maioria com tal perspectiva. Apenas a visão de um dos especialistas foi mais otimista, para a qual a maturidade já se atingiria em 2040 em função da percepção que a disseminação tecnológica ocorreria mais rapidamente e já existiria uma frota de veículos elétricos suficiente para justificar o uso da tecnologia. Com isto, foi acordado que a proposição inicial da evolução da maturidade era adequada para representar a maturidade da rota.



Rota 3 - Infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G)

O sistema de recarga de veículos com suporte à transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G) é um caso particular de recarga com controle integrado à rede. Embora a tecnologia esteja consolidada em sistemas de armazenamento de energia em baterias, sua aplicação em veículos elétricos ainda se encontra em estágio experimental.

Essa tecnologia poderá ser aplicada em duas condições básicas: a primeira para mitigar transientes na rede de distribuição, permitindo que o veículo elétrico forneça energia até que a rede se recupere da condição de operação crítica; a segunda condição de aplicação é destinada à gestão de demanda de energia elétrica, permitindo que o veículo elétrico opere como um sistema de armazenamento de energia, realizando o carregamento em horários fora de ponta e fornecendo energia à rede nos horários de ponta.

Assim, por se apoiar em técnicas existentes, porém ainda experimentais, para o uso das baterias dos veículos como instrumentos de armazenamento de energia e do uso da estação de recarga para transferência da energia armazenada à rede de distribuição, a rota de infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G) já tem os seus princípios básicos estabelecidos. Sua importância ocorrerá quando houver um mercado massivo de veículos elétricos, de forma que as tecnologias envolvidas poderão auxiliar na prevenção de impactos na rede elétrica e/ou no controle de demanda de energia elétrica por parte dos consumidores.

No desenvolvimento da rota, as técnicas existentes deverão ser aprimoradas e adaptadas às condições da rede elétrica brasileira com antecedência à massificação da frota de veículos elétricos. Para atingir a maturidade da rota, será necessário que o mercado de veículos elétricos no Brasil esteja consolidado e com quantidades abundantes de veículos que possam disponibilizar energia elétrica para a rede. Segundo o EPE (2017), a inclusão na frota brasileira começará a ter significância mais importante a partir de 2030. De forma que a massificação dos veículos elétricos tardaria ainda mais, o que levou a estimação da maturidade da rota apenas para 2050, conforme Gráfico 86.

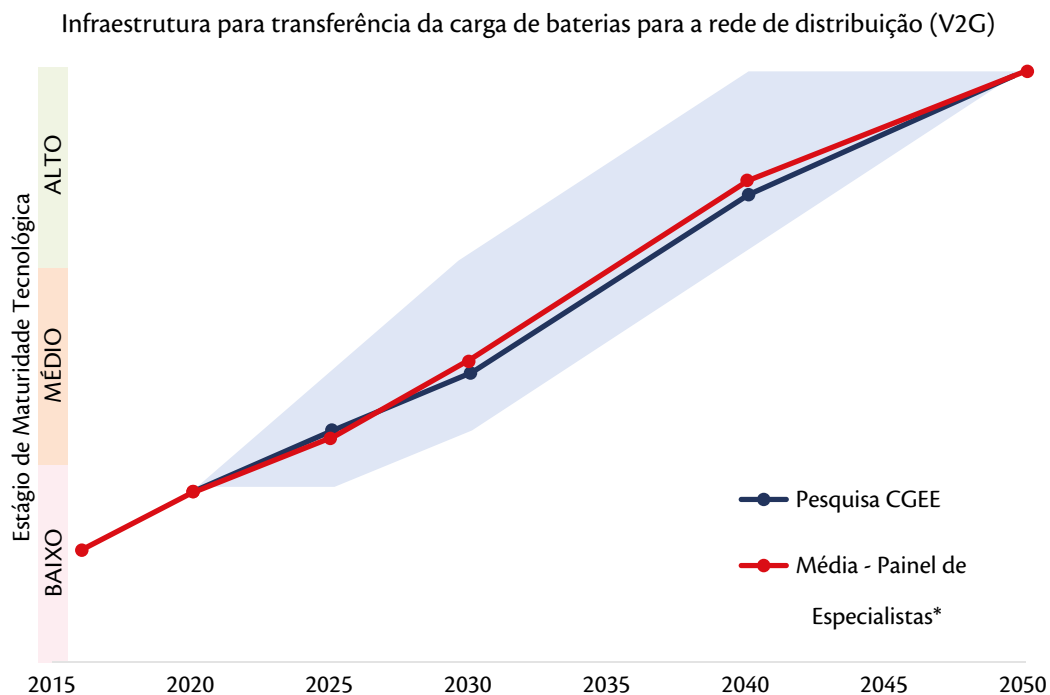


Gráfico 86 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G)

Fonte: Elaboração própria.

Na reunião com os especialistas, todas as opiniões concordaram com essa perspectiva, havendo apenas pequenas variações em etapas intermediárias da evolução tecnológica.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução.



Tabela 44 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática integração de veículos elétricos à rede de distribuição

Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Integração de veículos elétricos à rede de distribuição	Infraestrutura para recarga de veículos elétricos por fio	Fatores portadores de futuro	Desenvolvimento da infraestrutura inicial de carregamento pública com poucos VEs para utilizá-la; infraestrutura de recarga em condomínios verticais; regras definidas para o fornecimento do serviço de recarga de VEs em eletropostos públicos; normas construtivas de edifícios residenciais e corporativos com previsão para a disponibilidade de carregamento de veículos elétricos; nível de demanda do mercado nacional			Disponibilidade de utilização de tarifação horária para recarga de VEs; regras do modelo tarifário horário definidas para recarga de VEs; definição do modelo de gestão de carga de VEs e monitoramento de sobrecarga da rede; definição de padrões brasileiros de sistemas de recarga inteligente			Disponibilidade de utilização de tarifação diferenciada para recarga de VEs operando com controle integrado à rede e/ou em função da demanda de energia		
	Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO							
	Infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio	Fatores portadores de futuro	Nível de demanda no mercado nacional			Pilotos da infraestrutura de carregamento sem fio em ambientes públicos relevantes; pilotos da infraestrutura de carregamento sem fio em ambientes residenciais, ambiente corporativo e aplicações comerciais privadas; suporte de TICs a protótipos de sistemas de recarga sem fio; definição de normas para o interfaceamento dos sistemas de fornecimento de recarga de veículos elétricos sem fio em ambientes residencial e corporativo; estudos regulatórios referentes à utilização da rede recarga de veículos elétricos sem fio			Escala comercial de sistemas para carregamento sem fio em vias públicas, pontos de conveniência e em ambientes residenciais (casas e condomínios verticais, ambiente corporativo e aplicações comerciais privadas); alcance de 20% no portfólio de componentes fabricados no Brasil; recarga de VEs com utilização de tarifas diferenciadas e/ou com controle integrado à rede; suporte de TICs a sistemas em escala comercial de recarga sem fio; aumento de demanda de energia para uso em VEs na infraestrutura de recarga sem fio; regulamentação para a operação comercial da infraestrutura de recarga de veículos elétricos sem fio; definição de padrões de sistemas de recarga sem fio para o Brasil		
	Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		ALTO				

Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Integração de veículos elétricos à rede de distribuição	Infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G)	Fatores portadores de futuro	Nível de demanda no mercado nacional		Definição de normas para o interfaceamento dos sistemas de fornecimento de energia de veículos elétricos para a rede	Pesquisa e desenvolvimento para desenvolvimento de recarga residenciais e corporativa para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição (V2G); estudos regulatórios referentes à remuneração dos usuários de VEs que fornecerão energia à rede de distribuição	Escala comercial da transferência da carga dos VEs de pontos de recarga residenciais e corporativa para a rede de distribuição; disponibilidade de utilização de tarifação diferenciada para V2G; regulamentação para a operação comercial dos veículos elétricos em modo V2G	Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO

Fonte: Elaboração própria.

10.2.2 Temática - Inserção de veículos elétricos

Esta temática trata dos impactos da inserção dos veículos elétricos na frota circulante nacional sob a perspectiva dos impactos na rede elétrica, da geração de novos negócios relacionados ao setor de distribuição e da utilização das baterias dos veículos em aplicações no setor elétrico após a sua vida útil nos veículos. Para tanto, é composta por três rotas como apresentado na Figura 49, sendo tratadas individualmente nas descrições a seguir.

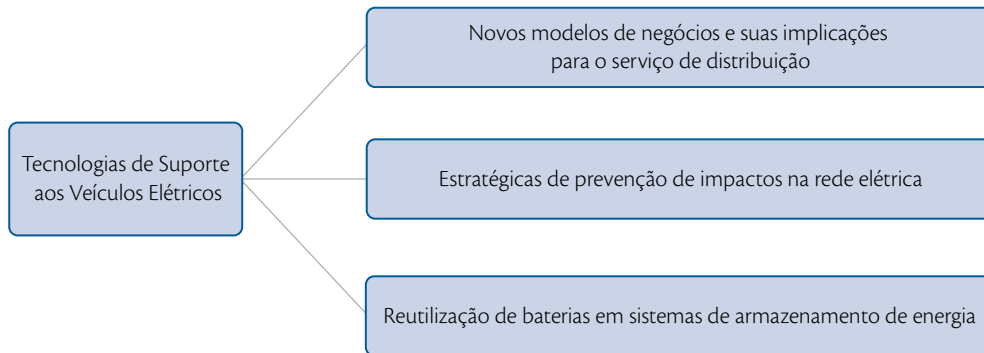


Figura 49 - Temática inserção de veículos elétricos

Fonte: Elaboração própria.

A rota de novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição trata de ações em pesquisa e desenvolvimento que promovam o surgimento de novos negócios associados à mobilidade elétrica e proporcionem oportunidade para as empresas do setor de distribuição de energia.

A rota de estratégias de prevenção de impactos na rede elétrica trata das questões relacionadas à prevenção de impactos na rede elétrica, devido à inserção de veículos elétricos e suas formas de mitigação. Destaca-se que um importante fator de impacto dos veículos elétricos na rede de distribuição será oriundo da maior demanda por energia elétrica, especialmente quando houver concentração em alguns pontos da rede. Também poderá haver a introdução de ruídos e/ou interferências na rede, com potencial de afetar a qualidade da energia fornecida.

A rota de reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia se refere ao desenvolvimento e à implantação de sistemas de armazenamento de energia que aproveitem as baterias de veículos elétricos, parcialmente degradadas, para utilização na rede de distribuição de energia elétrica. É a chamada *second life* da bateria, na qual se faz outra destinação funcional.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 87 ao Gráfico 89. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de

variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 4 - Novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição

À medida que as aplicações e os modelos de negócios relacionados à mobilidade elétrica se desenvolvem, surgem oportunidades para que as distribuidoras de energia elétrica aumentem o seu mercado atendendo diretamente a empresas frotistas, provedores de serviços de recargas públicas, consumidores residenciais e empresariais.

Assim, a rota de novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição deverá evoluir rapidamente com o surgimento dos veículos elétricos no Brasil uma vez oferece melhores condições para o retorno dos investimentos devido ao fato dos veículos utilizados deterem uma quilometragem média, acima dos veículos particulares. Dessa forma, mesmo com uma oferta de veículos elétricos pequena, e em estágio inicial, já existem iniciativas de novos negócios relacionados à mobilidade elétrica em curso. Como exemplo, pode-se citar a oferta de serviço de táxi com veículos elétricos, de ônibus elétricos com baterias em circulação no serviço de transporte público urbano e oferta de *carsharing*, já mencionadas neste capítulo. Destaca-se que, eventualmente, o atendimento demandará adequações na rede elétrica para o suporte à nova demanda.

A regulação é outro fator que poderá impulsionar o surgimento de novos negócios, como o Programa de Controle de Poluentes dos Transportes da cidade de São Paulo (PCPV, 2017), que contempla ações de prevenção e controle de caráter ambiental para a implantação de melhorias e aumento da eficiência nos sistemas de transporte coletivo e de carga, melhoria da qualidade do ar, redução da emissão de GEE e do ruído causado pelo tráfego de veículos.

Por conseguinte, a rota deverá atingir a maturidade já em médio prazo e com a inserção de veículos elétricos se tornando significativa. Assim, antecipa-se a maturidade da rota para 2030, conforme Gráfico 87.



Novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição

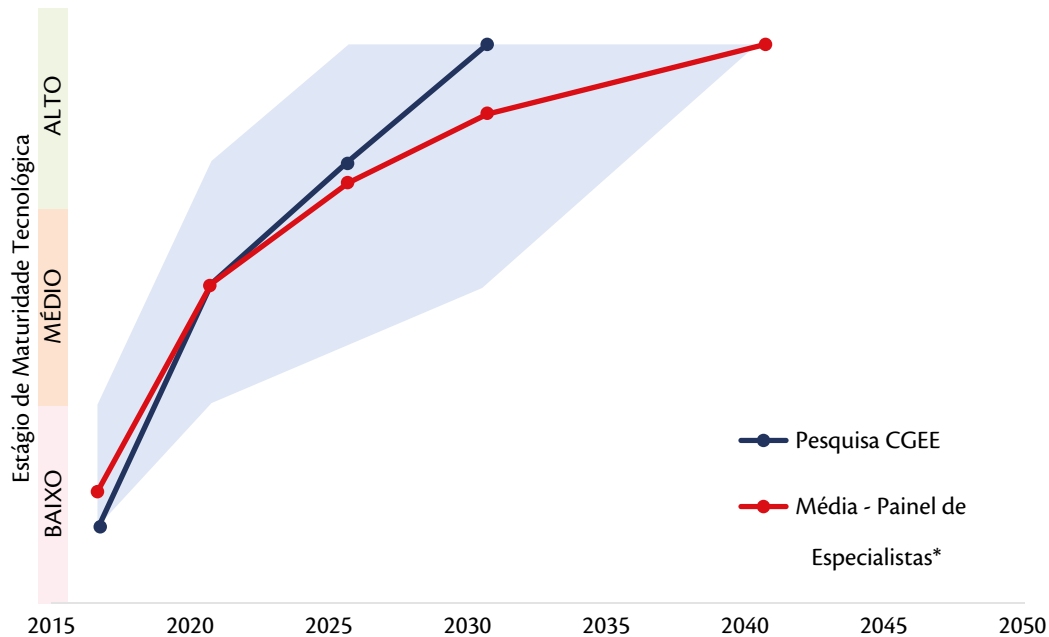


Gráfico 87 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Na reunião com os especialistas, três das opiniões concordaram com essa perspectiva. Duas delas foram mais otimistas com a maturidade ocorrendo em 2025, sob a alegação de que haveria participação de empresas *startups*, que são em geral muito ágeis. Outras duas opiniões foram mais pessimistas e apontaram que a maturidade ocorreria apenas em 2040, com o argumento de que o mercado de veículos elétricos no Brasil precisaria estar mais desenvolvido. Ao final, foi acordado que a proposição original é representativa da maturidade provável da rota por refletir a média das diversas opiniões.

Rota 5 - Estratégias de prevenção de impactos na rede elétrica

A baixa inserção de veículos elétricos deverá ocorrer pelo menos até 2030, segundo a projeção de frota de veículos realizada pelo EPE (2017). Porém, mesmo nesta conjuntura, poderão surgir localidades com maior concentração de veículos elétricos, com potencial de provocar impactos na rede de distribuição.

Devido ao potencial de impacto das operações de recarga em áreas de alta concentração, mesmo nos momentos iniciais do mercado de veículos, os pilotos de sistemas que venham a suportar a prevenção de impacto deverão ocorrer com antecedência à conformação de uma forte demanda energética pelos veículos, e deverão considerar outras áreas de conhecimento como os estudos provenientes das rotas de recarga de veículos elétricos por fio, sistemas de medição avançada de energia, sistemas de microgeração fotovoltaica e de sistemas de armazenamento.

Já em 2025, tem de ser definida a metodologia para projeção e criação de plano de ação para a redução de impactos dos veículos elétricos na rede de distribuição e pilotos de sistemas de gestão de rede para operação de eletropostos com controle integrado à rede de distribuição. A fim de se ter, em 2030, escala comercial de sistemas para suporte de recarga com controle integrado à rede de distribuição. No mesmo ano, são esperados pilotos de sistemas de gestão de rede para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição, para, em 2050, atingir escala comercial de sistemas de gestão de rede para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição (V2G).

Os objetivos dos pilotos e sistemas de gestão da rede de operação de eletropostos com controle integrado à rede são de demonstrar o controle da potência de carregamento em situações de sobrecarga da rede elétrica, permitindo assim manter a qualidade do suprimento de energia e reduzir a probabilidade de falhas. A transferência de energia das baterias dos veículos (V2G) contribuiria para uma maior robustez do sistema em situações transitórias e de grande severidade.

Destaca-se ainda que, após 2030, com a presença de sistemas e microgeração fotovoltaico e a elevação gradual da penetração de veículos elétricos, ocorrerão os primeiros pilotos para aproveitar energia excedente de sistemas fotovoltaicos na recarga de veículos elétricos. Para isso ocorrer, a infraestrutura de recarga precisará dispor de controle integrado à rede, de forma a tornar possível a interoperação de ambas as tecnologias.

Desta forma, a demanda de energia dos veículos elétricos poderá se comportar de forma flexível e mitigar a incidência de impactos na rede elétrica provados pela microgeração distribuída. Basicamente, durante a recarga a veículos, seria avaliada a disponibilidade/indisponibilidade energética dos sistemas de microgeração para a adoção de ações no sentido de aumentar ou reduzir a potência de carregamento e até mesmo interrompê-lo temporariamente, em situações mais severas. Considerando este cenário, propõe-se a evolução da rota tal qual Gráfico 88.

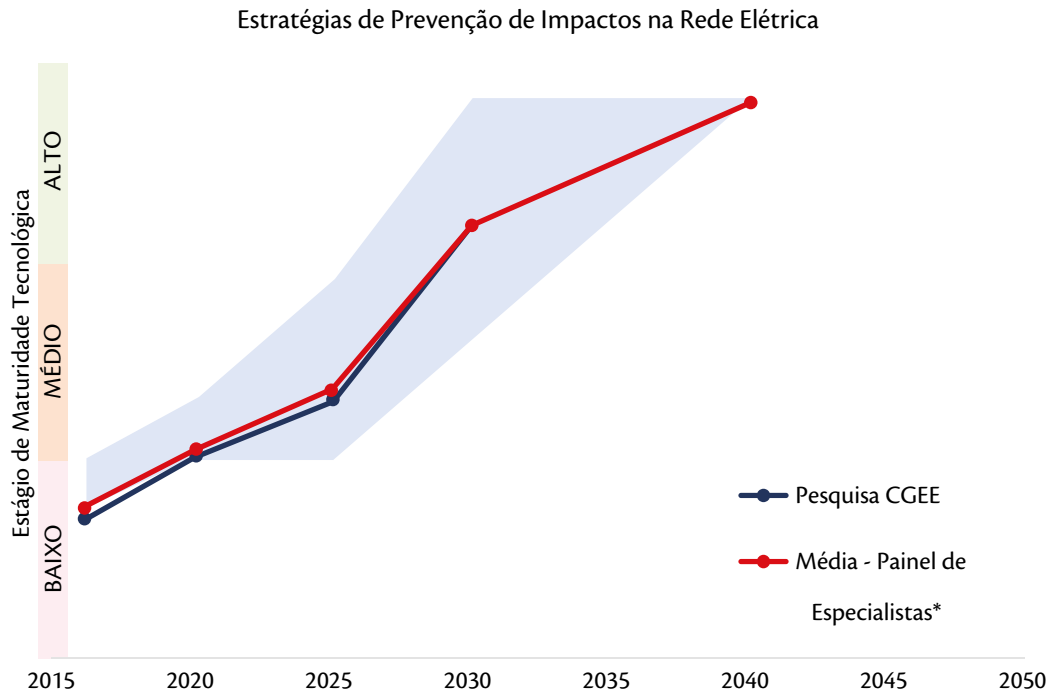


Gráfico 88 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de estratégias de prevenção de impactos na rede elétrica

Fonte: Elaboração própria.

Tal evolução se justifica, pois a rota de estratégias de prevenção de impactos na rede se apoia nos conhecimentos, técnicas e métodos atualmente existentes e aplicados às redes de distribuição de energia elétrica. Mesmo que ocorra a entrada da demanda de energia elétrica, a ser proporcionada pelos veículos elétricos em ambientes residências, comerciais e estações de recarga pública, tais estratégias necessitarão ser aprimoradas. Assim, apesar de seus princípios básicos serem conhecidos, a nova dinâmica da demanda deverá ser estudada com antecedência à plena disseminação dos veículos elétricos e a maturidade tecnológica da rota ocorrerá apenas a partir da existência de uma grande presença de veículos elétricos, que deverá ocorrer apenas em 2040.

Na reunião com os especialistas, as opiniões concordaram em sua grande maioria com tal perspectiva, na qual, a maturidade da rota acompanha o desenvolvimento do setor de veículos elétricos no Brasil. Apenas a visão de um dos especialistas foi mais otimista, para a qual a maturidade já se atingiria em 2030 em função da percepção que a disseminação tecnológica ocorreria mais rapidamente. O consenso foi, portanto, utilizar a proposição inicial como representativa da evolução de maturidade da rota.

Rota 6 - Reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia

Em condições de uso nos veículos elétricos, as baterias sofrem um processo de degradação que provoca a diminuição da capacidade de armazenamento. Isso ocorre ao longo de sua vida útil, seja pela execução de ciclos de carga e descarga e/ou como resultado das reações químicas ao longo do tempo. Quando a capacidade de armazenamento das baterias diminui no veículo elétrico, reduz também a autonomia e pode comprometer a sua usabilidade. Assim, em algum momento, haverá necessidade de substituição. Porém as baterias retiradas poderão ter uma nova aplicação em sistemas de armazenamento da energia da rede elétrica. Esses, por serem estáticos, poderão admitir as baterias com menor densidade energética retiradas dos veículos elétricos.

Entre as aplicações dos sistemas de armazenamento com o reaproveitamento de baterias está a possibilidade de gestão da demanda de energia elétrica, realizada pelo próprio consumidor ou na rede elétrica, e a mitigação de transientes na rede de distribuição.

Porém, para que o reaproveitamento das baterias de veículos elétricos seja possível, é necessário que sejam asseguradas a confiabilidade e a operação segura. Por isso, tais sistemas deverão obedecer a rígidos critérios técnicos para operação em escala comercial.

Além disso, para que o reaproveitamento das baterias de veículos elétricos ocorra, há necessidade de haja veículos elétricos em quantidade suficiente para suprir a essa segunda destinação. Testes e estudos devem ser realizados com as futuras baterias para subsidiar o processo de padronização. Levando estes aspectos em consideração, propõe-se a evolução da maturidade da rota tal qual Gráfico 89.

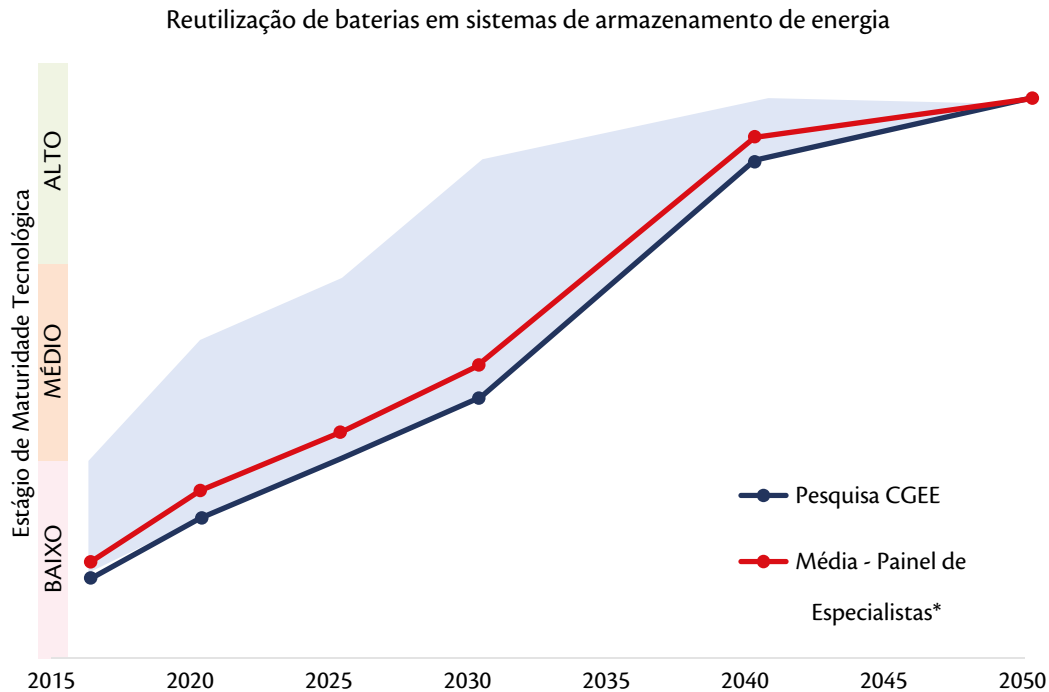


Gráfico 89 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia

Fonte: Elaboração própria.

Esta curva se justifica pelo fato de que a rota de reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia se apoia nos conhecimentos e técnicas atualmente existentes, nos atuais sistemas de armazenamento de energia elétrica, já tendo sido, portanto, estabelecidos os seus princípios básicos. Porém, no desenvolvimento da rota, processos e técnicas de avaliação de baterias deverão ser aprimorados com antecedência ao crescimento da oferta de baterias para reutilização. Ademais, para que se atinja a maturidade plena, será necessário que o mercado de veículos elétricos no Brasil esteja consolidado e com quantidades abundantes de veículos para alimentar o mercado de baterias para reutilização. Segundo o EPE, a inserção da frota brasileira começará a possuir significância mais importante apenas a partir de 2030. Assim, a maturidade da rota ocorrerá apenas em 2040.

Na reunião com os especialistas, três das opiniões concordaram com essa perspectiva, sendo uma delas mais otimista na validação de pilotos e testes de escala. Outras três opiniões foram mais pessimistas, com o argumento de que o mercado de veículos elétricos no Brasil poderia fornecer a quantidade de baterias suficiente para que a rota atingisse a maturidade apenas em 2050. Assim, como nos casos anteriores, prevaleceu a proposição inicial para a evolução da maturidade da rota.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 45 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática inserção de veículos elétricos

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Inserção de veículos elétricos	Novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição	Fatores portadores de futuro	Coleta das primeiras métricas de desempenho e de viabilidade de aplicações <i>carsharing</i> e ônibus elétrico		Critérios e modelo de participação das empresas do setor elétrico em empreendimentos comerciais relacionados com a mobilidade elétrica	Elevação de demanda por serviços e aplicações de mobilidade elétrica			
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				
	Estratégias de Prevenção de Impactos na Rede Elétrica	Fatores portadores de futuro	Configuração dos impactos na rede elétrica e regras de mitigação relacionadas às soluções de <i>carsharing</i> e pilotos de ônibus elétricos		Metodologia para projeção e criação de plano de ação para a redução de impactos dos veículos elétricos na rede de distribuição; pilotos de sistemas de gestão de rede para operação de eletropostos com controle integrado à rede de distribuição; pilotos para aproveitamento de energia excedente e prevenção de impacto na rede; pilotos para suporte de recarga com controle integrado à rede de distribuição; definição de padrões de segurança em nível de serviços para segunda vida de baterias de veículos elétricos	Escala comercial de sistemas para suporte de recarga com controle integrado à rede de distribuição; pilotos de sistemas de gestão de rede para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição (V2G); pilotos de sistemas de armazenamento com baterias de veículos reutilizadas para a mitigação de impactos na rede; sistema para aproveitamento de energia excedente e prevenção de impacto na rede; escala comercial de sistemas de gestão de rede para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição (V2G); produção em escala de equipamentos que utilizam a segunda vida de baterias de veículos elétricos; alta demanda de VEs e alta oferta de baterias para reutilização.			
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				

Temática	Rota	Dado	Período							
			2016	2020	2025	2030	2040	2050		
Inserção de veículos elétricos	Reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia	Fatores portadores de futuro	Sem oferta de baterias para reutilização			Metodologia para projeção e criação de plano de ação para a redução de impactos dos veículos elétricos na rede de distribuição; pilotos de sistemas de gestão de rede para operação de eletropostos com controle integrado à rede de distribuição; pilotos para aproveitamento de energia excedente e prevenção de impacto na rede; pilotos para suporte de recarga com controle integrado à rede de distribuição; definição de padrões de segurança em nível de serviços para segunda vida de baterias de veículos elétricos	Escala comercial de sistemas para suporte de recarga com controle integrado à rede de distribuição; pilotos de sistemas de gestão de rede para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição (V2G); pilotos de sistemas de armazenamento com baterias de veículos reutilizadas para a mitigação de impactos na rede; sistema para aproveitamento de energia excedente e prevenção de impacto na rede; Escala comercial de sistemas para suporte de recarga com controle integrado à rede de distribuição; produtos e processos desenvolvidos para a segunda vida de baterias de veículos elétricos; alta demanda de VEs, mas baixa oferta de baterias para reutilização	Escala comercial de sistemas de gestão de rede para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição; sistemas de armazenamento com baterias de veículos reutilizadas para a mitigação de impactos na rede; sistema para aproveitamento de energia excedente e prevenção de impacto na rede; escala comercial de sistemas de gestão de rede para a transferência de energia de baterias para a rede de distribuição (V2G); produção em escala de equipamentos que utilizam a segunda vida de baterias de veículos elétricos; alta demanda de VEs e alta oferta de baterias para reutilização		
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.



10.4 Priorização

Esta seção apresenta as rotas consideradas como prioritárias para o cenário brasileiro. A priorização levou em conta uma lenta inserção dos veículos elétricos na frota nacional devido aos elevados preços desses veículos quando comparados aos convencionais, ao baixo nível socioeconômico da população e a outras questões típicas do desenvolvimento deste mercado, conforme analisado em detalhes na seção em que se tratou das barreiras à adoção da mobilidade elétrica.

Como mostrado, além dos fatores de ordem econômica, a referida seção destacou a importância da infraestrutura de recarga pública e privada, fundamental para transmitir a confiança aos usuários na utilização dos seus veículos, seja de forma cotidiana, seja em viagens, reduzindo assim o sentimento de *range anxiety*. Associadas de certa forma à infraestrutura de recarga, estão as baterias de armazenamento, cuja evolução tecnológica é igualmente importante para proporcionar uma maior autonomia aos veículos a um menor custo por kWh armazenado. Em termos práticos, a infraestrutura de recarga se apresenta como um dos pontos mais relevantes para a inserção dos veículos elétricos na frota automotiva nacional, trazendo como consequência a necessidade de mapear e desenvolver soluções para os potenciais impactos decorrentes da utilização dessa infraestrutura na rede de distribuição de energia elétrica.

Por outro lado, a análise cenário geral indicou que do ponto de vista do planejamento energético, não se encontram óbices significativos ao desenvolvimento da mobilidade elétrica. Entretanto há pouco espaço para incentivos e subsídios governamentais nos próximos anos, o que demanda ações rápidas e eficazes para preparar o Brasil para a introdução dessa nova onda tecnológica.

Assim, no âmbito deste projeto de prospecção tecnológica, observa-se que o setor de distribuição pode contribuir com projetos de P&D, que abordem aspectos críticos para a criação de uma trajetória exitosa, que leve a mobilidade elétrica do seu estágio atual até a plena maturidade. Neste sentido, o critério adotado para a seleção das rotas prioritárias foi o grau de contribuição de cada rota para a operação da rede elétrica, a promoção da mobilidade elétrica e a ruptura de barreiras nos momentos iniciais do mercado. Em seguida, foram consideradas as potenciais aplicações no setor de distribuição de energia.

Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da Macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, crescentemente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **6**, pois são **seis** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 46.

Tabela 46 - Ordem de prioridade para as rotas da macrotemática mobilidade elétrica

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Estratégias de prevenção de impactos na rede de distribuição	Inserção de Veículos Elétricos
2	Infraestrutura de recarga de veículos elétricos por fio	Integração de Veículos Elétricos à Rede de Distribuição
3	Novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição	Inserção de Veículos Elétricos
4	Reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia	Inserção de Veículos Elétricos
5	Infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G)	Integração de Veículos Elétricos à Rede de Distribuição
6	Infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio	Integração de Veículos Elétricos à Rede de Distribuição

Fonte: Elaboração própria.

A prioridade, para cada rota, é explanada nos itens a seguir:

Estratégias de prevenção de impactos na rede de distribuição

Necessidade de preparação da rede elétrica para a futura demanda de recarga dos veículos elétricos. Este foi um ponto acordado na reunião de especialistas, uma vez que o desenvolvimento da mobilidade elétrica só será concretizado com uma rede elétrica apta a suportar às demandas por energia.



Infraestrutura de recarga de veículos elétricos por fio

Importância da construção da infraestrutura de recarga por fio nos diversos ambientes de uso. Constitui um aspecto fundamental para transmitir segurança aos usuários na nova tecnologia, mitigando o *range anxiety* e possibilitando um uso mais eficiente da rede de distribuição de energia.

Novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição

Maior rentabilidade de novos negócios envolvendo o uso de veículos elétricos por conta da maior quilometragem dos veículos em comparação com o uso individual. Espera-se que este segmento se desenvolva de forma mais acentuada, a exemplo de algumas experiências pilotos já em andamento.

Reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia

As baterias dos veículos podem se mostrar como uma alternativa bastante atraente para a formação de sistemas de armazenamento para aplicações no setor elétrico. Assim, deverá haver um forte interesse do setor nos produtos tecnológicos provenientes desta rota.

Infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G)

Potencial de uso do sistema de baterias dos veículos em aplicações na rede elétrica como forma de amenizar a intermitência da geração distribuída e em situações de emergência. Entretanto a curva de maturidade desta curva é longa, o que diminuiu sua prioridade em relação às demais rotas.

Infraestrutura para recarga de veículos elétricos sem fio

Esta rota depende fortemente de um número grande de veículos em circulação e de avanços tecnológicos nas infraestruturas de recarga e dos próprios veículos. Ao mesmo tempo, sua importância para o setor de distribuição de energia foi considerada menor do que as demais, o que, aliado à longa curva de maturidade, a posicionou como a menos prioritária.



Capítulo 11



Capítulo 11

Macrotemática geração distribuída e microrredes

A divisão das temáticas associada à macrotemática geração distribuída (GD) e microrredes é apresentada na Figura 50. Destaca-se que, devido ao impacto que seu desenvolvimento terá sobre as redes de distribuição, esta macrotemática apresenta muitas intersecções com as demais deste estudo. Dessa forma, foram impostas algumas limitações ao abordado nesta seção, a fim de não entrar no escopo de outras macrotemáticas. Assim, questões como qualidade de energia, veículos elétricos, gerenciamento da demanda e outros aspectos serão abordados de forma mais detalhada em outras seções.

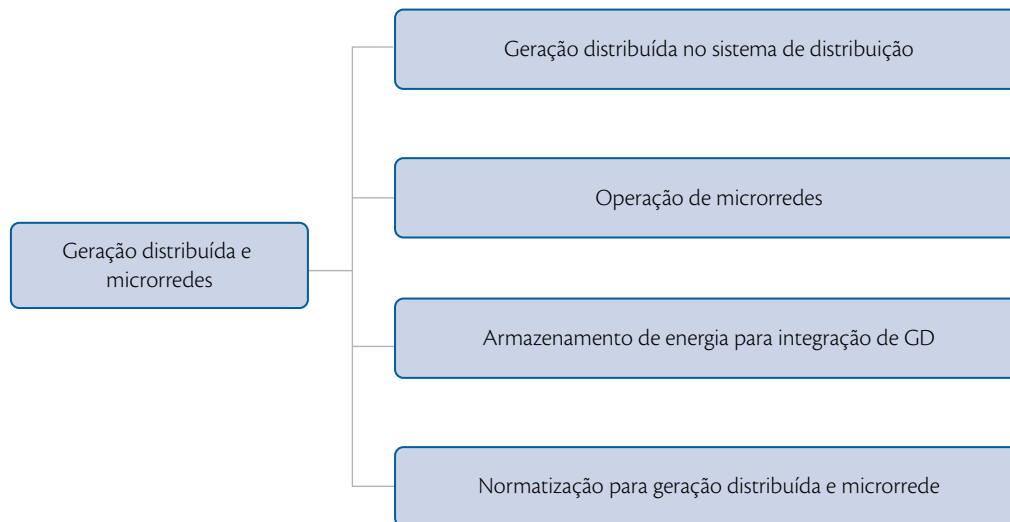


Figura 50 - Temáticas de geração distribuída e microrredes

Fonte: Elaboração própria.

11.1 Visão de futuro

11.1.1 Cenário Setorial

Apresenta-se a seguir o cenário setorial para cada uma das temáticas abordadas em geração distribuída e microrredes:

Geração distribuída no sistema de distribuição: fazem parte desta temática a geração solar, geração eólica, células a combustível, microturbinas, geradores a gás ou a diesel, geração hidráulica, biogás e biomassa. A geração de energia de fontes oceânicas e geotérmicas não estão contempladas neste estudo. Segundo previsão da EPE, a geração solar distribuída é a forma que terá maior crescimento até 2050. Outra projeção importante apresentada no Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”) é que 10% do consumo de energia serão supridos por GD até 2030. Para que isso seja possível, é de extrema importância que os impactos técnicos sejam mitigados e novas ferramentas de análises e modelagem sejam criadas e aperfeiçoadas. O aprimoramento da própria tecnologia de GD também será um fator determinante para que essas projeções se concretizem. Três rotas tecnológicas foram desenvolvidas de forma a incluir tais preocupações - mais detalhes serão discutidos nos próximos capítulos.

Operação de microrredes: entende-se por microrredes um sistema que tenha cargas e geração de energia de pequeno porte. Existem várias possibilidades de operação de microrredes combinando a forma de controle de seus equipamentos, porém, de forma geral, as duas principais são: a operação ilhada (ou isolada) e a operação conectada à rede elétrica. Sistemas de natureza isolada não possuem a opção de operação conectada, como é o caso de vários sistemas na região norte/nordeste ou de Fernando de Noronha. Quando a microrrede encontra-se em local com acesso à rede elétrica, a troca de energia pode ser feita com a rede, de forma a melhorar o desempenho de ambas. A utilização de sistemas modernos de armazenamento em microrredes pode aumentar consideravelmente a flexibilidade de operação. Neste estudo, foram criadas duas rotas tecnológicas.

Armazenamento de energia para integração de geração distribuída: diversas formas de armazenamento de energia estão sendo desenvolvidas, porém estão em distintos estágios de maturidade. A forma mais promissora para GD já em comercialização é a bateria de íon de lítio (em inglês, *Lithium-ion battery*), tecnologia baseada em eletroquímica que atingiu em 2016 quase 1GW de potência instalada no mundo. Atualmente, o preço por kWh instalado ainda é elevado, porém avanços tecnológicos estão contribuindo para a queda acentuada de preços até 2025. Outra tecnologia promissora já em



comercialização em menor escala é a bateria de fluxo. De forma geral, essas tecnologias ainda são caras e utilizam eletroquímica tóxica, mas serão cada vez mais importantes quando ocorrer a inclusão da GD e das fontes renováveis. Duas rotas tecnológicas contemplam essa temática.

Normatização para geração distribuída e microrredes: a criação e o aprimoramento de normatização existente são essenciais para que o aumento da penetração de GD não tenha impacto negativo na rede elétrica. A regulação tem avançado muito nos últimos anos com o empenho da Aneel, tanto na publicação da Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012 - REN 482/2012, quanto na efetivação dos procedimentos de rede PRODIST Módulo 3. Porém há uma dependência muito grande no desenvolvimento de normas técnicas e de regulação para que o setor se desenvolva de forma sustentável, ou seja, não impactando de forma descontrolada a receita das concessionárias de energia. Faz-se necessária, por conseguinte, a modernização constante, baseada em ganhos por performance, para que as concessionárias sejam estimuladas a participar ativamente desta modernização.

11.2.2 Objetivo geral

O objetivo geral desta macrotemática é 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 e também os cenários de difusão das tecnologias de GD. Esta visão de futuro busca nortear os investimentos em PD&I para desenvolver soluções adequadas ao cenário brasileiro. De forma geral, espera-se que os sistemas sejam capazes de operarem de forma conjunta e complementar para que a operação e comunicação centralizada e coordenada dos sistemas de distribuição possa ser implementada de forma completa até 2050.

11.3.3 Objetivo específico

Para suportar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos precisam ser atingidos, de acordo com os horizontes de curto, médio e longo prazo:

Curto prazo (2017-2020):

- ferramentas computacionais de primeira geração, considerando operação da rede de distribuição com GD em modo de controle local;
- requisitos operativos da GD com relação ao fator de potência considerando o nível de tensão no ponto de conexão;
- ferramentas computacionais de avaliação de desempenho de GD já em funcionamento e em planejamento;
- critérios para certificação de equipamentos de GD em relação à distorção harmônica que levem em consideração os novos requisitos;
- ferramentas e metodologias para definição dos cenários de difusão das tecnologias de GD (deixar mais claro, pode ser realocado, foco na concessionária);
- Modelos de negócios para inserção da GD (especificamente micro geração fotovoltaica).

Médio prazo (2020-2030):

- ferramentas computacionais de segunda geração, considerando operação da rede de distribuição com GD e Sistemas de Armazenamento (SA), em modo de controle local e MR, em possibilidade de modo ilhado com operação independente (durante contingências severas na rede);
- requisitos operativos da GD com relação ao suporte de tensão por meio da injeção/consumo de potência reativa, considerando o nível de tensão no ponto de conexão;
- requisitos operativos da GD com relação injeção de potência ativa, considerando o nível de tensão no ponto de conexão;
- novos critérios para certificação de equipamentos de GD em relação à distorção harmônica;
- ferramentas e métodos para identificar e quantificar externalidades;
- adequação da regulação e implementação de novos critérios para antever a elevada inserção de GD;
- requisitos de medição e comunicação para monitoramento do estado operativo da rede.



Longo prazo (2030-2050):

- ferramentas computacionais de terceira geração, considerando operação da rede de distribuição com GD, MR e SA em modo de controle centralizado;
- requisitos operativos da GD, MR e SA com relação ao suporte de tensão por meio da injeção/consumo de potência reativa, considerando as necessidades operacionais da rede de forma coordenada e centralizada (despacho otimizado de potência reativa);
- requisitos operativos da GD, MR e SA com relação injeção de potência ativa, considerando operação coordenada para minimizar custos operativos e melhoria da qualidade de energia (despacho otimizado de potência ativa na distribuição);
- critérios para certificação de equipamentos de GD, MR e SA em relação à distorção harmônica;
- sistema de gerenciamento centralizado de redes de distribuição (DSO, do inglês *Distribution System Operator*), integrando a GD, MR e SA com a operação conjunta com ao Operador Nacional do Sistema;
- metodologias para utilização da GD como serviços ancilares (neutralização, correção de desequilíbrios de tensão);
- sistema de gerenciamento centralizado de redes de distribuição (DSO, do inglês *Distribution System Operator*), integrando a GD, MR e SA com a operação conjunta com ao Operador Nacional do Sistema;
- sistema de controle coordenado para regulação de tensão e frequência distribuída;
- ferramentas computacionais de visualização de grande quantidade de dados para operação e planejamento do sistema.

11.4.4 Fundamentação

Os objetivos apresentados anteriormente são de extrema importância para a modernização das redes de distribuição e serão, de certa forma, impostos pelo mercado. Será inevitável a absorção das tecnologias de GD com a diminuição dos preços que vem ocorrendo e que estão em projeção. Podemos somar a isso ainda a necessidade de uma maior flexibilização do sistema elétrico para acomodar as novas formas de uso e de geração de energia. Embora tenha entrado tardiamente no uso de energia eólica e solar, o governo vem sinalizando novos rumos, porém ainda um pouco incertos. Desta forma, a maior integração da GD trará novas possibilidades de operação do sistema elétrico de distribuição com os seguintes benefícios:

- melhoria na qualidade de energia;
- aumento da flexibilidade da rede;
- maior possibilidade de controle distribuído de tensão;
- possibilidade de contribuição na regulação de frequência da rede;
- diminuição das perdas;
- aumento da confiabilidade.

Para que essas mudanças sejam efetivamente aproveitadas para evolução do sistema de distribuição, os objetivos descritos anteriormente devem ser atingidos. Assim, para o acompanhamento da evolução dos objetivos no tempo, foram desenvolvidas rotas tecnológicas e métricas, que serão descritas nos próximos capítulos.

A fundamentação da visão de futuro para geração distribuída e microrredes apresentada foi feita com base em estudos principalmente da EPE, com maior foco no “Demanda de energia elétrica 2050” (TOLMASQUIM, 2016; NOTA TÉCNICA -DEA 13/15, 2016). Praticamente, todos estudos da EPE foram adaptações da metodologia proposta por Konzen (2014). Dados interessantes sobre GD foram apresentados por Salgado (2015). Outras fontes importantes foram as bases de dados do Banco de Informações de Geração - BIG (2017) e Unidades Consumidoras com Geração Distribuída (2017), ambas da Aneel. Estudos da Internacional Energy Agency (IEA) foram levados em consideração indiretamente. Vale destacar que para os parâmetros internacionais, foram considerados os estudos da EPE de 2012 e a metodologia de projeção de geração solar proposta por Konzen, baseada no modelo de Bass – talvez, não mais adequado para analisar a influência de tecnologias disruptivas e descontínuas (LINTON, 2002). Além disso, quando considerado modelo de difusão tecnológica mais completo, alguns outros efeitos podem ser incluídos, como os efeitos da interação social - Peer Effect (BOLLINGER, 2012). Contudo foram utilizadas estas projeções no estudo.

A definição de geração distribuída não foi encontrada de forma clara nos estudos citados acima, porém foi adotado que toda a geração instalada via Resolução Normativa Aneel nº 482/2012 é a geração distribuída. Desta forma, fica claro que os dados que constam no BIG (2017) não estão sendo considerados como geração distribuída, mesmo que estejam conectados no sistema de distribuição.



11.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Primeiramente, para mensurar o cenário esperado e contextualizar as métricas desenvolvidas, é apresentado um estudo de projeção da inserção de GD. O desenvolvimento das métricas, que dimensionam e caracterizam a evolução da macrotemática, foi, então, estabelecido considerando a operação e o aumento de tal inserção na rede elétrica. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Projeção da GD

Para traçar a projeção da GD no horizonte, até 2050, foram utilizados os estudos da EPE, os bancos de dados da Aneel e as informações apresentadas no Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”). Foram estabelecidos dois cenários de evolução de inserção de GD: o cenário 1 (Figura 51) inclui dados mais otimistas (incluindo novas políticas) em relação ao aumento da potência instalada de GD e o cenário 2 (Figura 52) apresenta a compilação do cenário com desenvolvimento mais limitado (referência).

Projeção - Capacidade instalada de GD (cenário 1)

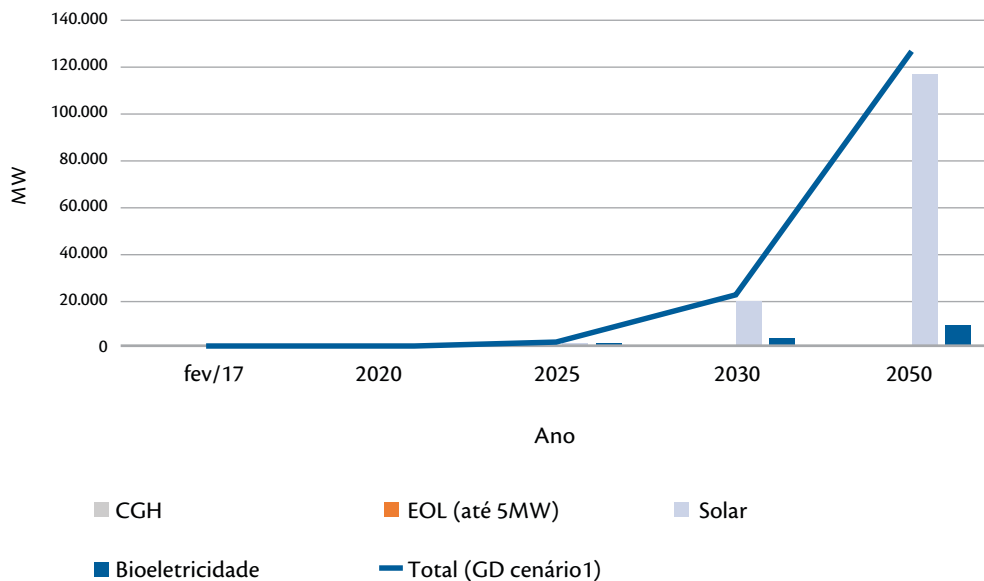


Figura 51 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (Aneel, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).

Fonte: Elaboração própria.

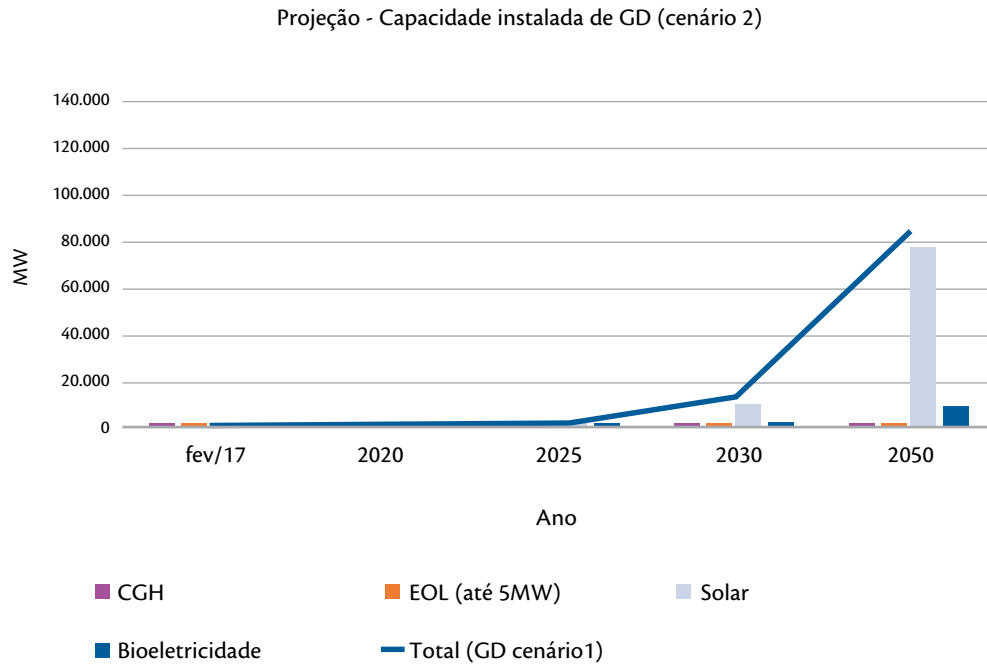


Figura 52 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 2, fundamentada, principalmente, nos dados mais conservadores de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (Aneel, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).

Fonte: Elaboração própria.

Os dados de referência para a Figura 51 e Figura 52 são identificados nas Tabela 47 e Tabela 48, respectivamente.

Tabela 47 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (Aneel, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).

Cenário 1	Potência Instalada em GD (MW)				
	Fev./2017	2020	2025	2030	2050
CGH	7,12	8,54	9,96	11,38	17,79
EOL (até 5 MW)	10,17	30,50	40,67	61,01	203,36
Solar	65,40	261,60	1.962,00	20.000,00	118.000,00
Bioeletricidade	15,00	500,00	2.000,00	4.000,00	9.000,00
Total (GD cenário 1)	97,68	800,64	4.012,63	24.072,39	127.221,15

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 48 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 2, fundamentada, principalmente, nos dados mais conservadores de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (Aneel, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).

Cenário 2	Potência Instalada em GD (MW)				
	Fev./2017	2020	2025	2030	2050
CGH	7,12	7,83	8,54	9,25	14,23
EOL (até 5 MW)	10,17	15,25	20,34	30,50	101,68
Solar	65,40	196,20	1.308,00	10.000,00	78.000,00
Bioeletricidade	15,00	250,00	1.000,00	2.200,00	5.000,00
Total (GD cenário 2)	97,68	469,28	2.336,87	12.239,75	83.115,91

Fonte: Elaboração própria.

Para traçar a projeção total de geração até 2050 (Figura 53 e Tabela 49), foram utilizados, também, os dados do BIG da Aneel (2017) e do Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”). Portanto se considerou a carga com 480 GW de potência instalada, 10% em perdas globais, e o fator de capacidade da geração eólica e solar por volta de 0,4. Optou-se por priorizar o cenário 1, cuja previsão acredita-se ser mais próxima da realidade do que a projeção conservadora do cenário 2.



Constata-se que, a depender de como for considerada a GD, os valores de inserção podem ser bem diferentes. Por exemplo, caso a geração solar, eólica e PCH até 30 MW sejam considerados GD, os índices de inserção serão bem mais elevados. Portanto se adotou a utilização de introdução baixa, média e elevada para uma análise mais qualitativa. O aumento da penetração de microrredes será mais lento, mas tem dependência muito forte no desenvolvimento das tecnologias de armazenamento de energia. Com o avanço mais acelerado das baterias, certamente, o crescimento das microrredes será acelerado quase na mesma proporção.

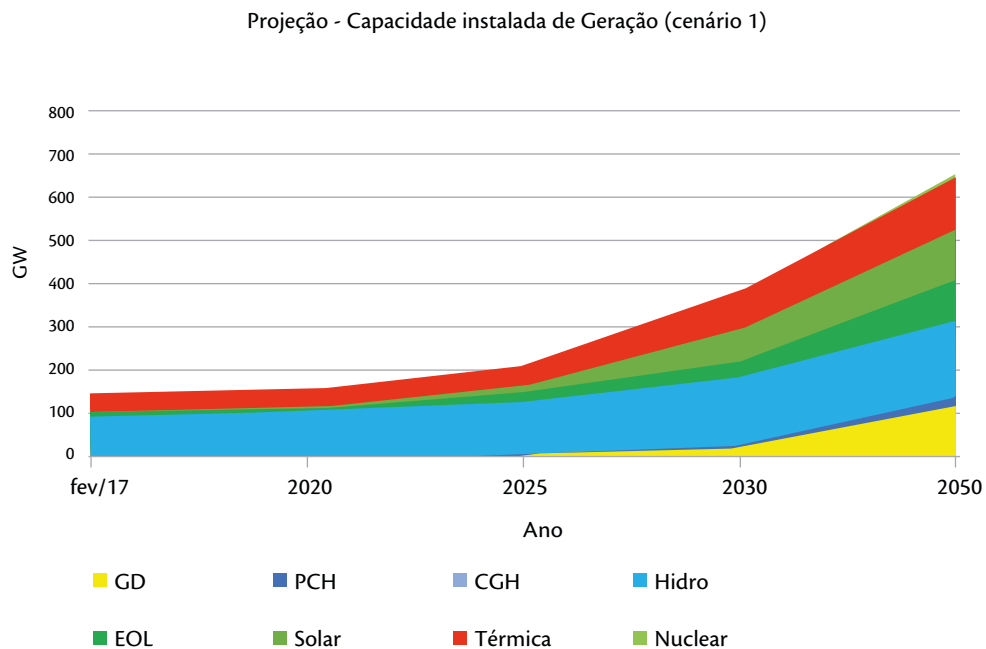


Figura 53 - Projeção da capacidade total instalada no Brasil no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados do BIG e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (BIG, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 49 - Projeção da capacidade total instalada no Brasil no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados do BIG e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (BIG, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).

Cenário 1	Potência Instalada Total (GW)				
	Fonte/Período	Fev./17	2020	2025	2030
GD	0,10	0,80	4,01	24,07	127,22
PCH	4,97	5,47	9,00	13,00	14,91
CGH	0,51	0,51	0,75	1,00	1,52
Hidro	92,65	95,00	115,00	150,00	172,00
EOL	10,50	14,10	23,10	38,10	100,00
Solar	0,02	2,00	15,00	80,00	120,00
Térmica	41,10	44,00	54,00	82,20	123,30
Nuclear	1,99	1,99	2,70	2,70	8,10
Total (GD cenário 1)	151,84	163,87	223,56	391,07	667,05

Fonte: Elaboração própria.

De forma geral, o aumento da inserção de geração distribuída poderá melhorar a qualidade do serviço e a operação do sistema. No entanto, se não forem tomadas as devidas precauções em tempo correto, ela poderá impactar a rede de forma negativa. Assim, as métricas foram construídas considerando os principais parâmetros técnicos que podem ser influenciados pela inserção de GD:

- a) perfil de tensão em regime permanente;
- b) desequilíbrio de tensão;
- c) transitórios de tensão e corrente;
- d) estabilidade de tensão e de ângulo;
- e) fluxo de corrente em regime permanente (sobrecarga);
- f) ilhamento (operação em microrrede intencional ou não);
- g) correntes de curto-circuito;



- h) proteção;
- i) confiabilidade e qualidade de energia;
- j) perdas elétricas.

Enfatiza-se que, caso a regulação e as normas técnicas não evoluam paralelamente, os problemas associados a esses parâmetros podem ser severos com o aumento da inserção de GD. As métricas utilizadas para este estudo, as quais dimensionarão e caracterizarão a evolução dessa macrotecânica, e suas condicionantes de futuro são brevemente discutidas abaixo:

Aumento da inserção da tecnologia

Visa identificar os cenários que cada rota tecnológica terá de considerar para que os impactos na rede elétrica sejam positivos e a integração possa ser feita. Essa métrica depende fortemente das projeções de futuro que poderão sofrer alterações e devem ser atualizadas. As condicionantes de futuro: fatores econômicos mundiais e locais; queda do preço da tecnologia; políticas energéticas; facilidade de financiamento.

Controle passivo para suporte de reativos

Essa métrica está relacionada com os impactos referentes à tensão (itens de “a” a “e”). O suporte de reativos, em diferentes pontos da rede, pode melhorar o perfil de tensão, o desequilíbrio de tensão e corrente e a margem de estabilidade e pode diminuir o fluxo de corrente de sobrecarga, compensando reativos localmente na rede. Neste contexto a GD, a MR e a SA poderiam participar desta operação. A condicionante de futuro: queda do preço das tecnologias.

Controle passivo para suporte de frequência

Dependendo do desbalanço entre carga e geração no sistema, consequência de alguma perturbação severa na rede, a frequência pode variar consideravelmente. As tecnologias analisadas nesta macrotecânica poderiam ser modernizadas para contribuir com a regulação de frequência. A condicionante de futuro: queda do preço da tecnologia.

Controle ativo centralizado e coordenado

A coordenação dos controles individuais de cada sistema de GD, MR e SA será importante para maximizar a performance do sistema elétrico, auxiliando os sistemas de transmissão e geração em relação ao controle de tensão e frequência, aumento da margem de estabilidade, entre outras questões operativas. Com o aumento da inserção de GD, MR e SA, essa responsabilidade vai se transferir ao longo do tempo para o sistema de distribuição. As condicionantes de futuro: queda do preço da tecnologia; disponibilidade de tecnologias de comunicação segura e de baixo custo.

Diminuição da distorção harmônica

As normas para limitar os níveis de distorção harmônica foram previstas para equipamentos e instalações maiores, de forma que os limites impostos pelas normas deverão se desenvolver para incluir a GD. Em um horizonte de longo prazo, a GD poderá ajudar de forma ativa na mitigação da distorção harmônica por meio de algoritmos de controle específicos. As condicionantes de futuro: queda do preço da tecnologia; disponibilidade de tecnologias de controle de baixo custo.

Aumento da eficiência

A eficiência, aqui, é relacionada à conversão de energia. Destaca-se que a constante evolução tecnológica dos painéis fotovoltaicos vem aumentando a eficiência na conversão de energia solar em energia elétrica. As condicionantes de futuro: desenvolvimento de novos materiais; melhorias em processos industriais de fabricação.

Aumento da densidade de potência/energia da tecnologia

Embora essa métrica tenha uma certa relação com a anterior, ela não expressa o mesmo valor. A densidade de potência de cada tecnologia de GD (incluindo, MR e SA) tem papel importante na aceleração de sua adoção, tanto por questões de espaço físico para sua instalação, quando na aceitação do público alvo. Quanto menores e mais bonitos forem os equipamentos, maior as chances de inserção no mercado. Grande parte da aceitação do sistema de armazenamento residencial *Powerwall*, da empresa TESLA, tem relação com essas características. Atualmente, uma das áreas de maior potencial de PD&I neste sentido é a busca frenética por uma tecnologia de bateria que aumente significativamente sua densidade de energia. As condicionantes de futuro: desenvolvimento de novos materiais; melhorias em processos industriais de fabricação.



As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas neste estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

11.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

11.3.1 Temática geração distribuída no sistema de distribuição

Para esta temática, foram definidas três rotas tecnológicas, apresentadas na Figura 54. Tais rotas têm grande dependência entre si, com destaque em relação à identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída e desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos, uma vez que uma trata das ferramentas de análise para a outra.

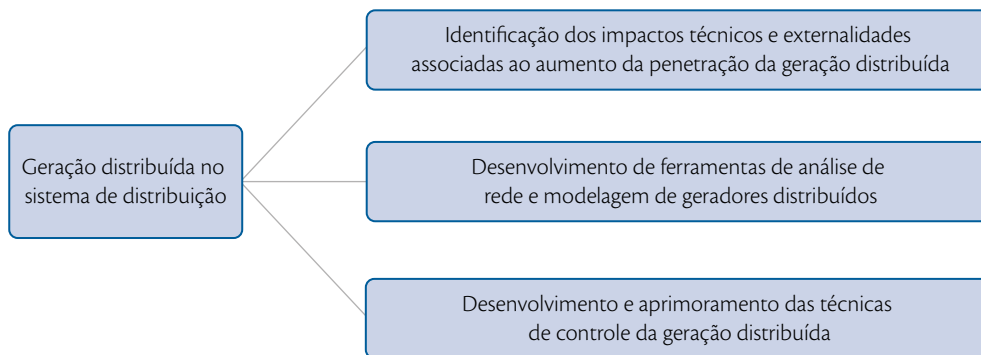


Figura 54 - Temática de geração distribuída no sistema de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

A rota de identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída trata da avaliação e determinação de ações preventivas necessárias para maximizar os efeitos positivos dos impactos técnicos da grande penetração de geração distribuída nos alimentadores das redes de distribuição.

Por sua vez, a rota de desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos destaca a necessidade de desenvolvimento de modelos e ferramentas de análise para avaliar os efeitos da conexão massiva de geradores à rede de distribuição em baixa e média tensão.

Por fim a rota de desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle da geração distribuída contempla o desenvolvimento de novas técnicas de conexão da geração distribuída, a avaliação de novas tecnologias (disruptivas), a definição de requisitos operativos como suporte de tensão e a frequência. Aborda, também, a análise da intermitência da geração e seu impacto sobre a rede.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 90 ao Gráfico 92. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída

Até 2025, os impactos técnicos serão moderados na rede de distribuição, principalmente, devido à baixa presença da GD neste horizonte. Neste período, caberão ações de monitoramento, pequenas ações corretivas na rede elétrica e estratégias de controles locais para as GDs. A partir de 2030, com o incremento expressivo da GD, esperado para esse horizonte, as ações corretivas nas redes serão mais recorrentes. Para minimizar os gastos com ações corretivas e reforços nas redes de distribuição, novas estratégias de controle centralizado devem ser previstas e implementadas. Com relação às distorções harmônicas que as GDs, portadoras de conversores eletrônicos de potência, podem inserir na rede, enquanto a penetração de GD for baixa, caberá apenas monitorar o impacto na rede, uma vez que já existem requisitos operativos para certificação e operação desses. No entanto, com o



aumento expressivo de conversores conectados na rede, talvez seja necessária a reavaliação dos limites atualmente vigentes. Até 2030, prevê-se a melhoria gradual da eficiência e também da densidade de potência nas GDs. No entanto novas tecnologias (disruptivas) poderão surgir até 2050 o que pode mudar drasticamente a tendência gradual, observada no Gráfico 90.

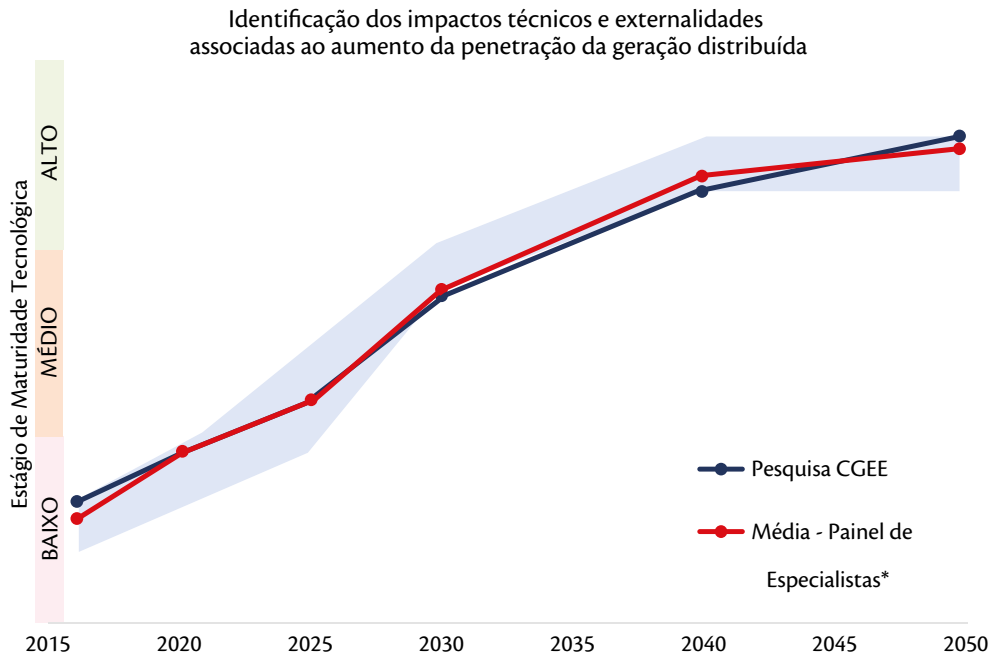


Gráfico 90 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída

Fonte: Elaboração própria.

Rota 2 - Desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos

Para planejar e mitigar os efeitos da inserção massiva de GD, é necessário o desenvolvimento (ou adaptação das existentes) de ferramentas para análise da rede e de modelos dos diversos tipos de geradores distribuídos. Até 2025, essas ferramentas precisarão trabalhar principalmente no modo off-line. A partir de 2030, contudo surgirá a necessidade de controle centralizado e essas ferramentas deverão estar aptas a processar dados em tempo real (on-line).

Quanto aos modelos de GD, até 2020, os principais já devem estar desenvolvidos considerando seus possíveis controle locais. Em 2025, os modelos de GD devem ser integrados às ferramentas de análise de redes, que deverão considerar os modos de controle isolado. Em 2030, as ferramentas deverão estar prontas para a análise da rede com grande presença de GD e com controle centralizado, com a possibilidade de despacho de potência ativa e reativa, além de mecanismos para minimização de distorção harmônica, conforme verificado pela rápida evolução nos anos iniciais da curva abaixo.

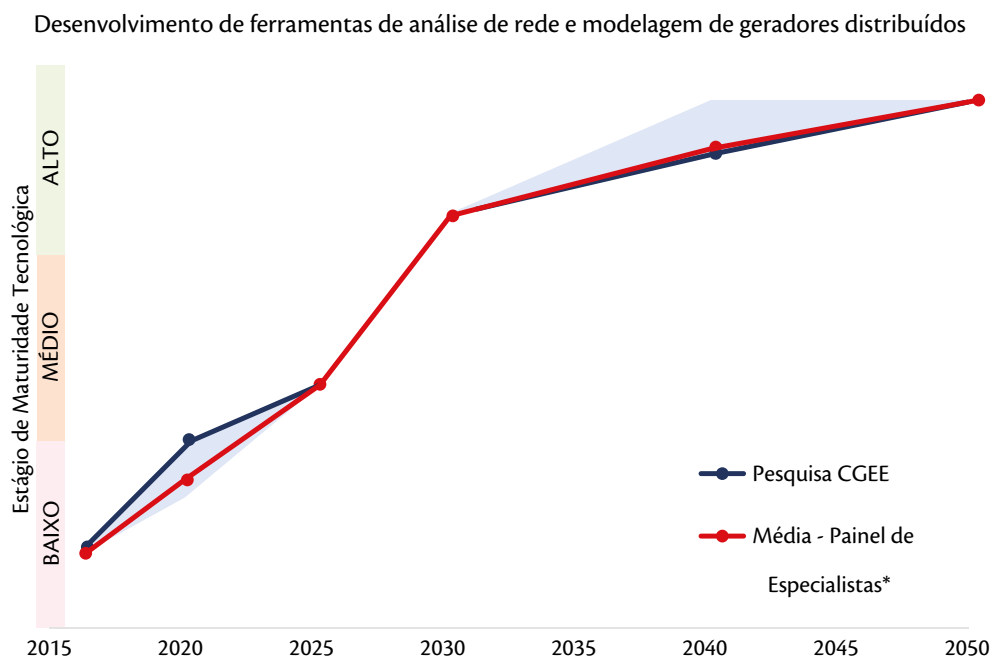


Gráfico 91 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos

Fonte: Elaboração própria.



Rota 3 - Desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle da geração distribuída

As técnicas de controle das tecnologias estão em constante evolução, assim novos algoritmos de controle vêm sendo apresentados na literatura e, posteriormente, disponibilizados no mercado. Para os próximos dez anos, estima-se que as técnicas de controle serão do tipo local, e a partir de 2030, projeta-se a necessidade de controle centralizado e coordenado.

Dessa forma, espera-se que, até 2030, boa parte da avaliação dos impactos da GD já estará bem desenvolvida, e que ações para potencializar seu uso entrarão em implementação, justificando a alta maturidade observada para 2030, no Gráfico 92. Em relação às ferramentas de análise e modelagem, essas já estão sendo integradas com outras ferramentas de operação e controle.

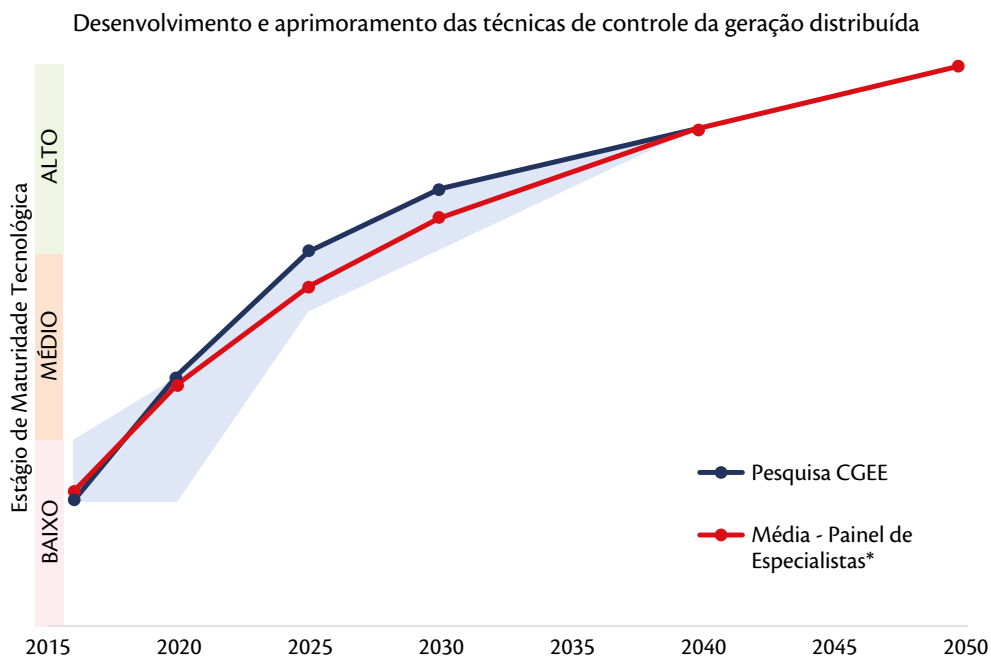


Gráfico 92 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle da geração distribuída

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas

são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 50 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática geração distribuída no sistema de distribuição

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Geração distribuída no sistema de distribuição	Identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída	Fatores portadores de futuro	Crescimento de GD motivado por políticas energéticas, facilidade de financiamento e queda do preço da tecnologia		Consolidação dos patamares de distorção harmônica		Utilização das tecnologias para mitigar harmônicos; necessidade de controle coordenado; novas tecnologias podem surgir com maior eficiência e densidade de potência; desenvolvimento de novos materiais; melhorias em processos industriais de fabricação	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos	Fatores portadores de futuro	Desenvolvimento de ferramentas integradas com aquisição de dados reais para simulação off-line; desenvolvimento dos modelos de GD de controle passivo para suporte de reativos e de frequência e diminuição da distorção harmônica; crescimento de GD motivado por políticas energéticas, facilidade de financiamento e queda do preço da tecnologia		Desenvolvimento de projetos pilotos de maior porte para análise de distorção harmônica		Necessidade de monitoramento on-line; integração necessária das ferramentas de avaliação e de operação em tempo real	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle da geração distribuída	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de tecnologias de comunicação segura e de baixo custo; crescimento de GD motivado por políticas energéticas, facilidade de financiamento e queda do preço da tecnologia		Desenvolvimento de projetos pilotos de médio porte		Necessidade de monitoramento on-line; integração necessária das ferramentas de avaliação e de operação em tempo real	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



11.3.2 Temática operação de microrredes

Para esta temática, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme apresentado na Figura 55. Estas rotas têm como ponto central a operação de microrredes, inter-relacionando-se no cenário de operação ilhada de microrredes.

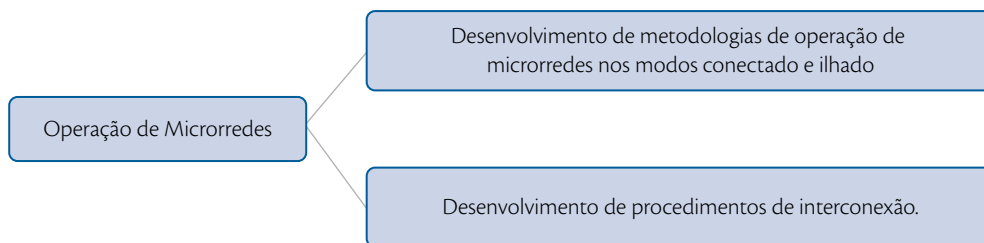


Figura 55 - Temática operação de microrredes

Fonte: Elaboração própria.

A rota de desenvolvimento de metodologias de operação de microrredes nos modos conectado e ilhado indica a necessidade de estudo sobre os modos de operação (conectado e ilhado) para garantir o fornecimento e qualidade da energia. Nesta rota, está compreendida a necessidade de novas estratégias de controle local e centralizado.

A rota de desenvolvimento de procedimentos de interconexão destaca a importância da criação de procedimentos que garantam a segurança da rede e usuários, para operação ilhada e conectada à fonte principal (subestação). Um ponto que merece destaque é o procedimento de reconexão de uma ilha à rede principal.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 93 e Gráfico 94. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi

realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 4 - Desenvolvimento de metodologias de operação de microrredes nos modos conectado e ilhado

Até 2025, a presença microrredes será pequena na rede de distribuição, o que se deve principalmente à baixa presença da GD neste horizonte. Neste período, deve ser realizado o estudo de técnicas de controles para suporte de frequência e tensão na condição de ilhamento não intencional. A partir de 2030, com o incremento expressivo da GD esperado, a formação de microrredes ganhará força principalmente com a possibilidade de controle centralizado, que poderá controlar a formação de microrredes, buscando melhor desempenho da rede e melhor disponibilidade de fornecimento, justificando a evolução mais significativa dessa rota deslocada para após 2030, conforme Gráfico 93.

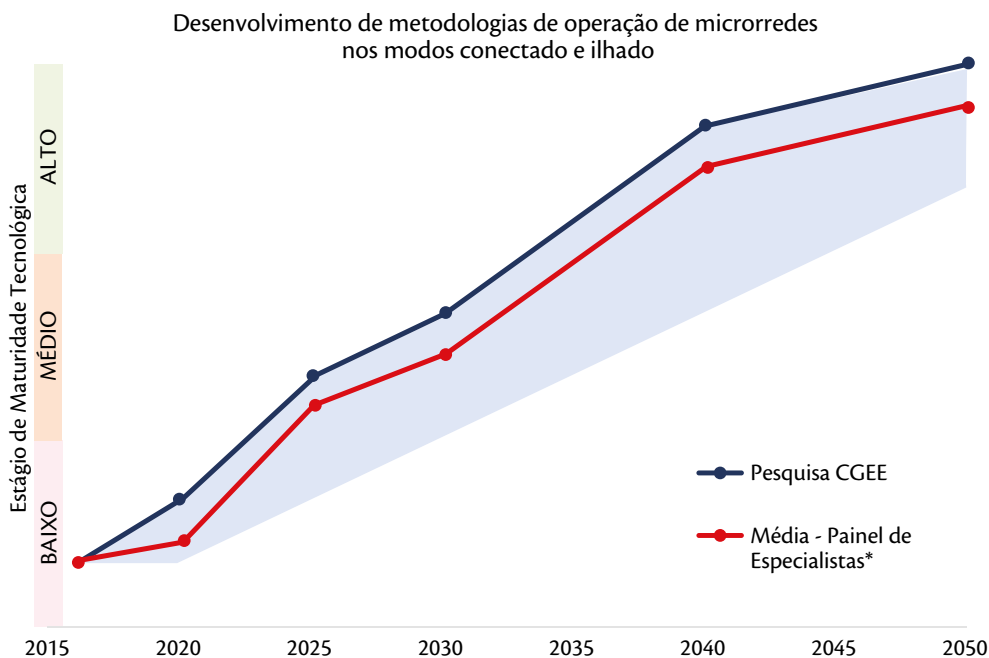


Gráfico 93 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de metodologias de operação de microrredes nos modos conectado e ilhado

Fonte: Elaboração própria.



Rota 5 - Desenvolvimento de procedimentos de interconexão

Com o crescimento esperado do uso de microrredes a partir de 2030, há a necessidade da discussão de suas técnicas de interconexão. Serão necessários mecanismos de formação de microrredes isoladas, sua reintegração à rede de distribuição e também a possibilidade de conexão de microrredes distintas. Nesta rota, observa-se a preocupação do controle de frequência no modo ilhado e também do suporte de tensão. Por volta de 2050, destacar-se-á a necessidade do controle centralizado para comandar a formação e a reintegração de microrredes a partir de um centro de comando.

Assim, verifica-se que o aumento da inserção de GD abre caminho para a operação de microrredes. Espera-se que, até 2030, as técnicas de operação e interconexão de microrredes estejam razoavelmente desenvolvidas, vide Gráfico 94.

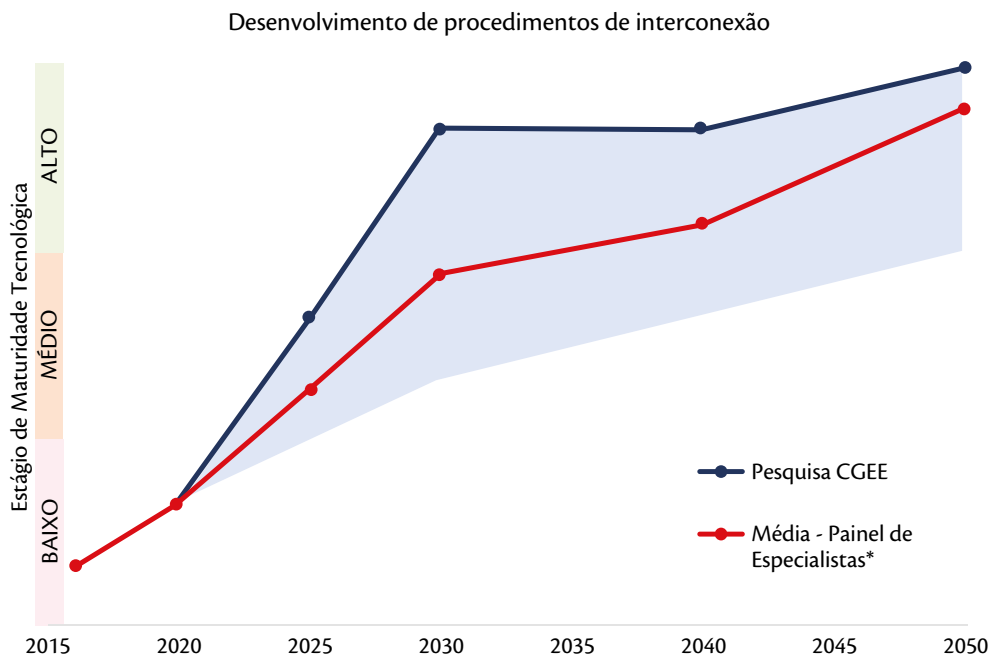


Gráfico 94 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de procedimentos de interconexão

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 51- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação de microrredes

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Operação de Microrredes	Desenvolvimento de metodologias de operação de microrredes nos modos conectado e ilhado	Fatores portadores de futuro	Estudo de técnicas de controles para suporte de frequência e tensão na condição de ilhamento não intencional; crescimento da penetração de GD (ainda baixa)					
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Desenvolvimento de procedimentos de interconexão	Fatores portadores de futuro	Crescimento da penetração de GD		Grupos de análise e estudo para criação de procedimentos		Necessidade do controle centralizado para comandar a formação e reintegração de microrredes a partir de um centro de comando	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.



11.3.3 Temática armazenamento de energia para integração de GD

Para esta temática, foram definidas duas rotas tecnológicas, conforme apresentado na Figura 56.

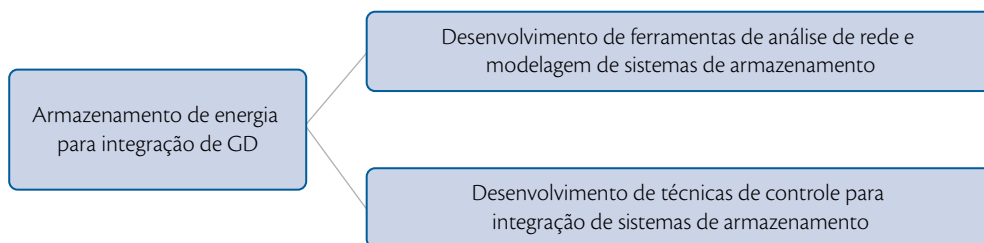


Figura 56 - Temática de armazenamento de energia para integração de GD

Fonte: Elaboração própria.

A rota de desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de sistemas de armazenamento trata da aplicação das tecnologias de armazenamento para facilitar a integração da geração distribuída com a rede de distribuição.

A rota de desenvolvimento de técnicas de controle para integração de sistemas de armazenamento avaliará o impacto do uso, em larga escala, de sistemas de armazenamento estacionário sobre a operação da rede de distribuição e uso dessas para suporte de tensão e frequência.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas no Gráfico 95 e Gráfico 96. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 6 - Desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de sistemas de armazenamento

Com o aumento da presença de GD, conjuntamente com tarifas dinâmicas, levar-se-á à adoção de sistemas de armazenamento. Para observar os efeitos da adoção de sistema armazenamento, contudo é necessário o desenvolvimento (ou adaptação das existentes) de ferramentas para análise de rede e de modelos das diversas tecnologias de armazenamento. Até 2025, estas ferramentas precisarão trabalhar principalmente no modo off-line. A partir de 2030, porém, possivelmente, surgirá a necessidade de controle centralizado, de forma que essas ferramentas deverão estar aptas a processar dados em tempo real (on-line).

Para a modelagem de sistemas de armazenamento, até 2020, os principais devem estar desenvolvidos, considerando seus possíveis controle locais. Em 2025, os modelos de sistemas de armazenamento devem ser integrados às ferramentas de análise de redes, as quais deverão considerar os modos de controle isolado. Em 2030, as ferramentas deverão estar prontas para a análise da rede com grande presença de sistemas de armazenamento e com controle centralizado, com possibilidade de despacho de potência ativa e reativa além de mecanismos para minimização de distorção harmônica.

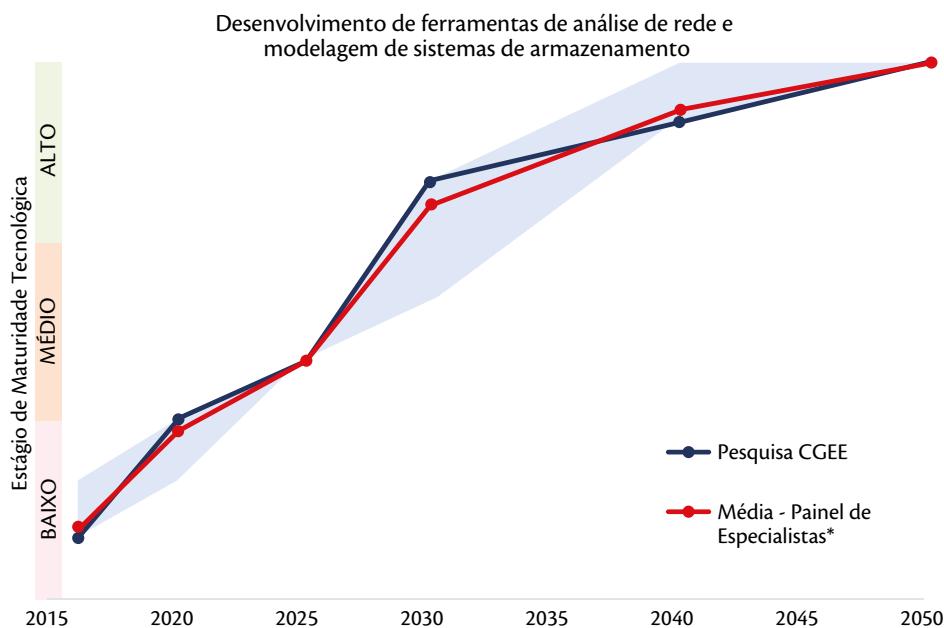


Gráfico 95 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de sistemas de armazenamento

Fonte: Elaboração própria.



Rota 7 - Desenvolvimento de técnicas de controle para integração de sistemas de armazenamento

Até 2030, os controles serão do tipo local, migrando, a partir daí, para controles centralizados. Com isso, busca-se alcançar melhor desempenho da rede, por meio do suporte de frequência e tensão. Assim, tanto no Gráfico 95 quanto no Gráfico 96, observa-se que evolução da maturidade tecnológica segue uma trajetória de crescimento acentuado até 2025, seguido por um crescimento linear até 2050. Isso mostra que a grande parte do desenvolvimento tecnológico sobre sistemas de armazenamento será atingido antes já em 2030.

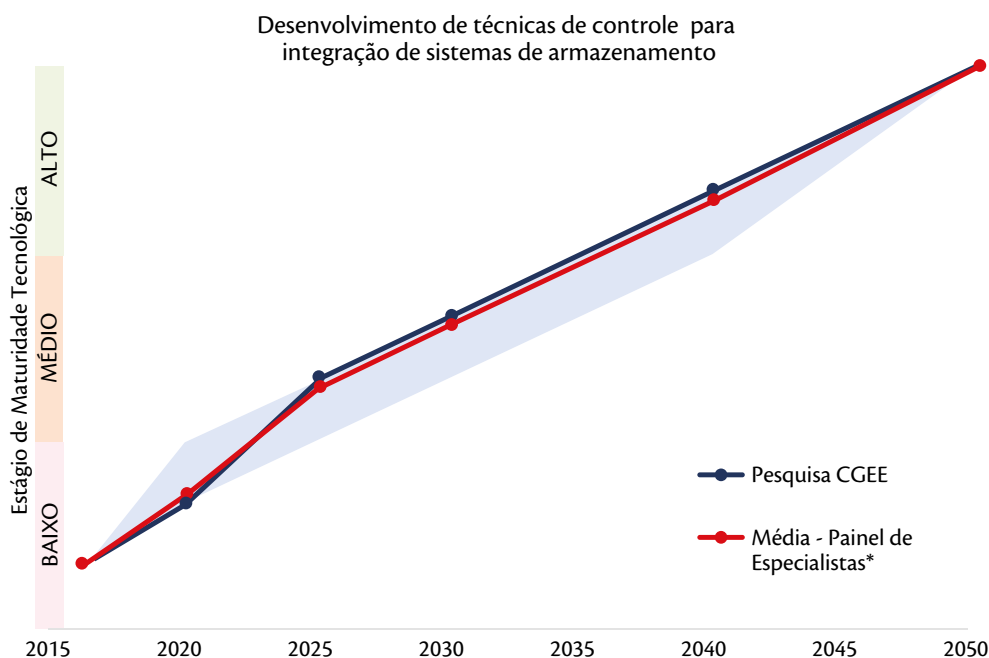


Gráfico 96 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de técnicas de controle para integração de sistemas de armazenamento

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 52 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de armazenamento de energia para integração de GD

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Armazenamento de energia para integração de GD	Desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de sistemas de armazenamento	Fatores portadores de futuro	Crescimento da penetração de GD; ferramentas de monitoramento da operação off-line; queda do preço das tecnologias			Adoção de tarifas dinâmicas; necessidade de controle centralizado; desenvolvimento de ferramentas para simulação off-line; desenvolvimento de novos materiais; melhorias em processos industriais de fabricação		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Desenvolvimento de técnicas de controle para integração de sistemas de armazenamento	Fatores portadores de futuro	Crescimento da penetração de GD; ferramentas de monitoramento da operação off-line; queda do preço das tecnologias			Adoção de tarifas dinâmicas; necessidade de controle centralizado; desenvolvimento de ferramentas para simulação off-line; desenvolvimento de novos materiais; melhorias em processos industriais de fabricação		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

11.3.4 Temática normatização para geração distribuída e microrredes

Essa temática apresenta apenas uma rota tecnológica, conforme apontado na Figura 57. A rota de desenvolvimento de requisitos de normatização, regulamentação e certificação para geração distribuída, microrredes e armazenamento tem como objetivo destacar a necessidade requisitos de conexão/ operação e aprimoramento das normas de qualidade de energia, fator de potência e manutenção na presença de geração distribuída e microrredes.

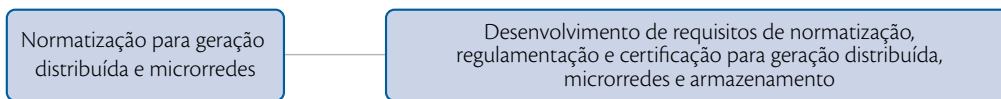


Figura 57 - Temática de normatização para geração distribuída e microrredes

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, é apresentada a curva de evolução da maturidade tecnológica da rota considerada - disposta no Gráfico 97. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 8 - Normatização para geração distribuída e microrredes

Atualmente, já existem normas e requisitos de operação para GD, porém ainda são necessárias discussões referentes à regulamentação da remuneração da GD e da concessionária de energia, a fim de ensejar conjuntura favorável para a disseminação dessas tecnologias. Considerando o cenário prospectado, tal regulamentação deve ser implementada até 2025. A partir do crescimento de mercado da GD, e conseqüente incentivo às microrredes e sistemas de armazenamento tornar-se-ão necessárias também as regulamentações para esses aspectos.

Destaca-se que, até 2030, os controles serão do tipo local migrando em 2030 para controles centralizados, buscando melhor desempenho da rede, por meio do suporte de frequência e tensão. Desta forma, neste período a maturidade desta rota tem de migrar de média a alta, conforme Gráfico 97.

Por fim, é importante ressaltar que, com o aumento da inserção da GD, normas direcionadas à redução de distorções harmônicas se tornarão imprescindíveis; até 2030, deverão ser consolidados os patamares de distorção harmônica, e até 2050, as normas para uso das tecnologias de mitigação harmônica.

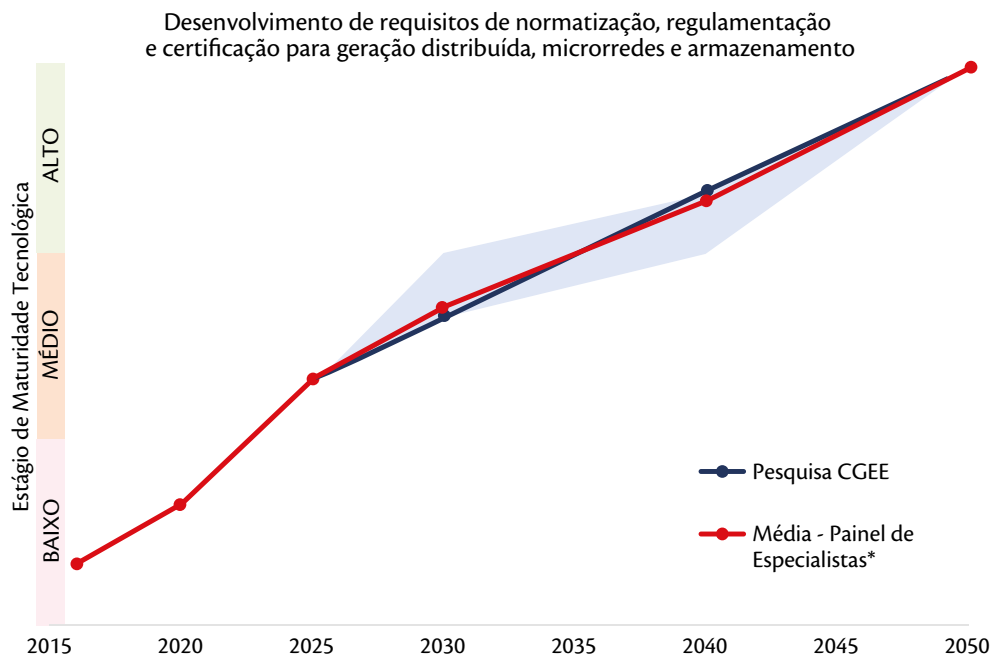


Gráfico 97 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de normatização para geração distribuída e microrredes

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução desta rota ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar a curva de evolução. Os fatores são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica da rota.



Tabela 53- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de normatização para geração distribuída e microrredes

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Desenvolvimento de requisitos de normatização, regulamentação e certificação para geração distribuída, microrredes e armazenamento		Fatores portadores de futuro	Estudo de normas e regulamentação para acomodar cenários futuros; crescimento da penetração de GD (ainda baixa); a GD deve ser apoiada pelo Governo com clara sinalização; participação dos Estados e Municípios			Elevada penetração de GD; ser política de Governo; regulamentação da tarifação já definida; definição da política de reciclagem; fortalecimento de centros de testes e ensaios		
			Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

11.4 Priorização

Nesse item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática **geração distribuída e microrredes**. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da Macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados na nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, crescentemente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **8**, pois são **oito** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira rodada, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda rodada, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 54.

Tabela 54 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática Geração Distribuída e Microrredes

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída	Geração distribuída no sistema de distribuição
2	Desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos	Geração distribuída no sistema de distribuição
3	Desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle da geração distribuída	Geração distribuída no sistema de distribuição
4	Desenvolvimento de requisitos de normatização, regulamentação e certificação para geração distribuída, microrredes e armazenamento	Normatização para geração distribuída e microrredes
5	Desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de sistemas de armazenamento	Armazenamento de energia para integração de GD
6	Desenvolvimento de técnicas de controle para integração de sistemas de armazenamento	Armazenamento de energia para integração de GD
7	Desenvolvimento de metodologias de operação de microrredes nos modos conectado e ilhado	Operação de Microrredes
8	Desenvolvimento de procedimentos de interconexão	Operação de Microrredes

Fonte: Elaboração própria.

As três rotas (rotas 1, 2 e 3) com maior prioridade estão relacionadas com a identificação dos efeitos da alta inserção da geração distribuída. Para tanto, duas rotas (rotas 2 e 3) com alta prioridade têm como tema o desenvolvimento de ferramentas de análise de redes e de técnicas de controles da GD. Nessas, observa-se a interdependência entre as rotas que se reflete na ordem de prioridade.

Em sequência, prioriza-se a rota referente à regulamentação e normatização de GD, armazenamento e microrredes. Sua priorização está relacionada à necessidade de definição de requisitos de conexão e operação, de aprimoramento das normas de qualidade de energia, fator de potência e manutenção na presença de geração distribuída e microrredes e melhor regulamentação da remuneração da GD, considerados condicionantes para o desenvolvimento do tema. Destaca-se, ainda, que esta rota estará em constante desenvolvimento em consonância com a adoção das tecnologias relacionadas.



As rotas 5 e 6 tratam de sistemas de armazenamento. Tal priorização leva em consideração que as restrições de transporte de energia serão agravadas com o aumento do consumo de energia do país. Logo, a longo prazo, a adoção de sistemas de armazenamento é uma medida interessante, que poderá reduzir os custos com expansão/repotencialização dos sistemas de transmissão e distribuição.

Por fim, o grupo de menor prioridade (rotas 7 e 8) está relacionado com operação de microrredes. O desenvolvimento desta rota depende de penetração mais elevada de GD, de modo que ocorrerá significativamente apenas a longo, justificando a priorização. Ressalva-se, contudo, a importância da operação ilhada de porções da rede de distribuição. A operação ilhada pode ser planejada buscando a melhoria da operação da rede ou não-intencional (ex. ocorrência de faltas na rede) pela qual se pode aumentar a disponibilidade de fornecimento de energia elétrica.



Capítulo 12



Capítulo 12

Macrotemática redes de distribuição aéreas e subterrâneas

A macrotemática redes aéreas e subterrâneas foi estruturada em quatro temáticas distintas, que abordam as tendências e possibilidades de PD&I, concernentes à renovação das redes de distribuição. As temáticas são apresentadas na Figura 58.

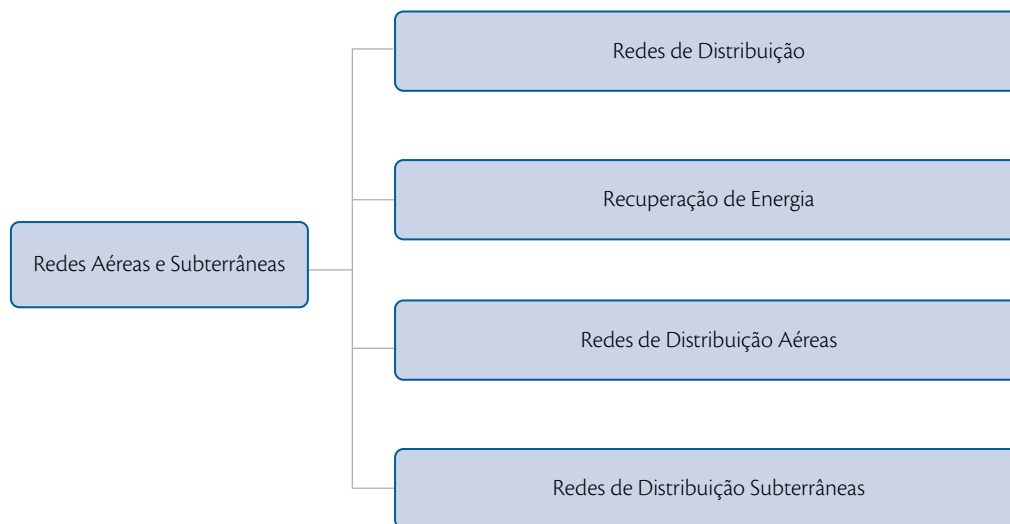


Figura 58 - Temáticas de redes aéreas e subterrâneas

Fonte: Elaboração própria.

Na visão proposta, foi considerado que, para tratar da macrotemática em questão, todas as empresas do setor têm, forçosamente, de passar pelas áreas de planejamento do sistema de engenharia da distribuição, de padrões de redes, padrões de projetos, de tecnologia e informação, de gestão e de controle da qualidade que ajudam a avaliar o desempenho da rede.

Assim, a macrotemática é inteiramente interdependente das outras constantes no plano de trabalho. É impossível se falar em redes de distribuição sem falar em operação, manutenção, automação, redes elétricas inteligentes (*smart grids*), regulação, medição, geração distribuída, etc. Dessa forma, para definir a delimitação dos assuntos abordados nesta seção, foram realizadas reuniões de balizamento entre subgrupos de outras macrotemáticas, de maneira que os temas aqui não apresentados, são tratados nos demais capítulos, com maior ênfase.

12.1 Visão de futuro

12.1.12 Cenário setorial

A visão de futuro da PD&I referente à macrotemática, as redes de distribuição aéreas e subterrâneas estão relacionadas às exigências de qualidade do serviço, como o aumento da confiabilidade da rede, o aumento da eficiência operacional da rede, a melhora da qualidade para o consumidor e o aumento da variedade dos serviços providos. Em contrapartida, surgem novas tecnologias que geram soluções para suprirem as necessidades atuais, trazendo diversos desafios para as redes de distribuição. Conhecer os problemas do sistema tradicional, a visão de futuro do sistema elétrico de potência e como os novos modelos alteram o sistema ajuda a entender esses desafios e suas possibilidades.

Dada a heterogeneidade das distribuidoras no Brasil, bem como a evolução dos indicadores de continuidade e tarifas dos últimos anos, estimar o cenário e a visão do futuro referente a esta macrotemática é uma tarefa complexa. O Brasil, sendo um país de dimensões continentais, detém uma variedade muito grande de necessidades no setor de distribuição - por exemplo, encontra-se em algumas áreas de concessão uma baixa densidade populacional, grandes distâncias entre as cidades, acesso dificultado nas áreas rurais, o que representa um cenário muito distinto do encontrado na região sudeste onde o desafio é, justamente, a integração da rede de distribuição com os grandes centros urbanos. Existem também os problemas referentes à necessidade de tecnologia para atender a regiões que envolvem intempéries ambientais, como poluição marinha severa, elevados índices de temperatura e tempestades que ocasionam níveis acima do normal de descargas atmosféricas (LOPES, 2015).



Em termos gerais, as projeções futuras devem considerar, fortemente, no mínimo 4 (quatro) condições de mercado, a saber:

- **O aumento da GD e os seus impactos** - Segundo a EPE, no período atual até 2025 ou 2030, haverá um crescimento de grandes centrais fotovoltaicas. Este crescimento será impulsionado pelas metas da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), em inglês [*Nationally Determined Contribution*] brasileira de maior participação de fontes renováveis não convencionais e, ao final deste período, apresentará uma redução de custos, tornando-a mais competitiva. Após 2030, haverá um forte crescimento da geração fotovoltaica com o incremento das tecnologias e da redução dos custos, para serem utilizadas em larga escala, em unidades residenciais ou em grupos de unidades de baixa renda. Esta implementação vai possibilitar o uso de tecnologia a favor da redução das perdas técnicas e não técnicas. Portanto as redes de distribuição deverão estar preparadas para atender à demanda gerada por estas tecnologias.
- **A crescente entrada de GD** – 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, no entanto os aproveitamentos de GD serão principalmente na zona urbana, já na GD rural considera-se que haverá aproveitamento em CGH, biomassa e biogás, sem subsídios, especialmente para autoprodução.
- **O melhor desempenho do sistema no desenvolvimento tecnológico de novos produtos** - O uso de tecnologia no desenvolvimento de novos produtos com base nas engenharias de materiais, química e eletrônica para proporcionar melhor desempenho do sistema, com menores custos, pesos e dimensões físicas reduzidas, além do melhor uso da infraestrutura de comunicações necessária para as funções das redes elétricas inteligentes assim como formas de mantê-las economicamente viáveis para os investimentos necessários (LOPES, 2015). Este fator aparece com grande urgência para o setor de distribuição que há uma infraestrutura frágil e antiga e que se torna cada vez mais obsoleta. Esse tipo de problema coloca em risco a operação de todo sistema, principalmente sobre uma ótica de longo prazo (BUDKA, 2010).
- **A redução de consumo e a eficiência energética** - O processo de eficiência energética, cada vez mais atuante para a redução de consumo. O horizonte para 2050 é de que 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. Para 2030, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir a demanda do país por energia elétrica de 10%, com base no consumo do ano de 2015, como resultado das ações de uso racional

da energia. Após este horizonte, haverá um crescimento perene destas ações.

- **A redução de custos com o armazenamento de energia** – O armazenamento de energia em processo contínuo de melhoria técnica e de redução de custos. O armazenamento, em pequena escala, deverá ocorrer em nível de distribuição, motivado e enquanto ocorrer a inserção de fontes intermitentes e de carros elétricos, entre outros, tanto em GD quanto no suprimento de pequenas unidades consumidoras. Com os atuais estudos de planejamento setorial, não é possível precisar a tecnologia vinculada, por exemplo: baterias, reservatórios de acumulação e usinas reversíveis, células a combustível;

As soluções tecnológicas devem ser nacionais e, de certa forma, locais, devido às particularidades regionais e heterogeneidade das distribuidoras brasileiras. A urbanização das cidades brasileiras, com arborização de grande porte e, às vezes, com edificações, próximas da rede, características do clima, custo e especialização da mão de obra, arcabouço regulatório devem ser fatores considerados no estabelecimento de soluções locais. Porém a aplicação de equipamentos e tecnologias já experimentadas com sucesso no exterior deve ser utilizada quando possível.

12.1.13 Objetivo geral

Dado o respectivo cenário, o objetivo geral desta macrotemática consiste em desenvolver produtos, 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 o descarte. Tais etapas, integradas de forma otimizada, visam à busca da melhoria contínua e constante nos níveis de segurança, qualidade do produto e do serviço.

12.1.14 Objetivo específico

Para suporte do objetivo geral desta macrotemática e visando à maior resiliência das redes de distribuição, é necessário que se obtenham, por meio do aporte à PD&I, os seguintes objetivos:



Curto prazo (2017-2020):

- Desenvolvimento e uso das tecnologias de realidade virtual e/ou aumentada para utilização na capacitação e treinamento de pessoal operacional nas atividades relacionadas à construção, operação e manutenção do sistema; considerando segurança e saúde.
- Projeto de sistemas de distribuição segmentados, ágeis e de implementação fácil.
- Desenvolvimento de mitigação de riscos através das aplicações de técnicas estatísticas visando à análise das alterações provocadas pelas constantes mudanças regulatórias, ambientais, sociais, técnicas e econômicas além de respectivos impactos na macrotemática de redes de distribuição aérea e subterrânea.

Médio prazo (2020-2030):

- Desenvolvimento de metodologia para a seleção ótima de investimentos, considerando o arcabouço regulatório técnico, a gestão de ativos e de tarifas (Prodist e Proret) vigente e os limites de receita para cobertura nas parcelas A e B, com a inserção da engenharia econômica mais forte dentro do planejamento de investimentos - ferramenta de vital importância para o futuro da distribuição.
- Desenvolvimento tecnológico (engenharia básica) de produtos e/ou de processos com o uso das engenharias de materiais, de eletrônica e da química nas áreas de isolantes para padrões de redes e desenvolvimento de metodologias para suas aplicações na construção e no desempenho das redes visando sempre à redução de custos e melhorias a agilidades nos processos de instalações.
- Desenvolvimento tecnológico de produtos e/ou de processos com o uso das engenharias de materiais, de eletrônica e da química nas áreas de medição e de perdas não técnicas, tais como a busca do medidor inviolável, sistemas antifurtos e antifraudes, sistema de gestão competente para o combate às perdas, sistemas de detecção de fraudes ou furtos, na rede elétrica, através do uso de ferramenta de previsão de carga (algoritmo genético, redes neurais, *support vector machine*).
- Desenvolvimento tecnológico de produtos e/ou de processos com o uso de engenharia civil, eletrônica, de materiais e da química nas áreas de sustentabilidade, isolantes e de produtos biodegradáveis.
- Desenvolvimento de metodologias e de ferramentas computacionais para a análise e tratamento de questões culturais, comportamentais, percepção pelo lado do cliente, financeiras e sociais e para a minimização das perdas não técnicas e a busca de soluções de questões relacionadas à gestão de consumo, tarifas, geração distribuída, etc.

- Desenvolvimento de ferramentas e/ou sistemas que façam uma avaliação proativa de possibilidade de ocorrência de defeitos, através do uso de veículos aéreos não tripulados e/ou de dispositivos ou sistemas para a identificação da degradação do isolamento e/ou das peças componentes dos equipamentos instalados na rede. Essas avaliações servirão de base de apoio à elaboração do plano de manutenção preventiva e preditiva do sistema, além de minimizar interrupções no fornecimento.
- Desenvolvimento de plano de descartes e/ou reuso de materiais e equipamentos de redes além de estudo de priorização de tratamento dos resíduos através de avaliação do impacto ambiental gerado.
- Desenvolvimento de novos arranjos de redes de distribuição em função da GD, eficiência energética e armazenamento.
- Desenvolvimento de arranjos e de ferramentas visando à integração das redes com os meios urbanos (meio ambiente e segurança)
- Desenvolvimento de produtos para atender a projetos que envolvam intempéries ambientais e climáticas, tais como a poluição marinha severa para condutores instalados na orla marítima, elevados índices de temperatura, descargas atmosféricas e ventanias, tornados, etc.

Longo prazo (2030-2050):

- Transporte de energia em tensões de distribuição, por meio de novos padrões de condutores, que sejam mais leves, tenham maior ampacidade (capacidade em amperes), apresentem menos perdas técnicas e sejam invioláveis para furtos de energia. Neste item está se incluindo os supercondutores.
- Tecnologias que viabilizem o desenvolvimento de produtos no futuro de transporte de energia sem fio.
- Estudos técnicos e econômicos para as novas alternativas de transporte de energia sem fio.
- Estudos técnicos e econômicos para definição de como deve ser feita a distribuição em corrente contínua em redes de média e alta tensão.
- Estudos técnicos e econômicos para a aplicação de corrente contínua em redes de média e alta tensão.
- Técnicas de planejamento de expansão para as novas configurações de rede e padronização de equipamentos (engenharia de materiais, química, nanotecnologia), considerando, de forma integrada, aspectos de: construção, operação, manutenção (gestão de ativos), regulação, engenharia econômica (riscos e depreciação) e técnicas de informática.



12.1.15 Fundamentação

A regulação do setor, realizada pela Aneel, surgiu como uma solução ao mercado de monopólio natural imposto pela estrutura da atividade, uma vez que, quanto maior o número de consumidores, menor o custo do negócio. No entanto a dependência em relação ao prestador de serviço faz com que o consumidor sinta que possui baixo poder em relação à empresa e à cobrança da conta de luz. Além disso, as tarifas são percebidas como altas e o consumidor que, na maioria das vezes, desconhece o funcionamento do medidor de energia, sente-se incapaz de compreender detalhes sobre o assunto. Assim, a avaliação do valor cobrado na conta de luz e o julgamento sobre a sua exatidão não costumam acontecer de forma totalmente objetiva, o que dá margens a dúvidas e desconfiança (MAYER, 2009). A falta de interação entre os serviços e os consumidores mostra a necessidade de criação de novos procedimentos para que os consumidores possam ser participativos, possibilitando que façam suas próprias escolhas sobre como utilizar a energia (PEPERMANS, 2005).

Além disso, o sistema tradicional é antigo, composto basicamente de equipamentos fisicamente robustos, com uma vida útil muito longa e desprovidos de recursos de comunicação, o que coloca em risco a operação do sistema de energia sob uma perspectiva de longo prazo (LO, 2012). A defasagem tecnológica das instalações do sistema elétrica é promovida pela inviabilidade econômica da substituição desses equipamentos antigos, mas que ainda estão em funcionamento, por dispositivos com uma tecnologia mais recente.

Outro problema das redes atuais é que elas foram projetadas para uma geração centralizada, longe dos grandes centros consumidores, com um fluxo unidirecional de comunicação e de energia, esse tipo de configuração de rede não suporta o advento da GD, além de poder restringir ou impedir o crescimento do sistema para atender à demanda de energia (LO, 2012). Ainda relacionado ao aumento da inserção de GD, outros dois pontos muito importantes são o controle e o gerenciamento, que deverão ser muito mais efetivos e precisarão abranger todos os componentes da rede inteligente. Esse cenário irá gerar uma grande quantidade de tráfego, às vezes, com requisitos de tempo real, necessitando de uma rede de comunicação rápida, robusta e confiável.

Considerando este cenário, caso a rede de energia não altere o seu modelo de infraestrutura e operação atual, dificilmente poderá melhorar os serviços e beneficiar a sociedade a longo prazo, assim os desenvolvimentos propostos nos itens anteriores são imprescindíveis. A seguir são os itens de maior importância que justificam os objetivos e a importância deles para as redes de distribuição:

Penetração da GD nas redes de distribuição:

A GD poderá mitigar eventuais efeitos da incerteza da demanda, de forma que tende a contribuir para um sistema de distribuição de energia mais eficiente (WRIGHT, 2007). Na América Latina, por exemplo, as concessionárias estão prevendo benefícios na redução de perdas (SOUZA, 2009).

A penetração da GD promete mitigar, também, o difícil acesso das redes de distribuição das concessionárias à determinadas regiões, por exemplo, áreas alagadas, distantes entre outras (SOUZA, 2009).

Por outro lado, a conexão de diferentes unidades de GD em alimentadores da rede de distribuição, tanto em caráter de centrais de geração como em residências, exigem estudos de simulação e ensaios de situações de regime permanente e transitório frente a perturbações nos sistemas (por exemplo, alívio de carga, curto-circuito e ilhamento). Além disso, devem ser feitos estudos a fim de definir qual o melhor ponto para alocação da GD, de modo a trazer benefícios para o sistema como um todo, tais como: diminuição das perdas, das violações no perfil de tensão e de sobrecarga das linhas. Somente com base nesses estudos é que será possível a análise de pedidos de conexão de unidades de GD na rede de distribuição.

Ademais, a implantação de uma rede elétrica inteligente (*smart grid*) traz propostas inovadoras que mudam de forma profunda a maneira como a energia é entregue aos consumidores finais, uma vez que altera toda a concepção do sistema atual se tornando um ponto-chave de alta criticidade (KESHAV, 2011). A segurança também é um fator chave, já que milhões de clientes que geram e consomem energia passam a influenciar diretamente no serviço oferecido pela rede de dados e pela rede elétrica (MÜLLER, 2012).

Redução das perdas não técnicas:

Apesar de haver o desenvolvimento de equipamentos e softwares voltados para o combate às perdas não técnicas e do fato de estudos apontarem que a implantação de redes inteligentes nas redes de distribuições promoverá a redução das perdas não técnicas, a experiência de algumas concessionárias mostra que somente a tecnologia não será suficiente para enfrentar o problema de perdas - essencial para a operação econômica sustentável do projeto a longo prazo. É necessária, também, uma abordagem social para mudar a percepção sobre a disponibilidade de energia e o valor das perdas para a sociedade sobre as oportunidades e benefícios das novas tecnologias (SANTINI JUNIOR, 2012).



Ressalta-se ainda que todas ações praticadas para a minimização das perdas não técnicas têm impactos, também, na redução das perdas técnicas, além da GD e a atuação da eficiência energética.

Tratamento de padrões estocásticos e incertezas:

Existe hoje uma grande dificuldade em obter, por meio da análise dos dados das distribuidoras, resultados conclusivos que auxiliem a identificação de ações. De forma geral, os modelos determinísticos de tratamento dos dados não são suficientes para análise e adoção de decisão, uma vez que existem diversas incertezas inerentes das atividades, dentre elas destacam-se: economia, política, regulatória, ambiental, social e técnico. Faz-se necessária a inserção de modelos estocásticos, a partir da engenharia econômica, que auxiliem no planejamento e gerenciamento financeiro e operacional das distribuidoras a partir de análise dos riscos e auxílio na tomada de decisão (BROWN, 2005).

Desenvolvimento de novos materiais:

O surgimento de novas tecnologias referentes a processos e produtos devido a aplicações de novos materiais, equipamentos e dispositivos a serem utilizados na rede de distribuição, considerando o incremento das engenharias de materiais, química, eletrônica e de TI assim como o desenvolvimento de cadeia produtiva nacional trazem inovações a serem consideradas no futuro. Ressalta-se que o uso da tecnologia de materiais visa proporcionar o desenvolvimento de equipamentos e produtos para melhorar o desempenho do sistema, em função de reduções de custos, pesos e dimensões físicas, além do melhor uso da infraestrutura de comunicações necessária para funções das redes elétricas inteligentes, assim como as formas de mantê-las, economicamente viáveis, para os investimentos necessários.

Integração das redes de distribuição com os meios urbanos:

Existe a necessidade de melhorar a integração das redes de distribuição com o ambiente urbano, incluindo questões abordadas pelo meio ambiente, segurança, estética e poluição visual. Para esta última, a percepção é bastante visível e está, ainda, contaminada pelas redes de telecomunicações, iluminação pública e redes de órgãos de segurança dos governos federal, estadual e municipal que compartilham o uso dos postes.

Chama-se a atenção para o problema do compartilhamento da infraestrutura na ocupação de espaços físicos, nos ativos postes das distribuidoras, que deverá considerar, entre outros a elaboração e manutenção cadastral de forma otimizada e automática, a padronização dos suportes de fixação dos cabos de outras concessionárias, as negociações com prefeituras, os órgãos de trânsito, as operadoras de telecomunicações assim como a definição de metodologia apropriada para cálculo do valor da cessão do espaço físico por ponto e por poste, o cálculo do percentual da modicidade tarifária a ser repassada à Aneel, períodos de transição, fiscalização, penalidades, etc.

Uso de realidade virtual para desenvolvimento de tecnologias e ferramentas para aumentar a segurança e melhorar o treinamento:

A crescente complexidade e os riscos inerentes ao funcionamento dos sistemas de distribuição de energia geram a necessidade do desenvolvimento e uso das tecnologias de realidade virtual e/ou aumentada para utilização na capacitação e treinamento de pessoal operacional nas atividades relacionadas à construção, operação e manutenção do sistema. O treinamento baseado em simulações tem a vantagem de ser seguro tanto para o pessoal quanto para o equipamento, oferecendo aos profissionais a oportunidade de estar exposto a uma variedade de cenários e a condições excepcionais que raramente ocorrem ou que são muito perigosas de se reproduzir (GARANT, 2002).

Tratamento dos resíduos gerados pelo desuso de equipamentos na rede de distribuição:

O apelo à responsabilidade social, mesmo que por força de legislação, e a necessidade de haver um convívio harmonioso entre a produção industrial e o meio ambiente têm gerado uma mudança de consciência e de valores e conseqüente mudança, na nossa realidade. Dessa forma, a variável meio ambiente vem sendo inevitavelmente inserida na gestão das empresas, inclusive como uma das diretrizes básicas. É necessário que seja desenvolvido novos materiais, metodologias, instruções e parcerias que garantam o efetivo ciclo de vida e reciclagem dos diversos insumos necessários à atividade de distribuição de energia (SANTOS FILHO, 2005).

12.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática, bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessária para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de



CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo). No contexto das redes de distribuição aéreas e subterrâneas, destacam-se as métricas:

Redução de perdas não técnicas:

Apenas em 2015, as perdas não técnicas das 59 principais distribuidoras do país representaram em torno de 5% da energia injetada nas redes de distribuição. Essa taxa pode corresponder a mais de 15 milhões de megawatts-hora (MWh) e um montante de mais de R\$ 8 bilhões. Por conseguinte, para garantia de seu equilíbrio financeiro, há muito interesse das concessionárias no desenvolvimento de estratégias para redução de perdas não técnicas.

Nesse sentido, espera-se maciço investimento no desenvolvimento de técnicas e metodologias para identificação e aumento da assertividade de clientes com possibilidades de furto e fraude; de medidores inteligentes invioláveis, baseados no avanço da engenharia química, de materiais e sistemas de TI; de ações comportamentais aplicadas aos funcionários das distribuidoras que poderão ter acesso ao sistema distribuidor e cometer o ato ilícito e aos consumidores susceptíveis ao assunto. Dessa forma, projeta-se redução gradual dos índices de perdas não técnicas, chegando a 2% em 2050.

Destaca-se, ainda, o papel da GD e dos novos conceitos de transporte de energia nesse aspecto: com o advento da GD, os antigos clientes passarão a atuar como parceiros das distribuidoras, estreitando sua relação e adicionando um novo agente ao combate às perdas. Por outro lado, os novos conceitos impactarão diretamente o meio físico da distribuição (por vezes o eliminando), de forma a aumentar significativamente a complexidade das ações de furtos e fraudes (com a possibilidade de inviabilizá-las). Por fim, é ressaltada a perspectiva de impacto e resultados mais positivos das estratégias de combate por ações comportamentais - dadas as pouquíssimas e irrisórias iniciativas, estas constituem uma tática inovadora, com grande expectativa de retorno.

Redução de perdas técnicas:

Para a redução de perdas técnicas, espera-se que, com o desenvolvimento de equipamentos e técnicas voltadas para redução das perdas técnicas, como novos transformadores, alocação de capacitores, cabos e supercondutores, haja uma redução contínua e gradual de perdas. Aqui, destacam-se novamente o papel dos avanços observados na engenharia de materiais e química e o da contribuição da GD para redução do carregamento da rede - e consequente diminuição de perdas técnicas.

Inadimplência:

Assim como as perdas não técnicas, as elevadas taxas de inadimplência afetam significativamente o caixa das concessionárias de distribuição. Em 2015, 1,74% da energia faturada permanecia inadimplente após 24 meses, o que pode representar um montante R\$ 3 bilhões. Dessa forma, há uma preocupação muito grande com essa questão, destinando-se esforços para melhoria dos processos de controle e gestão de faturamento regular e de cobrança e faturamento na ocorrência de irregularidade. Por meio de ações preventivas, estima-se que seja possível reduzir a inadimplência no primeiro mês para apenas 3% até 2050. Por fim, deve-se ressaltar a importância do desenvolvimento das redes elétricas inteligentes, da medição avançada e das atividades de corte-religa neste processo. Com a tecnologia de medidores inteligentes disponível para instalação em massa em 2025, o corte pode ser feito em minutos e não semanas, de forma que se tem o potencial de reduzir o indicador do primeiro mês, em vez do terceiro mês.

Indicadores de continuidade:

Devido à pressão social por melhora do serviço de distribuição, prevê-se, até 2020, a revisão dos indicadores de continuidade. Para 2025, estima-se que sejam combinadas, aos indicadores, métricas de satisfação - contribuindo para o equilíbrio entre a qualidade esperada pelos consumidores e a qualidade oferecida pelas distribuidoras. Para 2030, por sua vez, é necessário que se tenham métricas quantitativas e qualitativas combinadas em ambiente de análise avançado, culminando para melhora significativa da percepção do serviço de distribuição por parte dos consumidores.

Faixa de servidão:

Em relação às faixas de servidão, destaca-se a necessidade de redução significativa por meio do desenvolvimento de novas tecnologias e condutores mais condensados, devido ao processo de conurbação e à restrição de espaço físico dos centros urbanos densamente povoados. Nesse contexto, para 2020, prevê-se o desenvolvimento de estudos para definições de alternativas tecnológicas para aproveitamento de faixas de servidão em regiões de alta densidade de carga. Dessa forma, desenvolver-se-ão, em médio prazo, novas tecnologias para reduzir as faixas de servidão para as linhas de transmissão aéreas, em até 138 KV, nos grandes centros urbanos. Para longo prazo, espera-se, então, a implantação em larga escala das alternativas tecnológicas desenvolvidas.



Compartilhamento de infraestrutura:

No que tange à evolução da regulação para compartilhamento de infraestrutura, espera-se, para 2020, regulação técnica e econômica mais adequada ao serviço prestado pelas distribuidoras e as operadoras de telecomunicações. Assim, ter-se-á, até 2025, um sistema de gestão de coleta e controle de custos efetivamente gastos pelas distribuidoras, no segmento de outras receitas referentes ao compartilhamento de infraestrutura, para o cálculo do valor da cessão do espaço físico e da modicidade tarifária. Por fim, em longo prazo, o objetivo é o desenvolvimento de um sistema informatizado, visando à elaboração e manutenção cadastral das redes compartilhadas.

Especificamente quanto à estratégia setorial, ressalta-se a importância das parcelas referentes:

- ao meio ambiente e os aspectos sociais serão, daqui para frente, cada vez mais influentes no desenvolvimento de qualquer macrotemática, inclusive a de redes aéreas e subterrâneas;
- à regulação deverá ser a mola principal de destravamento da burocracia relacionada à legislação vigente no setor elétrico. O setor elétrico, no Brasil, necessita revisar o seu modelo adequando-o às novas necessidades de mercado. Itens como perdas não técnicas tem que ser repensados, porque essas perdas estão diretamente relacionadas ao desenvolvimento econômico e social brasileiro. Outros itens a serem reestudados são os impactos ambientais e de segurança física e operacional. A parte referente à modicidade tarifária e fator X deverão ser rediscutidos. Assunto bem relevante seria a adoção de custos reais ao invés de custos médios para definir tarifas e outros pontos importantes do modelo;
- à política e governança de incentivos deverá influenciar positivamente o desenvolvimento da macrotemática desde que o governo tenha iniciativas e elabore planos de incentivos ao desenvolvimento de novas tecnologias como as propostas;
- à cultura e a outros fatores externos - é importante notar que tanto a cultura como fatores externos não tecnológicos como atitudes comportamentais e educativas serão de grande influência na obtenção de resultados previstos, principalmente na rota tecnológica recuperação de energia.
- Em relação aos objetivos de estrutura e produção de CT&I, as dimensões de análises são:
- Recursos humanos, infraestrutura de CT&I, rede colaborativa e produção científica nacional e internacional são dimensões interligadas e interdependentes, sendo lógico que todas tendem a aumentar sempre devido à formação de novos pesquisadores, desenvolvimentos tecnológicos, redes colaborativas e infraestrutura de CT&I.

- Produção de patentes e projetos nacional e internacional em consequência da produção científica nacional e internacional. A tendência futura é de que a quantidade e qualidade das patentes seja sempre crescente.

Quanto ao objetivo de busca de apoio à indústria e ampliação do mercado tecnológico, acredita-se serem as dimensões de análise mais importantes da macrotemática, por que, sem o apoio incondicional da indústria e o conhecimento pleno do mercado a ser alcançado, não haverá grande desenvolvimento tecnológico que atenda os objetivos desta prospecção tecnológica.

Vários são os fatores que influenciam e possibilitam a evolução do setor na direção proposta, dentre eles se consideram: a criação de novos laboratórios, a montagem de infraestrutura para redes colaborativas, maior interação entre pesquisadores nacionais e internacionais, a elaboração de políticas públicas para possibilitar a inserção de grandes empresas mundiais salientada a fabricação de produtos para instalação no sistema elétrico assim como a formação de maior quantidade e melhor qualidade de mestres, doutores e pós doutores no Brasil. E, caso o citado não puder ser implementado ter-se-á a impossibilidade de se conseguir alcançar as previsões projetadas.

As métricas apresentadas neste item foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas neste estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

12.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesta seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

12.3.1 Temática redes de distribuição

Para a temática redes de distribuição, foram definidas quatro rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 59.

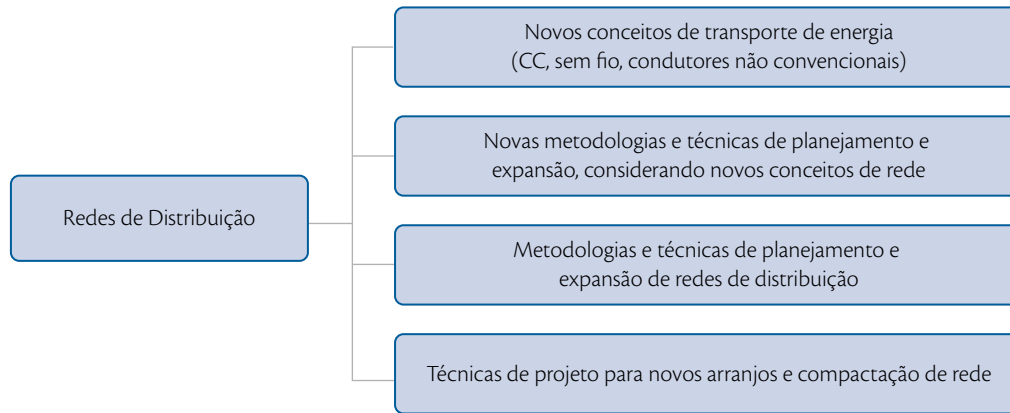


Figura 59 - Temática de redes de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 98 ao Gráfico 101. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 1 - Novos conceitos de transporte de energia (CC, sem fio, condutores não convencionais)

Esta rota é indispensável para a continuidade dos serviços de distribuição de energia elétrica com qualidade, preços módicos e atendimento aos itens de segurança e sustentabilidade. Trata-se de desenvolvimento tecnológico de alto nível, razão pela qual o gráfico demonstra o seu início a partir de 2025, em um nível de maturidade baixo, e em 2050, possivelmente, alcançará níveis ainda médios de maturidade, conforme visualizado no Gráfico 98.

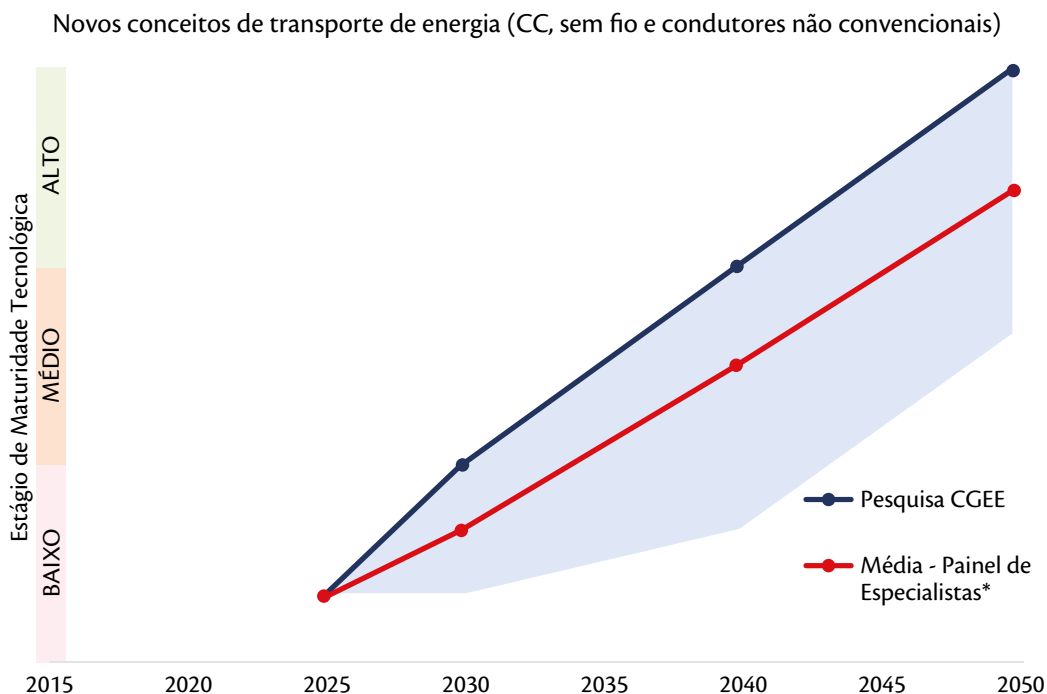


Gráfico 98 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novos conceitos de transporte de energia (CC, sem fio, condutores não convencionais)

Fonte: Elaboração própria.

No período compreendido entre 2016 e 2020, há um grande desconhecimento sobre os assuntos tratados nesta rota. Desta forma, a evolução tecnológica se dará de maneira bastante lenta por falta de definições nos caminhos a serem seguidos. Tanto as empresas distribuidoras como os agentes externos estão sem condições de elaborar planos estratégicos e linhas de pesquisa sobre o assunto. O processo de avaliação do estado da arte internacional levantado sobre o tema proposto se inicia, então, entre 2020 e 2025. A indisponibilidade de recursos financeiros e infraestrutura laboratorial, além da falta de formações de profissionais brasileiros, contudo, são fatores limitadores para o avanço tecnológico exigido.

Assim, a passagem dos níveis de maturidade de baixa para média se estenderá ao longo do período. Apesar da morosidade, sua evolução possibilitará grandes transformações na engenharia de distribuição e o desenvolvimento de novos padrões, as quais, por sua vez, ensejarão um aumento significativo na cadeia produtiva, com a fabricação de novos produtos a serem utilizados em redes de distribuição aérea e subterrânea.



O desenvolvimento das tecnologias referentes a essa rota implicarão, quando maduras, em total mudança de direção nas ações e atividades voltadas para a redução de perdas técnicas e não técnicas. No caso das perdas técnicas, dadas pela Lei de Joule, as novas alternativas de transporte de energia alterarão os parâmetros de resistência e reatâncias dos condutores, reduzindo-os significativamente e chegando a praticamente zerá-los no caso de redes sem fio.

Quanto às perdas não técnicas, o impacto é quase consequência do explanado no parágrafo anterior. À proporção que surjam novas alternativas de transporte de energia e que os novos tipos de condutores padronizados ofereçam melhores condições de dificultar a produção de desvios de corrente das redes, incluindo os ramais, grande parte das perdas provocadas por furtos de energia (cerca de 60%) deixarão de existir ou serão minimizadas ao extremo.

Por fim, o advento de novos tipos de condutores ou a própria ausência deles provocará uma mudança grande na transmissão de dados e de informações pelas redes elétricas. Assim, estudos terão de ser desenvolvidos, concomitantemente, com a padronização de novos condutores. Isto é, só deverão ser considerados bons tipos de condutores aqueles que atenderem tanto à redução de perdas quanto à passagem de dados e/ou informações.

Rota 2 - Novas metodologias e técnicas de planejamento e expansão, considerando novos conceitos de rede

Esta rota define a trajetória tecnológica sobre novos modelos e sistemas relacionados ao planejamento do sistema elétrico. Com a aplicação de novos conceitos de rede e novos tipos de condutores, não de surgir novas ferramentas e técnicas de planejamento, mais adequadas a essa realidade. Com a redução de perdas técnicas e não técnicas associadas a tal advento tecnológico, por exemplo, pode-se reduzir os investimentos necessários para atendimento ao mesmo mercado, alterando o plano de obras e de investimento da distribuidora. Ademais, é normal que desenvolvimentos desta natureza venham a provocar mudanças grandes, também, na padronização de redes. Nesse contexto, a evolução da maturidade tecnológica desta rota é apresentada no Gráfico 99.

Novas Metodologias e Técnicas de Planejamento e Expansão, considerando novos conceitos de rede

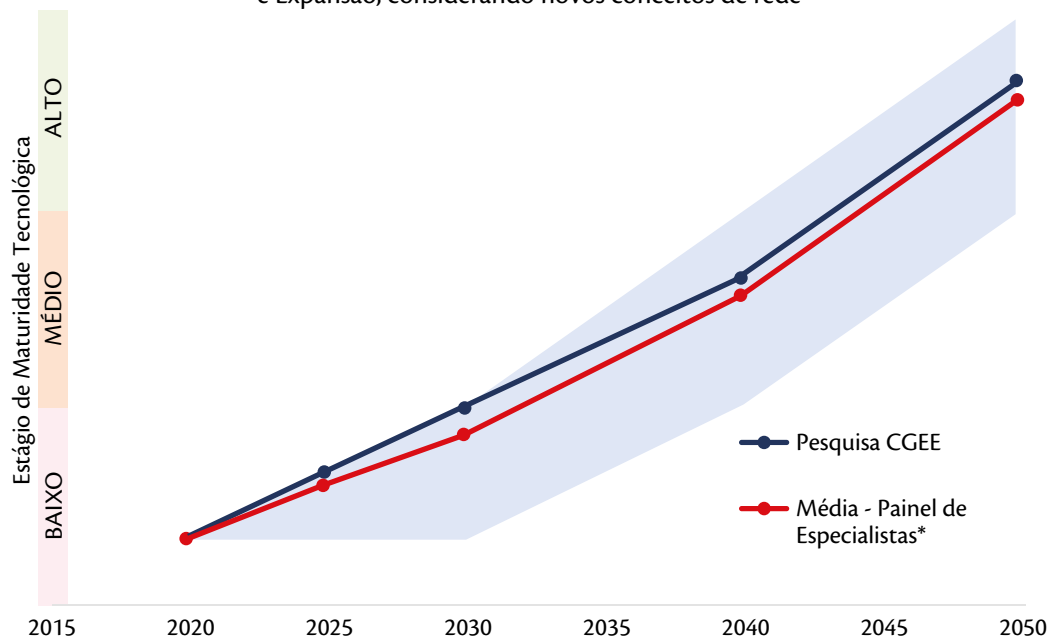


Gráfico 99 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novas metodologias e técnicas de planejamento e expansão

Fonte: Elaboração própria.

Devido a seu caráter inovador, houve grandes discussões no entendimento do que está previsto para esta rota. Chamou-se a atenção para o fato de que quaisquer avaliações técnicas a serem listadas e apontadas no gráfico deverão estar concluídas e implementadas no Brasil, como um todo (entre 70 e 80% da quantidade de distribuidoras existentes) no ano constante no gráfico.

Considerou-se que o desenvolvimento da rota iniciará em 2020, e que a preocupação do grupo responsável é com os prazos curtos, razão pela qual a faixa de variação é relativamente estreita. A partir de 2030, deverá, então, haver uma ruptura de paradigma da tecnologia atual, com o surgimento de novas técnicas e ferramentas que produzirão uma agilidade e acerto muito mais preciso do que os atuais.

Não obstante se destaca que, para que esse desenvolvimento se concretize, é imprescindível a disponibilidade de infraestrutura tecnológica referente à matemática avançada e aplicada a modelos de engenharia assim como na área de tecnologia da informação. Sua ausência poderá ser o maior entrave no desenvolvimento de novas ferramentas para uso no planejamento da expansão do sistema.



Rota 3 - Metodologias e técnicas de planejamento e expansão de redes de distribuição

Esta rota aponta para as técnicas e ferramentas conhecidas e aplicadas em sistemas que elaboram planejamentos de redes de distribuição aérea e subterrânea. Por ser uma rota em que a maioria das empresas distribuidoras detêm o conhecimento elétrico, porém lhes falta apenas o pleno conhecimento da parte relacionada à engenharia econômica e riscos e existem incertezas, estima-se que o nível de maturidade máximo será atingido em 2030, conforme Gráfico 100. Para tanto, enfatiza-se a necessidade de se ter um cadastro de dados e informações confiável, bem como o reconhecimento pelos órgãos reguladores da importância dos projetos que tratam de formação de cadastro como PD&I. É necessário, outrossim, maior integração entre os pesquisadores das distribuidoras para homogeneização do conhecimento, de forma que os desenvolvimentos desta rota sejam, totalmente, absorvidos pela integralidade das distribuidoras no Brasil.

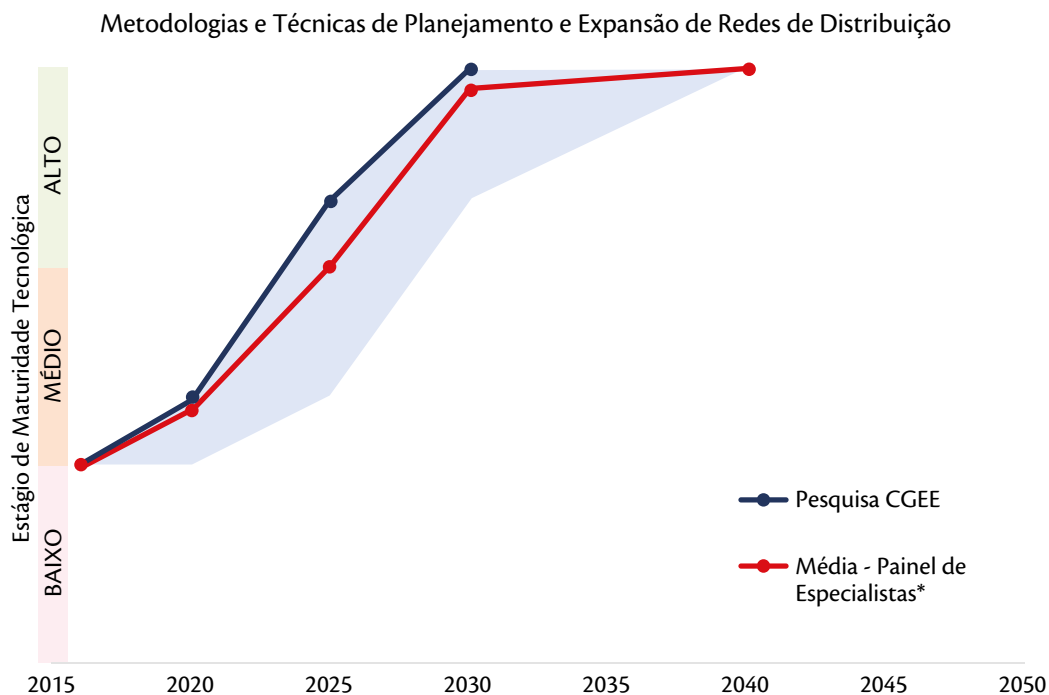


Gráfico 100 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias e técnicas de planejamento e expansão de redes de distribuição

Fonte: Elaboração própria.

Rota 4 - Técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede

Esta rota trata de projetos para novos arranjos e compactação de rede e envolve técnicas e ferramentas conhecidas, bem como novos desenvolvimentos tecnológicos para a elaboração de projetos de forma mais ágil, observando a minimização de erros e mais assertividade, isto é, evitando erros de projetos entre a sua elaboração e a efetiva execução. Por ter uma interdependência muito grande com outras rotas e temáticas, esta deverá ter um desenvolvimento integrado e ajustado em função da disponibilidade de recursos, da viabilidade de emissão de novas políticas públicas, da capacitação de profissionais e da cadeia produtiva nacional.

Com o estudo e redefinição das técnicas de projeto, visando a sua agilização e, ao mesmo tempo, uma redução dos custos previstos, haverá melhora substancial nas análises e no diagnóstico mais apropriado e preciso. Assim, poderão ser desenvolvidas tecnologias e respectivas sistematizações visando garantir um melhor controle e gestão sobre as perdas não técnicas.

É preciso, também, estudar os equipamentos e condutores padronizados atualmente e avaliar as possíveis transformações a serem realizadas visando à redução de perdas técnicas, por meio do uso de novos materiais isolantes e das engenharias química, de processos e de materiais. É bom lembrar ainda que para projetar e fabricar quaisquer novos equipamentos será sempre necessária a realização de ensaios e o acompanhamento dos desempenhos. Estes novos desenvolvimentos deverão ser mais leves e de dimensões físicas reduzidas em relação ao seu similar.

A maioria das grandes distribuidoras já estão avançadas nestes quesitos, porém há a necessidade de novos desenvolvimentos para aumentar os ganhos financeiros e técnicos. Assim, conforme ilustrado no Gráfico 101, prevê-se que a maturidade máxima seja atingida entre 2030 e 2040 - considerando a implementação das atuais e novas tecnologias a serem desenvolvidas na quase totalidade das distribuidoras brasileiras.

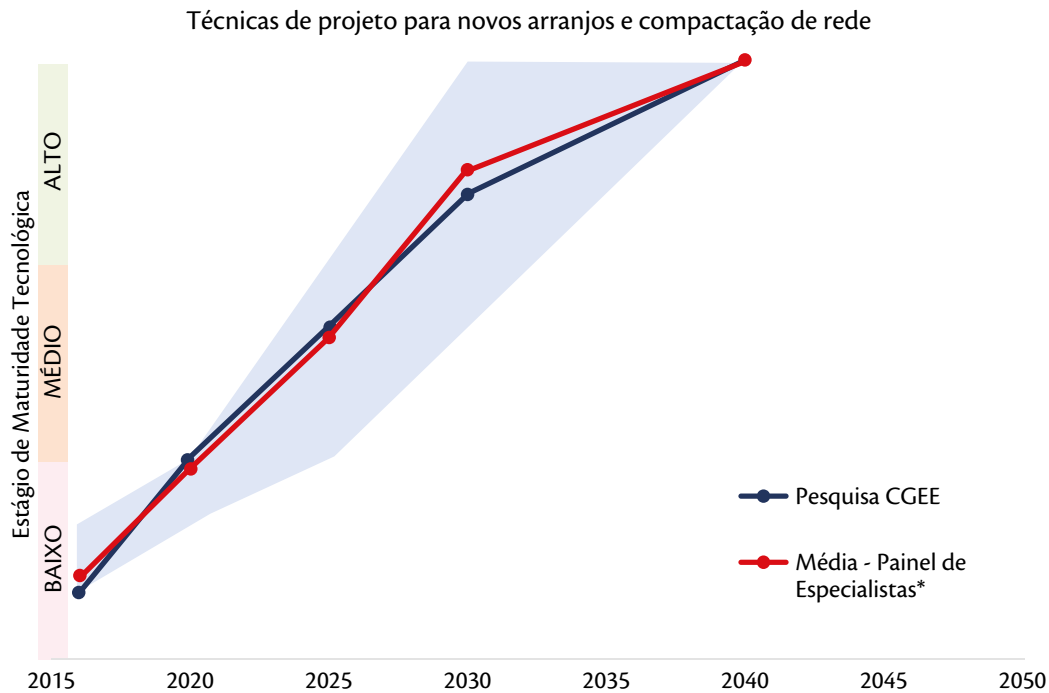


Gráfico 101 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 55 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática redes de distribuição

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Redes de Distribuição	Novos conceitos de transporte de energia (CC, sem fio e condutores não convencionais)	Fatores portadores de futuro	Grande desconhecimento sobre os assuntos tratados nesta rota; necessidade de definições nos caminhos a serem seguidos; demanda elevada da avidez deste conhecimento; possibilidade de formação de pesquisadores, de uma rede colaborativa e disponibilização de recursos; necessidade de recursos financeiros e infraestrutura laboratorial			Riscos e as incertezas de mercado; convênios entre universidades nacionais e internacionais; parcerias entre universidades, centros de pesquisas e fabricantes; necessidade de recursos financeiros; capacitação profissional		Legislação vigente que tem que ser preparada para normatizar o uso das novas tecnologias e definir critérios de avaliação e de fiscalização; necessidade de recursos financeiros; capacitação profissional	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO		
	Novas Metodologias e Técnicas de Planejamento e Expansão, considerando novos conceitos de rede	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de recursos e formação de pesquisadores			Convênios entre universidades nacionais e internacionais; parcerias entre universidades, centros de pesquisas e fabricantes; necessidade de recursos financeiros; capacitação profissional; infraestrutura tecnológica referente à matemática avançada e aplicada a modelos de engenharia assim como na área de tecnologia da informação			
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO		
	Metodologias e Técnicas de Planejamento e Expansão de Redes de Distribuição	Fatores portadores de futuro	Experiência das distribuidoras de maior porte; necessidade de um cadastro de dados e informações confiável		Necessidade de recursos financeiros e humanos, nas distribuidoras de porte médio e pequeno, para obtenção da capacitação e de ferramentas necessárias visando à elaboração e manutenção cadastral		Integração e redes colaborativas entre os pesquisadores das distribuidoras para homogeneização do conhecimento; parcerias entre universidades, centros de pesquisas e fabricantes; disponibilidade de recursos financeiros		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				
	Técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede	Fatores portadores de futuro	Necessidade de levantamentos exaustivos a níveis nacional e internacional sobre o assunto; aumento da produção científica			Convênios entre universidades nacionais e internacionais; parcerias entre universidades, centros de pesquisas e fabricantes; necessidade de recursos financeiros; capacitação profissional; Formação de redes colaborativas			
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.



12.3.2 Temática recuperação de energia

Para a temática recuperação de energia, foram definidas quatro rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 60.

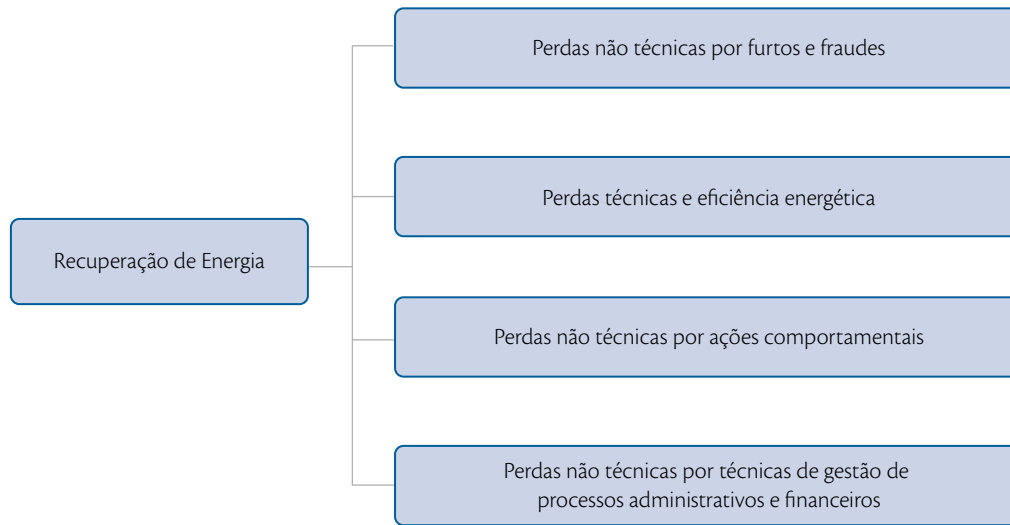


Figura 60 - Temática de recuperação de energia

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 102 ao Gráfico 105. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 5 - Perdas não técnicas por furtos e fraudes

A rota 5 indica a necessidade de se ter um caminho para tentar solucionar, ou pelo menos, controlar e minimizar os prejuízos financeiros que as distribuidoras estão tendo em função do aumento gradual e sucessivo dos índices de perdas não técnicas em todas as regiões do país. Assim, fatores externos como a situação política e econômica do país são os que mais prejudicam e impactam negativamente a evolução desta rota. Citam-se, ainda, outros fatores importantes como regulação, tarifas caras, qualidade do fornecimento, segurança, meio ambiente, etc. porém todos estão relacionados de alguma forma ao primeiro apontado.

Para esta rota, a curva de evolução de maturidade, apresentada no Gráfico 102, indica duas tendências de desenvolvimento tecnológico. O maior grupo de especialistas optou pelo esgotamento do assunto em 2040, o que demonstra que daí para frente todas as tecnologias existentes não solucionarão por completo as irregularidades cometidas através de furtos e fraudes na rede. Por outro lado, apontou-se que, após 2040, poderá haver o desenvolvimento de novas tecnologias nas áreas de medição e de redes que poderão solucionar os problemas ainda persistentes e os novos que surgirem. Esta opção por novos desenvolvimentos está sendo apontada em função dos resultados previstos na rota 1, que trata de novos conceitos de transporte de energia. Por esta razão, verifica-se a faixa de variação apresentada no gráfico. Ressalta-se, ainda, que as propostas foram apresentadas porque é difícil concluir no longo prazo que todos os problemas estarão solucionados e resolvidos com as tecnologias existentes: tanto a área de medição como a de sistemas e a de equipamentos deverão evoluir com a inserção da nanotecnologia e das engenharias química e de materiais em novos desenvolvimentos tecnológicos.

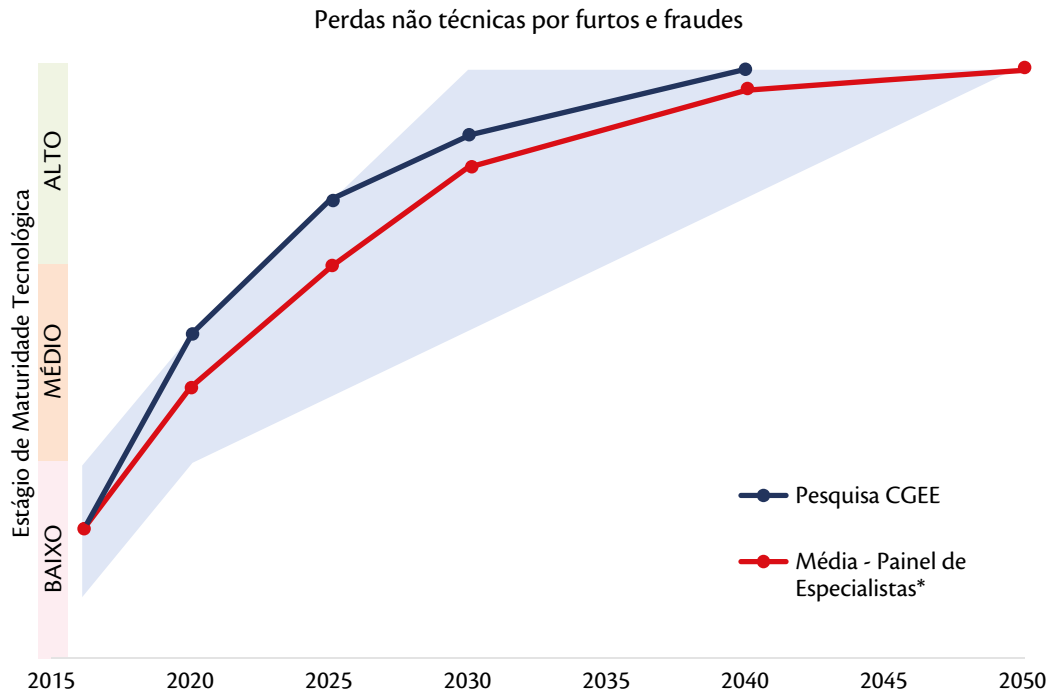


Gráfico 102 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de perdas não técnicas por furtos e fraudes

Fonte: Elaboração própria.

A evolução desta rota mostra uma condição técnica bem adequada às necessidades de atendimento às estratégias das distribuidoras. Ressalta-se que há um grande intercâmbio técnico e de trocas de ideias entre as equipes das distribuidoras instaladas no Brasil. Este aprendizado, além do conhecimento adquirido continuamente, fez e faz com que os nossos técnicos sejam reconhecidos nacional e até internacionalmente nas atividades de combate a furtos e fraudes. É importante notar que o avanço tecnológico que vem sendo diuturnamente alcançado, deveu-se à busca constante de soluções para problemas praticados pelos fraudadores e furtadores, que também se esmeram em produzir novas formas de praticar as irregularidades.

Assim, a nossa engenharia, tanto na área de medição como na de padrões e normas de redes, vive em constante evolução, sempre em busca de novas e originais ideias para minimizar os danos provocados pelos causadores das irregularidades, ensejando o desenvolvimento proposto acima.

Rota 6 - Perdas técnicas e eficiência energética

A evolução desta rota, apresentada no Gráfico 6, deve se justificar, primeiramente, pelas necessidades de as distribuidoras minimizarem as perdas técnicas, bem mais complexas que as não técnicas. Este caminho deverá ser impulsionado pela sua inclusão nos planos estratégicos das empresas com a disponibilização de mais recursos. Por outro lado, haverá também a necessidade de preparação de infraestrutura de pesquisa nas empresas fornecedoras dos equipamentos, pois sem isto poderão ser provocados entraves significativos nos novos desenvolvimentos. Por fim, chama-se a atenção para o fato de que há interesses diferentes entre os diversos agentes, mas complementares no sentido de atuar na minimização das perdas técnicas a na continuidade do processo de eficientização energética. À medida que os componentes de rede são melhorados e novas tecnologias são desenvolvidas, a rede elétrica deve estar preparada para absorver de forma fácil e rápida as inovações. Assim, é bem visto o estudo das alternativas para transporte de energia como previsto na Rota 1, o que deverá provocar uma mudança muito grande nos valores das perdas técnicas nos novos padrões de condutores.

No Gráfico 103, observam-se duas tendências de evolução tecnológica: uma em que o nível de maturidade mais alto é alcançado em 2040, e uma segunda cujo desenvolvimento será concluído em 2050. No primeiro caso, deve-se atuar na melhoria das perdas técnicas dissipadas nos equipamentos e condutores padronizados atualmente. Já no segundo caso, cogita-se a fabricação de novos equipamentos e tipos de condutores (rota 1). No caso da eficiência energética, tem-se um processo contínuo em que praticamente todas as tecnologias envolvidas já são de conhecimento da grande maioria das distribuidoras.

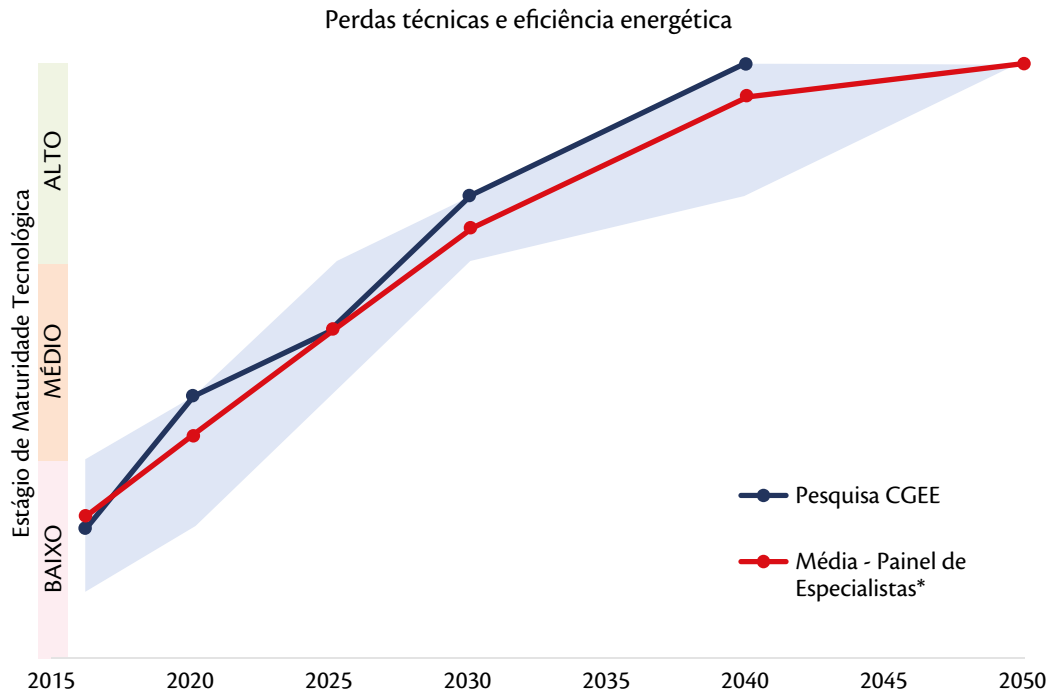


Gráfico 103 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de perdas técnicas e eficiência energética

Fonte: Elaboração própria.

Rota 7 - Perdas não técnicas por ações comportamentais

A rota 7 indica a necessidade de se ter um outro caminho para tentar solucionar, ou pelo menos, controlar e minimizar os prejuízos financeiros que as distribuidoras estão tendo em função do aumento gradual e sucessivo dos índices de perdas não técnicas em todas as regiões do país. Este caminho seria através de aplicações de ações educacionais e comportamentais a serem aplicados em dois grupos de pessoas envolvidas no problema, a saber: as que fazem as fraudes e os furtos e as que se aproveitam disso.

Para a rota, fatores externos como a situação política e econômica do país são os que mais prejudicam e impactam negativamente a evolução. Outros fatores são também impactantes, tais qual a aceitação dos órgãos reguladores desta nova ferramenta, a disponibilização de mais recursos aceitos como investimentos pela Aneel, além da contribuição das universidades e de órgão públicos especializados no assunto. Considerando tais fatores, foi a evolução da maturidade tecnológica foi projetada tal qual Gráfico 104.

Perdas não técnicas por técnicas por ações comportamentais

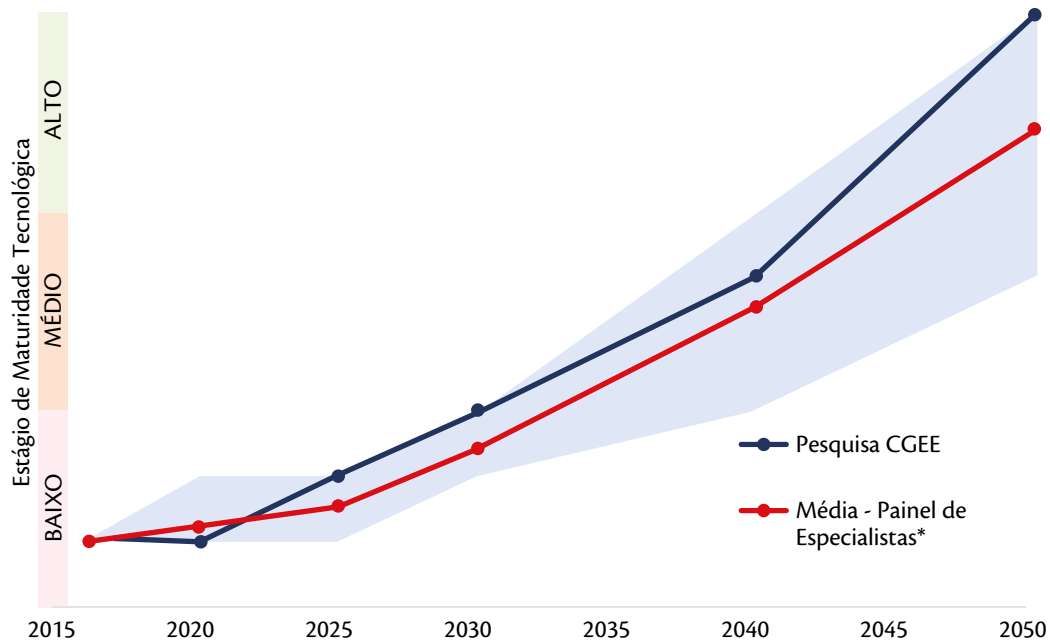


Gráfico 104 - Evolução da maturidade tecnológica das perdas não técnicas por ações comportamentais

Fonte: Elaboração própria.

Esta rota deverá ter início imediato, com desenvolvimento contínuo até o fim do período analisado, já que todas as ações, técnicas e implementações a serem consideradas dependem de estudos e pesquisas no campo social. Destaca-se que se está falando em agir nos dois lados de atuação do problema, isto é, no lado dos profissionais das distribuidoras que cometem irregularidades e no lado dos consumidores que são receptores das benesses econômicas obtidas. Decorre disto o porquê da necessidade de implementação imediata, pois este foi o único caminho ainda não utilizado pelas distribuidoras para combater as perdas não técnicas.

A evolução desta rota tecnológica deverá ser, no princípio muito rápida, para em seguida ter um caminho mais lento. Na fase rápida, muitas ideias surgirão, necessitando de comprovações práticas em todas as regiões do Brasil. Ressalta-se, ainda, que no Brasil já há profissionais nas distribuidoras e em fornecedores, além de professores universitários em quantidade e qualidade suficientes, para atender ao previsto na evolução da rota. No entanto as distribuidoras, por meio das suas altas direções, deverão estar comprometidas com as diretrizes, projetos e ações de campo desenvolvidas, pois sem isto, haverá entraves que poderão inviabilizar os resultados previstos.



Rota 8 - Perdas não técnicas por técnicas de gestão de processos administrativos e financeiros

A evolução desta rota, indicada no Gráfico 105, é de fundamental importância porque é independente de fatores externos, isto é, toda a sua sistemática e evolução dar-se-ão exclusivamente em função da vontade própria das distribuidoras. Todas as ações e atividades a serem planejadas e desenvolvidas são internas e tratam de melhoria na gestão e no controle correto dos processos administrativos e financeiros envolvidos.

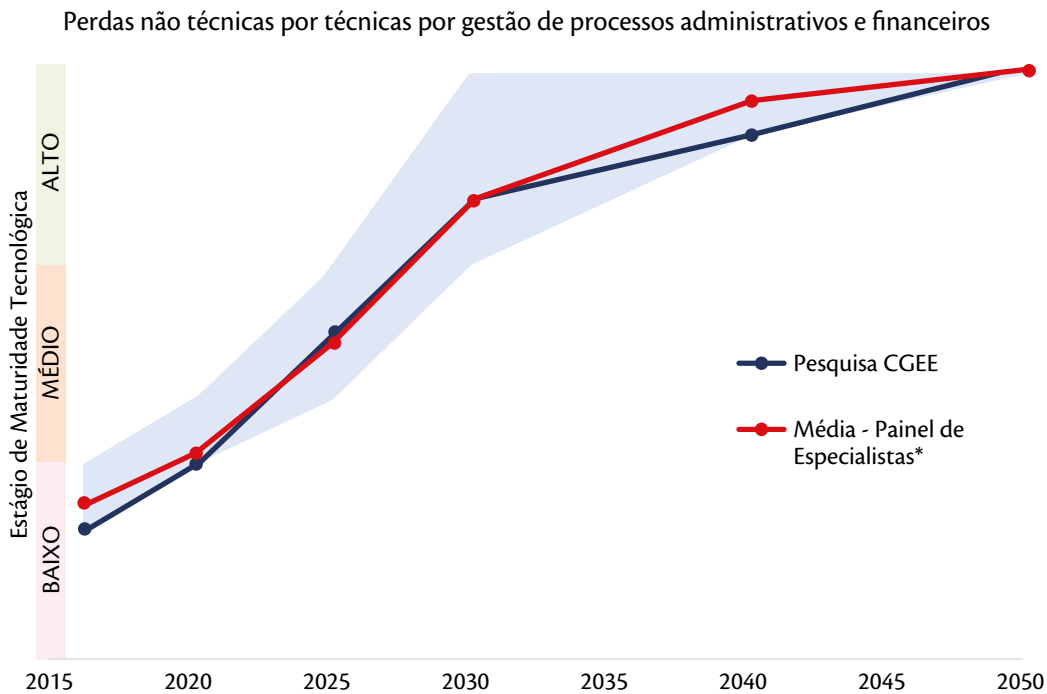


Gráfico 105 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de perdas não técnicas por técnicas de gestão de processos administrativos e financeiros

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que praticamente todos os especialistas tiveram o mesmo posicionamento no caminho da maturidade. Sabe-se que, para este fim, muito já é realizado pelas empresas distribuidoras de grande porte, mas, mesmo nelas, ainda são necessárias muitas complementações, como por exemplo o controle da gestão da inadimplência, principalmente, para evitar que ela ocorra por ações de prevenção. Outro aspecto que deve ser melhor desenvolvido é o de controle da receita prevista e efetivamente recebida referente a furtos e fraudes de energia. Assim, esta rota tem impacto financeiro bastante relevante no fechamento do balanço do combate a perdas não técnicas de qualquer distribuidora.

Percebe-se que o início do desenvolvimento vem acontecendo já há algum tempo, razão do nível de maturidade inicial da rota. Não obstante, espera-se que sua conclusão ocorra apenas em 2050.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados nesse estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 56 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática recuperação de energia

Temática	Rota	Dado	Período									
			2016	2020	2025	2030	2040	2050				
Recuperação de Energia	Perdas não técnicas por furtos e fraudes	Fatores portadores de futuro	Necessidade de recursos financeiros; necessidade de manutenção cadastral das redes e dos consumidores	Desenvolvimento de novas tecnologias na área de medição (fraudes), através da aplicação das engenharias química e de materiais; desenvolvimento de equipamentos e sistemas de localização e inibição dos furtos e fraudes	Políticas públicas para usar a GD como ferramenta de solução para combater as perdas não técnicas; necessidade de regulação bem definida sobre a implementação de GD; aumento da penetração de geração distribuída	Condição econômica do país; disponibilidade de recursos financeiros; possibilidade de formação de pesquisadores, de uma rede colaborativa e disponibilização de recursos	Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		
		BAIXO						MÉDIO	ALTO			
	Perdas técnicas e eficiência energética	Fatores portadores de futuro	A continuidade de elaboração e implementação de programas de eficiência energética; percepção da importância da inserção de GD no mercado; necessidade de desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia; desenvolvimento de equipamentos e condutores com menores perdas para uso em redes aérea e subterrânea	Disponibilidade de recursos financeiros; participação da indústria no desenvolvimento de novos produtos para o sistema elétrico; disponibilidade de infraestrutura tecnológica e laboratorial para aprovação de protótipos; formação de uma cadeia produtiva para fabricação de novos padrões de equipamentos e condutores desenvolvidos; políticas públicas para incentivos à entrada e participação dos fabricantes e fornecedores estrangeiros em pesquisas realizadas no Brasil; elaboração de normas e procedimentos de fabricação, instalação, operação e manutenção	Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				
		BAIXO				MÉDIO	ALTO					



Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Recuperação de Energia	Perdas não técnicas por ações comportamentais	Fatores portadores de futuro	A necessidade de solucionar os problemas de irregularidades na medição, disponibilidade de recursos financeiros e humanos			Avidez pelos conhecimentos de novas soluções ainda não realizadas e que poderão trazer muitos benefícios para as distribuidoras; participação de universidades e institutos de pesquisa nas soluções; participação de órgãos públicos estaduais e municipais; disponibilidade de ferramentas matemáticas para apoio no processo de combate às perdas não técnicas por ações educacionais e comportamentais		Disponibilidade de recursos financeiros e humanos para realizar a implementação massiva de todas as soluções aprovadas nos projetos pilotos executados	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO		
	Perdas não técnicas por técnicas por gestão de processos administrativos e financeiros	Fatores portadores de futuro	Levantamento de todos os gaps (assuntos não tratados) e adequações necessárias a se manter um controle mais rigoroso tanto na parte que trata das recuperações da energia em MWH, quanto financeira em reais; disponibilidade de recursos humanos e financeiros para especificar e desenvolver sistemas informatizados de controle e gestão, considerando a integração dos diversos ramos de controle de objetos quantitativos e qualitativos envolvidos nos processos e implantação em projetos pilotos	Entendimento pleno dos processos de descartes e as exigências, cada vez maiores, de meio ambiente	Implementação massiva dos sistemas desenvolvidos assim como o acompanhamento do seu desempenho; desenvolvimento dos sistemas especificados; implantação de projetos pilotos	Disponibilidade de recursos financeiros			
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				

Fonte: Elaboração própria.

12.3.3 Temática redes de distribuição subterrâneas

Para a temática redes de distribuição subterrâneas, foram definidas três rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 61.

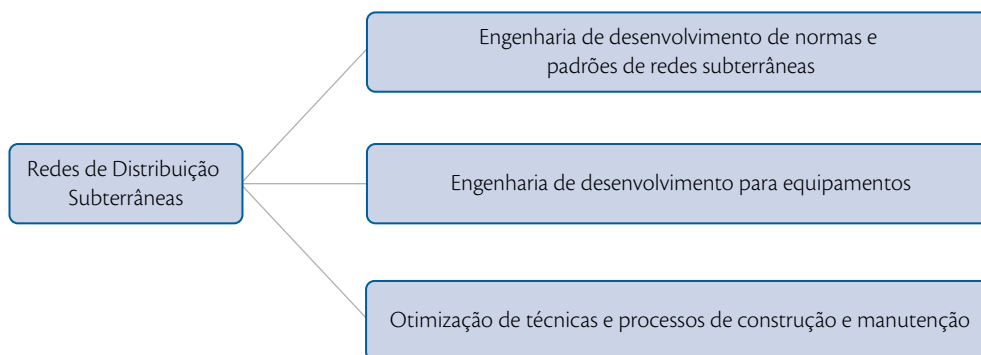


Figura 61 - Redes de distribuição subterrâneas

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 106 ao Gráfico 108. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro "Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia"), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.



Rota 9 - Engenharia de desenvolvimento de normas e padrões de redes subterrâneas

Esta rota é complementar às outras que tratam da recuperação de energia, novas concepções de transporte de energia e planejamento da expansão, porquanto o desenvolvimento de novos padrões e normas ajudará na formulação de soluções para o atendimento dos objetivos previstos nas rotas citadas.

Sua evolução se justifica, primeiramente, pela necessidade de as distribuidoras minimizarem os seus custos operacionais por meio de melhorias nos processos de construção, operação e manutenção das redes. A engenharia de desenvolvimento torna-se, portanto, muito interessante para qualquer empresa distribuidora, pois resulta em ganhos financeiros e tecnológicos, que contribuem para essa necessidade.

Este caminho é contínuo e dependente, principalmente, dos problemas sistemáticos ou não, ocorridos na rede e apontados pelos profissionais operacionais. Assim, o ponto base para a evolução desta rota será a motivação do pessoal de campo e de escritório, sendo que o campo é quem solicita melhorias e até apresenta propostas, visando à redução dos custos operacionais, a partir da redução da mão de obra e do tempo de execução de uma ação de construção, operação e manutenção. A capacitação da equipe de engenharia tem, portanto, papel de destaque para esta rota.

A não disponibilização de recursos assim como a não colaboração das empresas fornecedoras daqueles materiais e/ou equipamentos causarão entraves nas soluções pensadas. Por fim, ressalta-se que, nesta rota, são definidas apenas soluções e projetos sem a necessidade da parte relacionada à fabricação de equipamentos e/ou produtos/ferramentas para instalação nas redes. Dadas tais ponderações, a curva de maturidade foi estabelecida tal qual Gráfico 106.

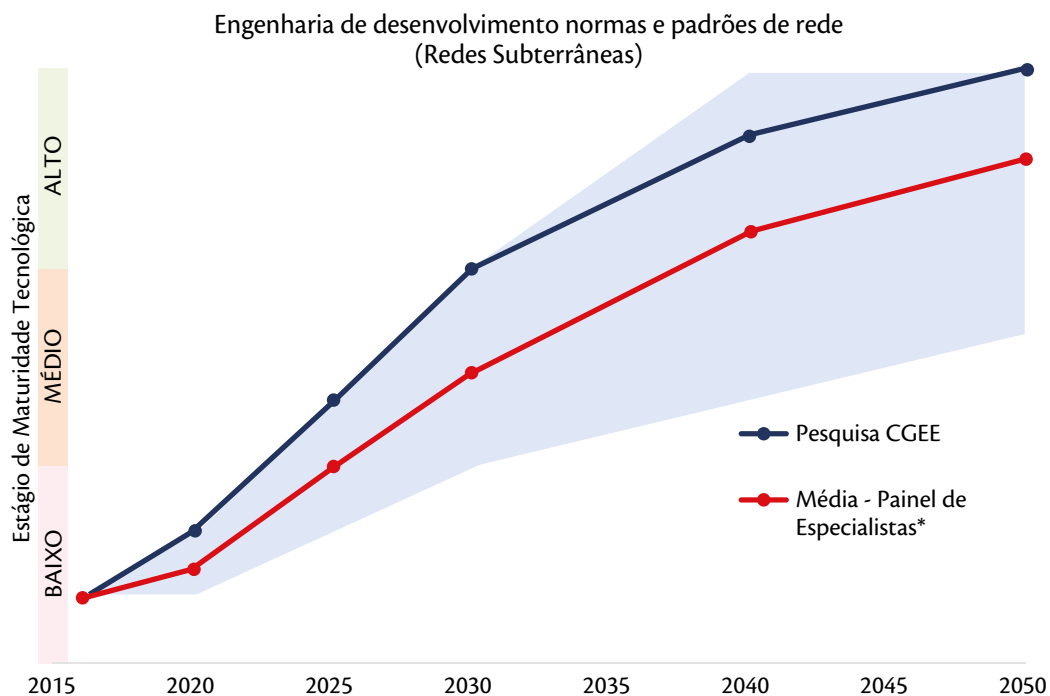


Gráfico 106 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento de normas e padrões de redes subterrâneas

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que, para esta rota, os profissionais envolvidos concluíram por uma trajetória uniforme com maturidade máxima prevista apenas para 2050. Isto ocorre porque o desenvolvimento de normas e padrões de redes dependem, continuamente, de requisitos como problemas técnicos que provocam interrupções sistemáticas, conhecimento de novos conceitos de transporte de energia e de novos arranjos de projetos. Todas essas novas padronizações e/ou normas precisam de ensaios em laboratórios e no campo para o acompanhamento do desempenho - somente após devida aprovação de seu desempenho é que se podem definir padrões.

No caso do sistema subterrâneo, é importante ressaltar que existem diferenças fundamentais a serem consideradas quando uma análise técnica e econômica de projetos e ações é realizada e comparada com ao sistema aéreo. Assim, alguns aspectos principais precisam ser avaliados, diferenciando as tratativas a serem dadas ao subterrâneo, como:



- as maiores dificuldades na construção, operação e manutenção de uma rede subterrânea, em que os equipamentos, mão de obra e técnicas utilizadas são mais complexas, demoradas e onerosas, fazendo com que os estudos e desenvolvimentos para este segmento sejam sempre postergados quando comparados com as mesmas atividades praticadas para as redes aéreas;
- as dificuldades com o meio ambiente são de outras ordens, tais como microvazamentos para o subsolo, licenciamentos ambientais para construções novas e reparos emergenciais;
- a confiabilidade e os reparos provocados por interrupções devido à procura e localização de defeitos. Neste caso, as partes técnicas mais consideradas são a isolamento e as conexões;
- os custos em todos os serviços são mais caros assim como novos desenvolvimentos.

Dessa forma, o grande desafio desta rota é justamente a tentativa de redução de custos constante que se busca, no intuito de fazer que o indicador de custos, entre uma rede subterrânea e uma aérea, hoje cerca de 9/1, seja reduzido. Por conseguinte, esta rota, ao tratar de normas e padrões, é de fundamental importância para que esses objetivos sejam alcançados.

Rota 10 - Engenharia de desenvolvimento para equipamentos

Esta rota também é complementar às outras rotas que tratam da recuperação de energia, novas concepções de transporte de energia e planejamento da expansão, porque o desenvolvimento de novos equipamentos e/ou adequações nos existentes (*upgrades*) vão ajudar nas soluções para o atendimento das métricas previstas naquelas rotas. Ressalta-se, outrossim, que nesta rota são definidos equipamentos para atender às especificações e projetos pensados na rota 9.

A evolução desta rota deve se justificar, primeiramente, pela necessidade de as distribuidoras minimizarem os seus custos operacionais por meio de melhorias nos processos de construção, operação e manutenção das redes. Este caminho é contínuo e dependente da rota anterior, que trata da elaboração de estudos e projetos, e também, de equipamentos. Para tal rota evoluir e atender aos seus objetivos, as distribuidoras devem disponibilizar recursos suficientes para propiciar os desenvolvimentos projetados. Chama-se a atenção, ainda, para o fato de que os custos envolvidos, a escassez de infraestrutura laboratorial e a quase inexistência de profissionais internacionais no Brasil dificultam o desenvolvimento de novos equipamentos e os tornam mais caros, porque têm de ser desenvolvidos e fabricados fora do Brasil.

A não disponibilização de recursos, a falta de incentivos às empresas fornecedoras especializadas em sistemas subterrâneos e a falta de reconhecimento do investimento por parte das concessionárias assim como a não colaboração das empresas fornecedoras daqueles materiais e/ou equipamentos causarão entraves nas soluções pensadas, atrasando e onerando a evolução. Ademais, para seu desenvolvimento tal qual Gráfico 107, há a necessidade de colaboração e parcerias das empresas fabricantes, inclusive com a disponibilização de infraestruturas de produção e laboratórios.

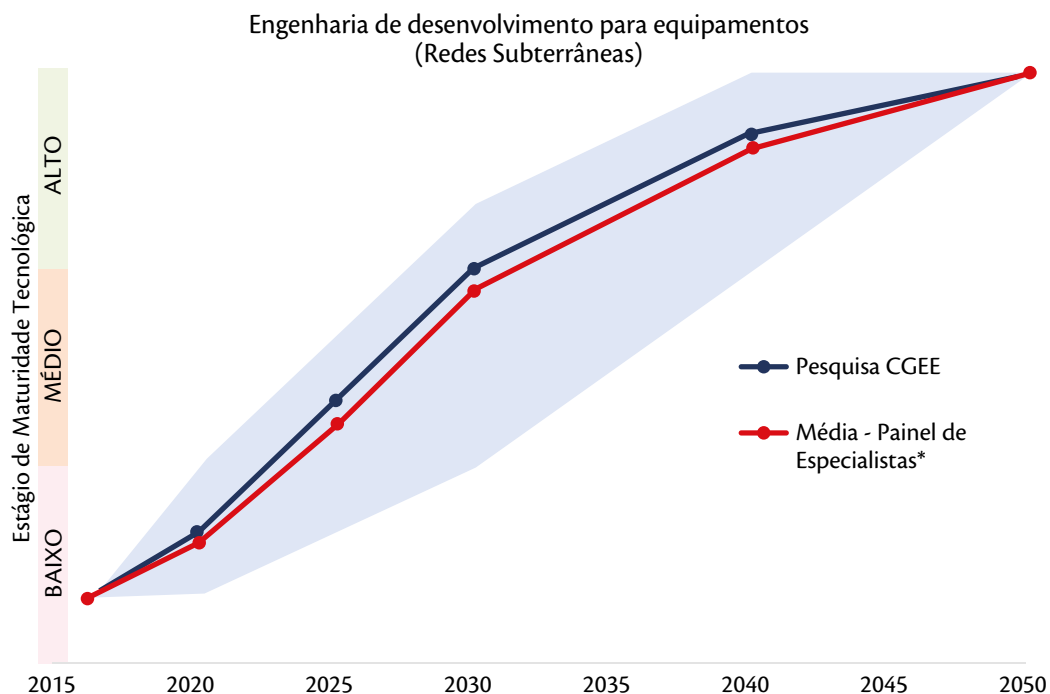


Gráfico 107 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento para equipamentos

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que os profissionais envolvidos concluíram por uma trajetória uniforme, projetando maturidade máxima somente para 2050. Isto ocorre porque o desenvolvimento de equipamentos depende, continuamente, de requisitos como problemas técnicos que provocam interrupções sistemáticas, conhecimento de novos conceitos de transporte de energia e de novos arranjos de projetos. Além disso, todos esses novos equipamentos precisam de ensaios em laboratórios e no campo



para o acompanhamento do desempenho, para, somente após a aprovação de seu desempenho, serem aplicados nas redes.

Rota 11 - Otimização de técnicas e processos de construção e manutenção

A evolução desta rota deve se justificar, primeiramente, pela necessidade de as distribuidoras minimizarem os seus custos operacionais por meio de melhorias nos processos de construção, de operação e manutenção das redes, visando à redução de mão de obra, transporte e tempos de disponibilização da rede (linha viva ou morta). Este caminho é contínuo e dependente das rotas 9 e 10, em que se trata da elaboração de estudos, projetos e fabricação de equipamentos e ferramentas, porquanto aqui são definidas as técnicas para atender às especificações e projetos pensados nas rotas 9 e 10.

Enfatiza-se que, para tal rota evoluir e atender aos seus objetivos, as distribuidoras devem capacitar seus funcionários no uso das novas ferramentas e processos. A não disponibilização de recursos humanos assim como a não colaboração das empresas fornecedoras daqueles materiais e/ou equipamentos e ferramentas causarão entraves nas soluções pensadas. Aqui, também, há a necessidade de colaboração e parcerias das empresas fabricantes, quando da capacitação e treinamento das ferramentas e equipamentos disponibilizados. Levando tais aspectos em consideração foi projetada a evolução da maturidade tecnológica tal qual Gráfico 108.

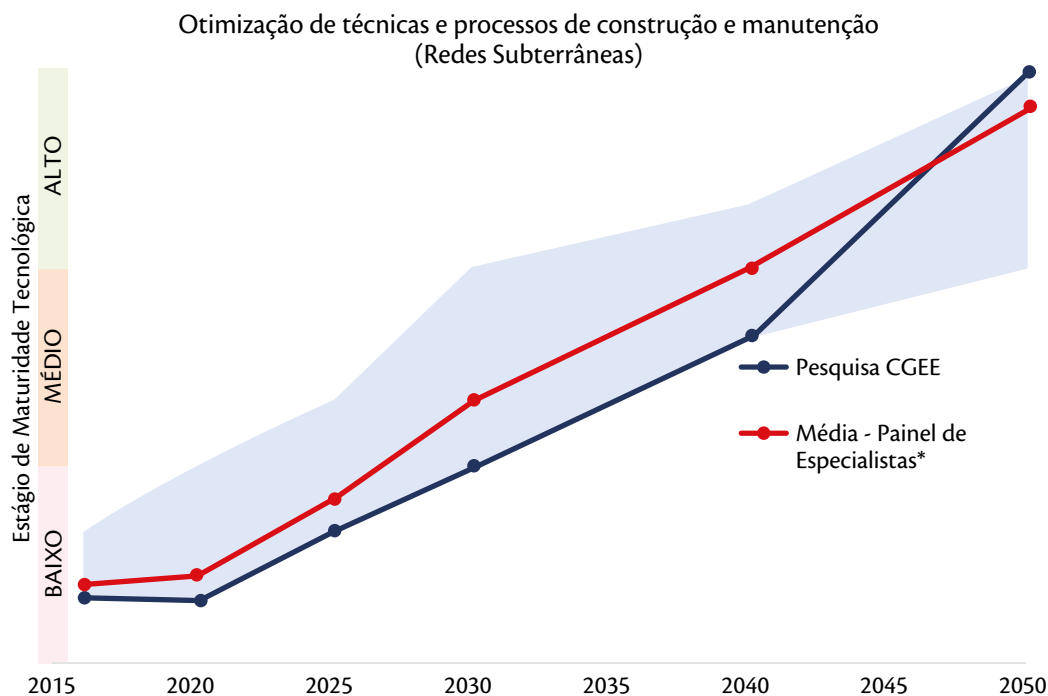


Gráfico 108 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de otimização de técnicas e processos de construção e manutenção

Fonte: Elaboração própria.

Os processos de construção englobam, no mínimo, duas vertentes: a primeira se refere a projetar e construir ferramentas para uso na construção de redes, e a segunda, a melhorar e/ou agilizar o processo de construção, através da maior capacitação dos profissionais envolvidos. O gráfico desta rota apresenta, em sua maioria, um comportamento uniforme com níveis de maturidade baixos entre 2015 e 2020, e maturidade máxima apenas no final do período. Com um bom desenvolvimento nesta rota, conforme o proposto, ter-se-ão a melhoria na continuidade do serviço, a redução dos custos operacionais e finalmente os ganhos econômicos para as empresas.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 57 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática redes de Distribuição Subterrâneas.

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Redes de Distribuição Subterrâneas	Engenharia de desenvolvimento normas e padrões de rede	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; participação de universidades, centros de pesquisas e fabricantes ou fornecedores de materiais, equipamentos e ferramentas para uso no sistema distribuidor; reestruturação da regulação de P&D			Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; infraestrutura laboratorial para possibilitar a realização dos ensaios e testes necessários à aprovação de novos padrões; incentivos fiscais para internalizar estrutura de pesquisas das empresas estrangeiras fornecedoras de equipamentos e materiais para uso na rede; consideração da heterogeneidade das regiões do Brasil para formulação das soluções		Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO		
	Engenharia de desenvolvimento para equipamentos	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; participação de universidades, centros de pesquisas e fabricantes ou fornecedores de materiais, equipamentos e ferramentas para uso no sistema distribuidor			Inserção de assuntos como a nanotecnologia e as engenharias econômica, de materiais e química na concepção de soluções dos problemas; disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; infraestrutura laboratorial para possibilitar a realização dos ensaios e testes necessários à aprovação de novos padrões; incentivos fiscais para internalizar estrutura de pesquisas das empresas estrangeiras fornecedoras de equipamentos e materiais para uso na rede; consideração da heterogeneidade das regiões do Brasil para formulação das soluções		Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO		

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Redes de Distribuição Subterrâneas	Otimização de técnicas e processos de construção e manutenção	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; participação de universidades, centros de pesquisas e fabricantes ou fornecedores de materiais, equipamentos e ferramentas para uso no sistema distribuidor		Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; infraestrutura laboratorial para possibilitar a realização dos ensaios e testes necessários à aprovação de novos padrões; incentivos fiscais para internalizar estrutura de pesquisas das empresas estrangeiras fornecedoras de equipamentos e materiais para uso na rede; infraestrutura de acompanhamento do desempenho das soluções desenvolvidas e diagnósticos sobre possíveis melhorias; consideração da heterogeneidade das regiões do Brasil para formulação das soluções			Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo
			Maturidade	BAIXO			MÉDIO	

Fonte: Elaboração própria.



12.3.4 Temática redes de distribuição aéreas

Para a temática de redes de distribuição aéreas, foram definidas quatro rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 62.

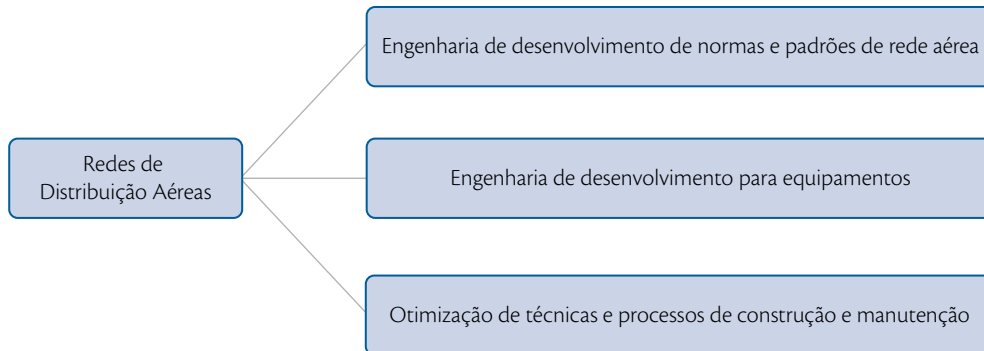


Figura 62 - Temática de redes de distribuição aéreas

Fonte: Elaboração própria.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 109 ao Gráfico 111. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Rota 12 - Engenharia de desenvolvimento normas e padrões de rede aérea

Esta rota é complementar às outras que tratam da recuperação de energia, novas concepções de transporte de energia e planejamento da expansão, porquanto o desenvolvimento de novos padrões e normas ajudará na formulação de soluções para o atendimento dos objetivos previstos nas rotas citadas.

Assim como no caso subterrâneo, sua evolução se justifica, primeiramente, pela necessidade de as distribuidoras minimizarem os seus custos operacionais por meio de melhorias nos processos de construção, operação e manutenção das redes. Também constitui um caminho contínuo e dependente, principalmente, dos problemas sistemáticos ou não, ocorridos na rede e apontados pelos profissionais operacionais. Assim, o ponto base para a evolução desta rota será a motivação do pessoal de campo e de escritório, sendo que o do campo é quem solicita melhorias e até apresenta propostas, visando à redução dos custos operacionais, a partir da redução da mão de obra e do tempo de execução de uma ação de construção, operação e manutenção. A capacitação da equipe de engenharia, por conseguinte, também tem papel de destaque para esta rota.

A não disponibilização de recursos assim como a não colaboração das empresas fornecedoras daqueles materiais e/ou equipamentos causarão entraves nas soluções pensadas. Por fim, ressalta-se que, nesta rota, são definidas apenas soluções e projetos, sem a necessidade da parte relacionada à fabricação de equipamentos e/ou produtos e ferramentas para instalação nas redes. Dadas tais ponderações, a curva de maturidade foi estabelecida tal qual Gráfico 109.

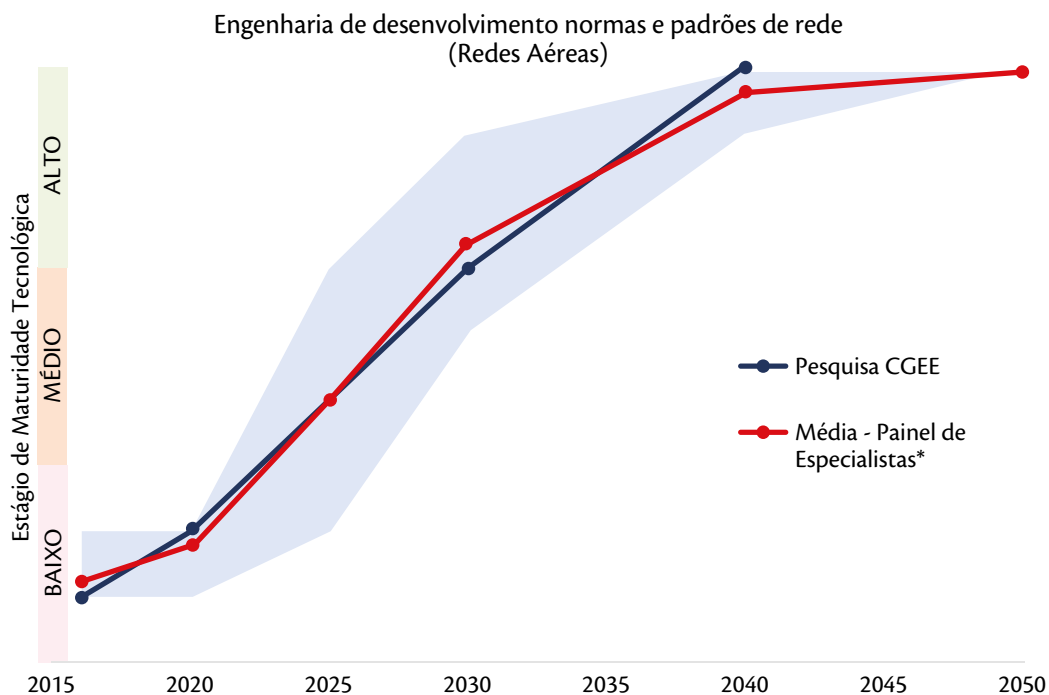


Gráfico 109 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento normas e padrões de rede aérea

Fonte: Elaboração própria.



Em comparação à rota homônima da temática de redes subterrâneas (rota 9), o Gráfico 12 indica um desenvolvimento mais acelerado. Isso pode se justificar pelo fato de que as redes aéreas são menos onerosas, mais rápidas de serem construídas, mantidas e operadas, o que torna a sua aplicação mais atraente para as distribuidoras. No que se refere aos desenvolvimentos de normas e padrões, há uma facilidade maior porque todas as distribuidoras têm experiência suficiente no que tange ao sistema aéreo, facilitando seu desenvolvimento. Ademais, a procura, a localização e o reparo das redes aéreas, quando há interrupções não programadas, causam menos prejuízos para as distribuidoras por ser muito mais rápido, os seus reparos. Destaca-se, por fim, que, nesta rota, os fatores considerados mais críticos são as descargas atmosféricas, cada vez mais intensas, ventos fortes e impactos da vegetação sobre as redes.

Rota 13 - Engenharia de desenvolvimento para equipamentos

Esta rota também é complementar às outras rotas que tratam da recuperação de energia, novas concepções de transporte de energia e planejamento da expansão, porque o desenvolvimento de novos equipamentos e/ou adequações nos existentes (*upgrades*) vão ajudar nas soluções para o atendimento das métricas previstas naquelas rotas. Ressalta-se, outrossim, que nesta rota são definidos equipamentos para atender às especificações e projetos pensados na rota 12.

A evolução desta rota deve se justificar, primeiramente, pela necessidade de as distribuidoras minimizarem os seus custos operacionais por meio de melhorias nos processos de construção, operação e manutenção das redes. Este caminho é contínuo e dependente da rota anterior, que trata da elaboração de estudos e projetos, também de equipamentos. Para tal rota evoluir e atender aos seus objetivos, as distribuidoras devem disponibilizar recursos suficientes para propiciar os desenvolvimentos projetados.

A não disponibilização de recursos assim como a não colaboração das empresas fornecedoras daqueles materiais e ou equipamentos causarão entraves nas soluções pensadas. Ademais, para seu desenvolvimento tal qual Gráfico 110, há a necessidade de colaboração e parcerias das empresas fabricantes, inclusive com a disponibilização de infraestruturas de produção e laboratórios.

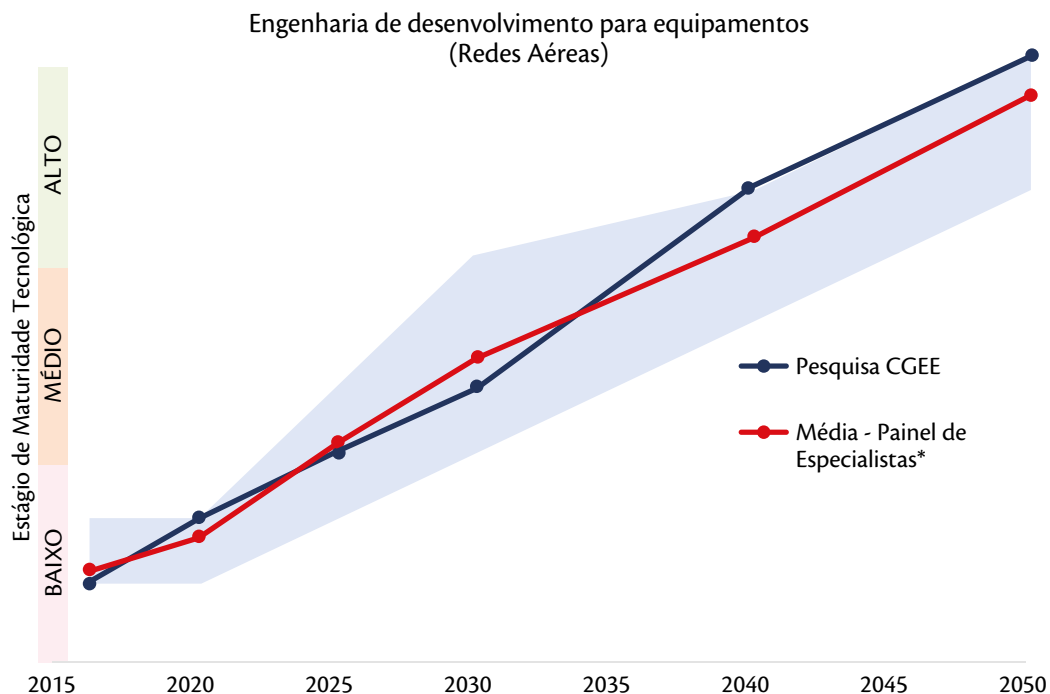


Gráfico 110 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento para equipamentos

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que os profissionais envolvidos concluíram por uma trajetória uniforme, projetando maturidade máxima somente para 2050. Isto ocorre porque o desenvolvimento de equipamentos depende, continuamente, de requisitos como problemas técnicos que provocam interrupções sistemáticas, conhecimento de novos conceitos de transporte de energia e de novos arranjos de projetos. Além disso, todos esses novos equipamentos precisam de ensaios em laboratórios e em campo para o acompanhamento do desempenho, para, somente após a aprovação de seu desempenho, serem aplicados nas redes.

Embora o desenvolvimento de equipamentos para utilização em redes aéreas seja menos complicado de realização, além de menos oneroso, a gama de susceptibilidades ambientais a que eles estão sujeitos é muito maior e depende das especificidades de cada região brasileira. Assim, cada concessionária busca soluções diferentes para questões como descargas atmosféricas, intensidade de ventos, degradação de isolantes, efeito da salinidade/corrosão, impactos da vegetação sobre as redes, que variam com as condições ambientais de cada área de concessão. Por outro lado, as dificuldades a que as redes subterrâneas estão sujeitas - corrosão e isolamento - apresentam características mais homogêneas em



todo o território brasileiro, o que justifica a evolução de maturidade um pouco mais morosa do Gráfico 110 em relação ao Gráfico 107 (redes subterrâneas).

Rota 14 - Otimização de técnicas e processos de construção e manutenção

A evolução desta rota deve se justificar, primeiramente, pela necessidade de as distribuidoras minimizarem os seus custos operacionais por meio de melhorias nos processos de construção, de operação e de manutenção das redes, visando à redução de mão de obra, transporte e tempos de disponibilização da rede (linha viva ou morta). Este caminho é contínuo e dependente das rotas 12 e 13, em que se trata da elaboração de estudos, projetos e fabricação de equipamentos e ferramentas, porquanto aqui são definidas as técnicas para atender às especificações e projetos pensados nas rotas 12 e 13.

Enfatiza-se que, para tal rota evoluir e atender aos seus objetivos, as distribuidoras devem capacitar seus funcionários no uso das novas ferramentas e processos. A não disponibilização de recursos humanos assim como a não colaboração das empresas fornecedoras daqueles materiais e/ou equipamentos e ferramentas causarão entraves nas soluções pensadas. Aqui, também, há a necessidade de colaboração e parcerias das empresas fabricantes, quando da capacitação e treinamento das ferramentas e equipamentos disponibilizados. Levando tais aspectos em consideração foi projetada a evolução da maturidade tecnológica tal qual Gráfico 111.

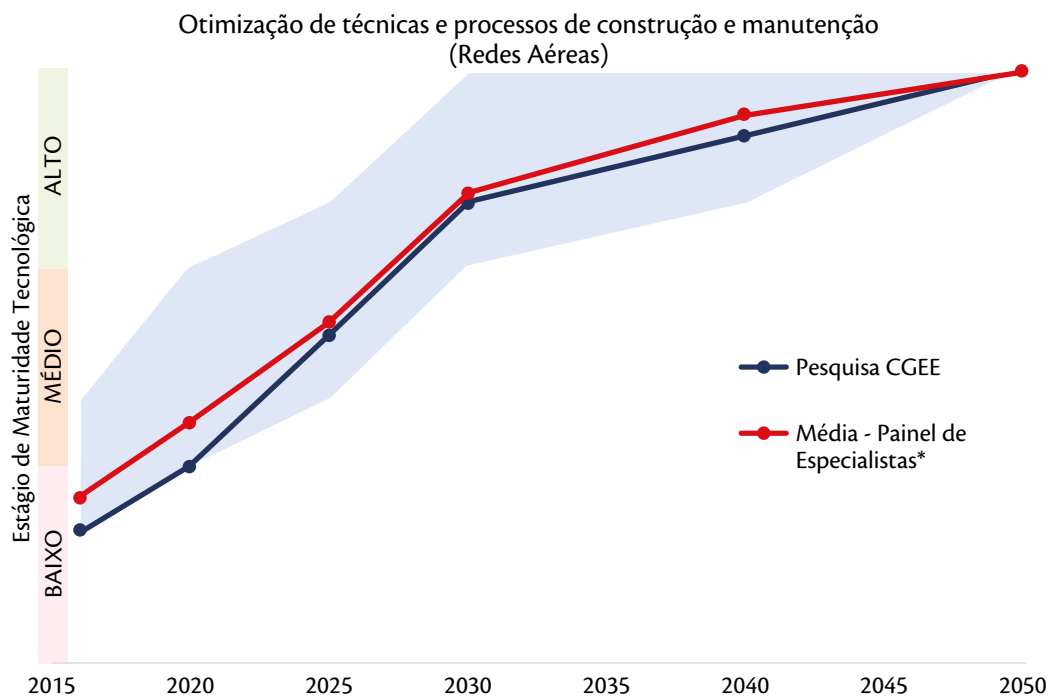


Gráfico 111 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de otimização de técnicas e processos de construção e manutenção

Fonte: Elaboração própria.

Os processos de construção englobam no mínimo duas vertentes: a primeira, refere-se a projetar e construir ferramentas para uso na construção de redes, e a segunda, a melhorar e/ou agilizar o processo de construção, através da maior capacitação dos profissionais envolvidos. O gráfico desta rota apresenta, em sua maioria, um comportamento uniforme com níveis de maturidade baixos entre 2015 e 2020, e de maturidade máxima apenas no final do período. Com um bom desenvolvimento nesta rota, conforme o proposto, ter-se-ão a melhoria na continuidade do serviço, a redução dos custos operacionais e finalmente os ganhos econômicos para as empresas.



Outra rota a ser priorizada é justamente a que trata de processos de otimização nas técnicas de construção. São de extrema importância para as redes aéreas: a necessidade de redução contínua nos tempos de execução das atividades, não só para a construção, como para as manutenções programadas e não programadas e a de soluções para a execução de serviços noturnos ou em locais de tráfego intenso. Estas ações deverão ser prioritárias em função da redução dos custos operacionais envolvidos e da minimização dos indicadores de continuidade e consequentes penalizações. Outro ponto a ser considerado são as instalações provisórias e temporárias para se fazer remanejamentos nas redes para trocas ou remoções de postes o que causaria um diferencial na redução dos custos. Estas questões são urgentes e apresentam solução mais simples se comparadas às encontradas pelas redes subterrâneas, de forma que devem ser resolvidas de imediato e por isso, apresentam desenvolvimento mais rápido que o apresentado para a rota 11.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 58 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de redes de distribuição aéreas

Temática	Rota	Dado	Período							
			2016	2020	2025	2030	2040	2050		
Redes de Distribuição Aéreas	Engenharia de desenvolvimento normas e padrões de rede (Redes Aéreas)	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; participação de universidades, centros de pesquisas e fabricantes ou fornecedores de materiais, equipamentos e ferramentas para uso no sistema distribuidor; reestruturação da regulação de P&D			Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; infraestrutura laboratorial para possibilitar a realização dos ensaios e testes necessários à aprovação de novos padrões; incentivos fiscais para internalizar estrutura de pesquisas das empresas estrangeiras fornecedoras de equipamentos e materiais para uso na rede; consideração da heterogeneidade das regiões do Brasil para formulação das soluções			Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO			ALTO	
	Engenharia de desenvolvimento para equipamentos (Redes Aéreas)	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; participação de universidades, centros de pesquisas e fabricantes ou fornecedores de materiais, equipamentos e ferramentas para uso no sistema distribuidor			Inserção de assuntos como a nanotecnologia e as engenharias econômica, de materiais e química na concepção de soluções dos problemas; disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; infraestrutura laboratorial para possibilitar a realização dos ensaios e testes necessários à aprovação de novos padrões; incentivos fiscais para internalizar estrutura de pesquisas das empresas estrangeiras fornecedoras de equipamentos e materiais para uso na rede; consideração da heterogeneidade das regiões do Brasil para formulação das soluções			Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO			ALTO	



Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Redes de Distribuição Aéreas	Otimização de técnicas e processos de construção e manutenção (Redes Aéreas)	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; infraestrutura laboratorial para possibilitar a realização dos ensaios e testes necessários à aprovação de novos padrões; incentivos fiscais para internalizar estrutura de pesquisas das empresas estrangeiras fornecedoras de equipamentos e materiais para uso na rede; infraestrutura de acompanhamento do desempenho das soluções desenvolvidas e diagnósticos sobre possíveis melhorias; consideração da heterogeneidade das regiões do Brasil para formulação das soluções				
			Disponibilidade de recursos financeiros e humanos; envolvimento de profissionais de campo; participação de universidades, centros de pesquisas e fabricantes ou fornecedores de materiais, equipamentos e ferramentas para uso no sistema distribuidor				
Maturidade			BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

12.4 Priorização

Nesse item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática de redes aéreas e subterrâneas. Conforme explicado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, em ordem crescente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota 14, pois são quatorze rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira rodada, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 59.

Tabela 59 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática de redes aéreas e subterrâneas

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Metodologias e técnicas de planejamento e expansão de redes de distribuição	Redes de Distribuição
2	Perdas não técnicas por furtos e fraudes	Recuperação de Energia
3	Perdas não técnicas por ações departamentais	Recuperação de Energia
4	Técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede	Redes de Distribuição
5	Perdas não técnicas por técnicas de gestão de processos administrativos e financeiros	Recuperação de Energia
6	Engenharia de desenvolvimento de normas e padrões de rede (redes aéreas)	Redes de Distribuição Aéreas
7	Engenharia de desenvolvimento para equipamentos (redes aéreas)	Redes de Distribuição Aéreas
8	Otimização de técnicas e processos de construção (redes aéreas)	Redes de Distribuição Aéreas
9	Novas metodologias e técnicas de planejamento e expansão de redes de distribuição considerando novos conceitos de rede	Redes de Distribuição
10	Perdas técnicas e eficiência energética	Recuperação de Energia
11	Engenharia de desenvolvimento de normas e padrões de rede (redes subterrâneas)	Redes de Distribuição Subterrâneas
12	Engenharia de desenvolvimento para equipamentos (redes subterrâneas)	Redes de Distribuição Subterrâneas
13	Otimização de técnicas e processos de construção (redes subterrâneas)	Redes de Distribuição Subterrâneas
14	Novos conceitos de transporte de energia (CC, sem fio, condutores não convencionais)	Redes de Distribuição

Fonte: Elaboração própria.



Das rotas selecionadas como prioritárias, destacam-se aquelas relacionadas ao planejamento, ao segmento de projetos, engenharia de padrões, normas e equipamentos de redes aéreas e ao tratamento do problema de perdas não técnicas, a saber:

- metodologias e técnicas de planejamento da expansão do sistema;
- perdas não técnicas por furtos e fraudes;
- perdas não técnicas por ações compartimentais;
- técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede;
- perdas não técnicas por técnicas de gestão de processos administrativos e financeiros;
- engenharia de desenvolvimento de normas e padrões de redes aéreas

A rota relacionada ao planejamento foi definida como prioritária, uma vez que tudo depende das ações voltadas para atendimento ao mercado e à manutenção ou à melhora da qualidade do serviço prestado. Sem o desenvolvimento de tal rota, toda a cadeia produtiva do setor da distribuição, dependente dela, com certeza se tornaria mais onerosa para os agentes envolvidos (acionistas, consumidores e agências reguladoras). Somente após as definições dos planejamentos de curto, médio e longo prazo, tanto de investimentos como de operação e manutenção, o restante das atividades podem ser realizadas.

Na sequência, têm-se as rotas relacionadas às perdas não técnicas pela urgente necessidade de estancar o volume de energia e de dinheiro desperdiçados, o que vem onerando muito os caixas das distribuidoras. Destaque especial deve ser dado à prioridade da rota Perdas não técnicas por ações compartimentais (3ª), a qual mostra que esta é uma estratégia de grande interesse e que deve ser de início imediato, uma vez que foi o único caminho ainda não utilizado pelas distribuidoras para combater as perdas não técnicas.

Enfatiza-se, também, a necessidade de elaboração de projetos de forma mais ágil, com minimização de erros e mais assertividade, considerando equipamentos mais leves e de dimensões físicas reduzidas em relação aos atuais, conforme visto pela priorização da rota Técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede.

As rotas seguintes tratam de assuntos relacionados às redes aéreas. Elas foram priorizadas em função do maior conhecimento do sistema aéreo por todas as empresas distribuidoras nacionais, por necessitarem de menos investimentos quando comparadas com o sistema subterrâneo e, principalmente, por serem responsáveis pela quase totalidade das instalações existente no País.

Acrescenta-se, ainda, o fato de que, apesar das grandes diferenças de características climáticas, ambientais e geográficas entre as diversas regiões do Brasil, os profissionais responsáveis têm liberdade de trocar experiências, não só regional como também nacionalmente. Ressalta-se que, como principais pontos críticos e necessários de soluções imediatas, diretamente ligados ao sistema aéreo, tem-se a contínua elevação das quantidades e intensidades das descargas atmosféricas, que varia em função das regiões, da intensidade dos ventos, da questão ambiental referente a podas de árvores e licenciamentos, entre outros.



Capítulo 13



Capítulo 13

Macrotemática qualidade da energia elétrica

O setor de distribuição de energia elétrica é a ponta final de uma cadeia que engloba também as funções de geração de energia e transmissão. Por conta disso, este é o serviço que mais diretamente mantém contato com o consumidor, tanto no relacionamento técnico, através do fornecimento de energia com níveis adequados de qualidade, como no relacionamento comercial, que envolve os processos de atendimento de solicitações do consumidor e cobrança de tarifas.

A macrotemática qualidade da energia elétrica envolve três dimensões que qualificam esse relacionamento técnico e comercial, principalmente através de o estabelecimento de parâmetros e indicadores, individuais ou coletivos a serem atendidos pelos agentes do setor. Estas três dimensões são: qualidade do serviço, qualidade do produto e qualidade comercial/relacionamento com o cliente. Não, por acaso, essas três dimensões foram as temáticas escolhidas neste trabalho, conforme apresentado na Figura 63.

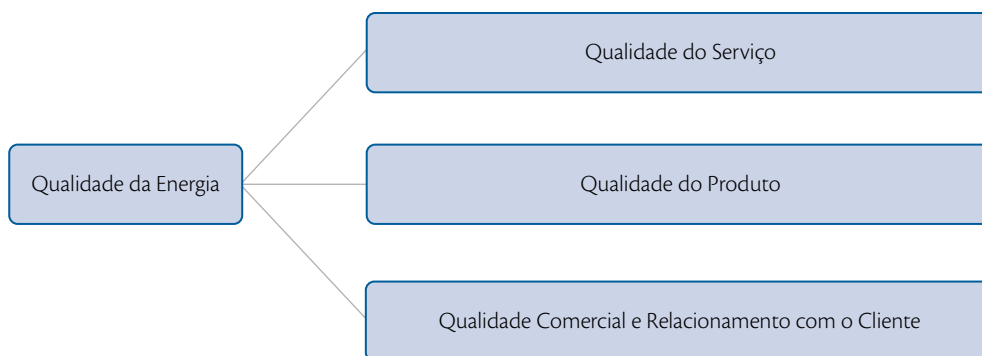


Figura 63 - Temáticas de qualidade da energia elétrica

Fonte: Elaboração própria.

A qualidade do serviço de energia elétrica está ligada diretamente à confiabilidade da prestação do serviço, indicando, em última análise, o quanto a empresa foi eficaz em relação à construção, operação e manutenção do sistema elétrico. Essa prestação de serviço se reflete em indicadores de qualidade que procuram medir de que modo a empresa atua para a garantia de continuidade e rapidez no restabelecimento do fornecimento de energia, quando há interrupções que durem mais do que alguns minutos. Os principais indicadores utilizados no mundo e também no Brasil são:

- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC): intervalo de tempo que, em média, no período de observação em cada unidade consumidora do conjunto considerado, ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica.
- Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC): intervalo de tempo que, no período de observação, em cada unidade consumidora, ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica.
- Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora (DMIC): tempo máximo de interrupção contínua da distribuição de energia elétrica para uma unidade consumidora qualquer.
- Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC): número de interrupções ocorridas em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado.
- Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC): número de interrupções ocorridas no período de observação, em cada unidade consumidora.
- Tempo médio de atendimento (TMA): reflete o tempo médio que uma determinada concessionária gasta para restabelecer o fornecimento de energia após a ocorrência de um defeito.

Além desses indicadores, há outros também que procuram medir a capacidade de a empresa distribuidora atuar em situações de emergência ou em situações de exceção, como catástrofes naturais. A definição de padrões e limites adequados para os indicadores de qualidade do serviço é um grande desafio técnico e econômico, que implica, em última análise, os investimentos que devem ser feitos e, em consequência, a tarifa final do serviço resultante.

A qualidade do produto está ligada às condições intrínsecas do produto energia elétrica. Apesar de ser tratado como uma *commoditie*, o produto energia elétrica precisa manter-se dentro de certos parâmetros técnicos para que os dispositivos que fazem uso final da energia possam atuar de forma adequada e sem desperdício. Nessa expressão da qualidade, grandezas como tensão, frequência e



forma de onda precisam ser padronizadas e não podem variar dentro de uma certa faixa considerada adequada. A caracterização dessas grandezas e faixas está ligada à compreensão dos fenômenos associados à qualidade do produto. Os principais são:

- tensão em regime permanente;
- variação de tensão de curta duração;
- desequilíbrio de tensão;
- flutuação de tensão;
- fator de potência;
- variação de frequência;
- distorção harmônica de tensão e de corrente;
- compatibilidade eletromagnética.

O controle dessas grandezas em níveis adequados exige processos complexos de medição, análise e extrapolação para a toda a rede elétrica, a fim de garantir o funcionamento adequado do sistema, desde a geração até o uso final. Padrões, regras, equipamentos, processos e sistemas para isso são cada vez mais necessários, à medida que os sistemas de distribuição se tornam mais dinâmicos e complexos.

A qualidade comercial e o relacionamento com o cliente tratam de como a empresa está se relacionando com os clientes em todos os seus aspectos, ou seja, em cada momento que o setor interage com um usuário final. Isso envolve desde o pedido de uma conexão nova até a cobrança de faturas, passando por toda uma gama de processos de atendimento e pedido de informações. Por se tratar, ainda hoje, na grande maioria dos casos, de um serviço monopolista e regulado, essa dimensão da qualidade não passou ainda por um caminho tecnológico próprio de ambientes competitivos, onde o aspecto de relacionamento pode ser um fator de geração de receitas importante. Boa parte dos procedimentos de relacionamento são regulados pelas condições gerais de fornecimento da Aneel, que orienta os principais desafios para as empresas na prestação do serviço comercial. Há, porém, uma tendência a mudanças importantes nesse tema, à medida que o mercado de energia elétrica se tornar mais aberto e junto com a possibilidade dos clientes se tornarem participantes ativos do mercado, seja gerando sua própria energia (como prosumidores), seja como participantes ativos na gestão da rede (*demand response*). Com o advento de tecnologias avançadas de mineração e organização de dados, também serão parte dessa temática os assuntos relacionados à armazenagem, segurança e uso de dados dos clientes e das redes elétricas.

Cabe destacar que a macrotemática qualidade da energia elétrica direciona a evolução das outras macrotemáticas do setor distribuição. Isso significa que a melhoria da qualidade, seja por imposição da regulação, seja por exigência dos clientes, exigirá que as outras macrotemáticas evoluam para que este aspecto para serem atendidas de forma mais econômica, usando novas tecnologias.

13.1 Visão de futuro

13.1.1 Cenário setorial

Considerando o horizonte de 2050, preveem-se para o cenário do setor elétrico brasileiro mudanças significativas que exigirão a realização de ações ligadas à adaptação e modernização do setor elétrico, que demandarão investimentos na área de PD&I a fim de criar soluções alinhadas com a realidade brasileira, diminuir a dependência tecnológica e fomentar a indústria nacional. Como consequência, serão apresentados crescentes níveis de dependência por serviços da rede de distribuição com melhor qualidade e flexibilidade²⁴, a saber: a crescente inserção de geração distribuída diretamente conectada à rede (prevê-se um aumento crescente até 2030, com perspectiva de se alcançar até 10% do mercado de energia); o alto nível de integração de tecnologias presentes no sistema de distribuição, com o advento das redes elétricas inteligentes; o crescimento econômico, populacional e do setor de serviços; a ampliação do mercado livre de forma sustentável.

Assim, haverá cada vez mais demandas para que o produto energia elétrica seja entregue com melhor qualidade nas suas três dimensões: serviço, produto e comercial. Espera-se que haja uma melhoria forte e contínua da qualidade percebida e da participação do consumidor na gestão do seu consumo, com mudanças regulatórias e tecnológicas que irão trazer, a longo prazo, os níveis brasileiros de qualidade da energia elétrica para patamares comparáveis a níveis internacionais como os observados nos Estados Unidos da América (EUA) e na Europa, e com parâmetros de flexibilidade que permitam se adequar à necessidade de cada usuário da rede, inclusive com diferenciação econômica.

²⁴ A seção 4.14.2 - *Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro* apresenta em detalhes cada um desses aspectos



13.1.2 Objetivo geral

Considerando este cenário, o tema qualidade da energia deverá servir de direcionador e motivador para as demais macrotemáticas de PD&I em distribuição de energia elétrica, visando alcançar o objetivo de melhorar significativamente a qualidade da energia no Brasil e a participação do cliente como agente ativo do setor. Para tanto, os esforços de investimentos em PD&I neste tema (em relação à qualidade do serviço e do produto) deverão ter como objetivo principal aprimorar os mecanismos de gestão e controle do ponto de vista técnico e econômico, possibilitando a definição clara do ponto de equilíbrio entre a qualidade esperada pelos consumidores e a qualidade oferecida pelas distribuidoras. Para tanto, ressalta-se que é imprescindível a mediação, controle e fiscalização pelo órgão regulador. Esforços de investimento também deverão ser associados à análise e mitigação de fenômenos, considerando a realidade brasileira. Em relação à qualidade comercial e ao relacionamento com o cliente, os investimentos em PD&I devem ser direcionados a transformar os processos de relacionamento e engajamento dos usuários da rede, de modo a prover mais e melhores informações e levar o cliente a ser um participante ativo da gestão da rede.

13.1.3 Objetivo específico

Para suportar o objetivo geral, são necessários que se obtenham por meio de PD&I:

Curto prazo (2017-2020):

- avaliação e aprimoramento contínuo dos padrões de fenômenos de qualidade em todas suas dimensões, com atribuição das devidas responsabilidades;
- desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos e sistemas para monitoramento e análise da qualidade do produto;
- novas técnicas para aferição do nível de satisfação do cliente e efetividade de canais de relacionamento.

Médio prazo (2020-2030):

- modelos econômicos e técnicos para mensurar os custos associados à qualidade em todas suas dimensões, do lado da oferta e demanda e sua relação com a satisfação do consumidor;
- novos modelos regulatórios de incentivo à melhoria da qualidade do serviço;
- novos modelos regulatórios de incentivo à melhoria da qualidade do produto;
- desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos e sistemas para melhoria da confiabilidade da rede;
- desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos e sistemas para mitigação de fenômenos da qualidade do produto;
- definição de responsabilidades do cliente sobre a qualidade técnica da energia da rede;
- novos canais de relacionamento com o cliente;
- técnicas e sistemas para engajamento do cliente;
- técnicas e sistemas para redução e controle da inadimplência;
- mecanismos regulatórios, procedimentos e processos para uso de dados de consumidores e de eventos e informações do sistema elétrico.

Longo prazo (2030-2050):

- desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos elétricos e processos com níveis adequados de imunidade, suportabilidade e emissividade em relação a fenômenos de qualidade;
- modelos de individualização de requisitos de qualidade.

13.1.4 Fundamentação

No horizonte de 2050, a distribuição de energia elétrica deve continuar sendo um monopólio regulado, com a remuneração das distribuidoras baseada em preço-teto ou receita-teto com a introdução de mecanismos de incentivo à eficiência. No contexto de mercado de distribuição de energia elétrica regulado, é fundamental a correta definição de padrões de qualidade, pois as empresas distribuidoras podem subinvestir como forma de garantir aumento em ganhos financeiros, principalmente quando o fim da concessão está próximo (ADJODHIA E HAKVOORT, 2005).



A qualidade na distribuição de energia elétrica é composta de múltiplos aspectos, porém três aspectos são reconhecidos atualmente como fundamentais na definição de padrões de qualidade: aspectos relacionados com as questões comerciais entre consumidores e distribuidora, com a continuidade do serviço e com a qualidade da tensão (FUMAGALLI, SCHIAVO E DELESTE, 2007). Assim a macrotemática qualidade é dividida em três temáticas para abordar estes aspectos, respectivamente: comercial, serviço e produto. As temáticas envolvem tanto questões pertinentes à regulação quanto às questões relacionadas com os consumidores e aos equipamentos e serviços conectados à rede.

A participação do consumidor pode se dar através de mecanismos de ações pelo lado da demanda, através da produção e consumo de energia (prossumidor) ou de outros métodos em desenvolvimento, tanto em relação ao consumo de energia quanto a outros aspectos sociais ou legais.

Do ponto de vista da qualidade do serviço, com base em estudos realizados no Brasil e em dados internacionais, sabe-se que os valores de indicadores coletivos de qualidade no Brasil (DEC e FEC) estão aquém do observado no mundo (CYRILLO, 2011; CEER, 2012; SINAPSIS INOVAÇÃO EM ENERGIA E MERCADOS ENERGÉTICOS, 2016). Os valores atuais médios de DEC no Brasil estão por volta de 15h a 30h por ano (o valor depende de considerações sobre o tipo de interrupção). Já na Europa este valor está por volta de 1h a 2h por ano. Em países orientais, como Coreia do Sul e Japão, os valores são da ordem de 10 minutos por ano. Nos Estados Unidos da América, em áreas rurais com redes de distribuição aéreas, os valores médios do tempo de energia interrompida são de ordem de 2h por ano. Essa diferença entre o observado internacionalmente e o observado no Brasil traz à tona questões sobre o custo das interrupções para a sociedade, em relação às tecnologias utilizadas e também aos aspectos sociais do país, que são temas de pesquisa relevantes.

A qualidade do produto trata principalmente das condições da forma de onda e transitórios na rede de distribuição. O aumento de elementos inteligentes, na rede elétrica, de novos equipamentos de armazenagem e de geração, principalmente a geração distribuída, com níveis de penetração até 2030 de cerca de 10 % do mercado, deve impactar diretamente essa temática, abrindo campos de estudo para o comportamento técnico e também para os impactos sociais e econômicos da qualidade do produto. Em particular, recentemente a Aneel iniciou um processo de implementação de uma regulação sobre essa temática de maneira mais ampla e considerando os eventos de curta duração, provocando o advento de iniciativas de P&D nessa área.

A qualidade comercial é um assunto que trata diretamente da relação entre consumidor e concessionária. As previsões são de que os consumidores passem a ser prossumidores, com a penetração esperada de 10% de GD na rede de distribuição, até 2030. Deve-se notar que as relações entre concessionária

e consumidor, no tocante à rede de distribuição, são reguladas, portanto não há livre comércio desses serviços, e é necessária a regulação dos aspectos contratuais. Diversas questões comerciais são estabelecidas legalmente ou através de resoluções normativas, entretanto, com o advento de novas tecnologias de dados e de comunicações, haverá necessidade de pesquisas em relação aos novos serviços e ao atendimento e necessidades dos serviços prestados atualmente.

Esse novo papel do consumidor, impulsionado pela integração de múltiplas fontes de energia a custos competitivos, pelo aumento do foco em eficiência energética e gestão da demanda, além de novas formas de precificação de serviços aponta para uma nova forma de relacionamento com cliente (BOCUZZI, 2014).

O termo relacionamento com cliente pode ser definido como a relação e o tratamento interpessoal entre a empresa e o cliente. Do ponto de vista do setor elétrico, este tem sido tratado como consumidor, sobretudo, por constituir um mercado cativo, com pouca ou quase nenhum poder decisório sobre a forma como o serviço é prestado. Entretanto as novas forças disruptivas que têm impactado o setor demandam que as concessionárias busquem novas fontes de receita para contrabalancear as suas perdas financeiras e se manterem sustentáveis (ZPRYME, 2014).

É neste sentido que o relacionamento entre concessionária e consumidor é transformado, resultando em mudança de atribuições em que consumidor passa a ser cliente, parceiro e/ou até fornecedor de serviços exigindo uma nova forma de gestão de relacionamento com cliente, a qual está fortemente relacionada com a qualidade comercial.

13.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Esta seção apresenta o cenário geral da macrotemática bem como as métricas que dimensionam e caracterizam sua evolução, necessárias para que se alcancem os objetivos definidos na seção anterior. São considerados aspectos como: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I e estrutura de CT&I. O esquema resumido deste capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).



Nas próximas décadas, a distribuição de energia deve assumir um papel preponderante em relação ao acesso ao consumo e utilização da energia elétrica. Em parte, isso deve ocorrer em função do deslocamento da economia da indústria para o setor de serviços, o que deve aumentar a proporção do consumo nas cidades e em redes de distribuição, em comparação ao consumo nas redes de transmissão. Isso posto, mesmo que o crescimento do PIB seja médio ou moderado (na ordem de 2,5% a.a.), deve-se esperar que o crescimento do consumo de energia seja significativo; no horizonte deste estudo, podendo talvez se estabilizar no final deste período, mesmo com o advento de ações de eficiência energética mais pronunciadas. Com isso, espera-se um crescimento médio contínuo da carga nas áreas de distribuição.

Também se esperam novas funções para a rede de distribuição. A introdução das redes elétricas inteligentes (REIs), mesmo considerada marginalmente no planejamento atual setorial, pode ser significativa nos grandes centros urbanos, que representam a maior parte de demanda para a distribuição de energia elétrica. Aliada às diversas formas de serviços de redes inteligentes, dois tipos de comportamento devem se disseminar nas próximas décadas entre os consumidores: armazenagem de energia elétrica e geração distribuída de energia elétrica. Esses dois aspectos, geração e armazenagem na rede de distribuição devem impactar profundamente o funcionamento da rede elétrica e do mercado de energia. A penetração de GD, na ordem de 10%, pode impactar o comportamento da rede de forma irreversível no tocante aos aspectos técnicos e de segurança bem como no mercado de energia elétrica.

Esses serviços e demais das REIs serão provavelmente mantidos por componentes eletrônicos, o que deve aumentar a complexidade dos sistemas elétricos no tocante à qualidade da tensão e corrente nos seus diversos aspectos. Espera-se também o aumento de controles eletrônicos em redes de distribuição, tal como visto em redes de alta tensão.

Embora esses temas, ligados intrinsecamente com a distribuição de energia elétrica, não apareçam como os temas dominantes na agenda política do setor, espera-se que, com a resolução de temas urgentes e de grande impacto econômico, as redes inteligentes, a penetração de GD, o uso das diversas informações de redes e de clientes e as questões relacionadas à mudança de paradigma da relação cliente-distribuidora sejam abordados com a profundidade necessária no planejamento setorial e nas discussões públicas dos agentes reguladores, não somente de energia elétrica, mas também de água, saneamento, telecomunicações e gás bem como agências de tráfego, transporte e planejamento de cidades. Espera-se, porém, que a dianteira desses temas seja adotada pelo setor elétrico e de telecomunicações.

Outro fator importante esperado para as próximas décadas é a possibilidade do acesso ao mercado livre de energia elétrica a todos os consumidores ou a grande parte dos consumidores. Assim, espera-se que as relações entre distribuidoras e clientes sejam modificadas, mesmo embora não se saiba exatamente em quais pontos. Essa separação entre distribuidoras, comercializadores de energia e consumidores pode levantar questões importantes em relação a questões pertinentes à coleta, processamento e manutenção de dados da rede e dos clientes. Por exemplo, na Inglaterra, a regulação prevê uma empresa responsável pelo faturamento e conexão dos clientes, e outra empresa responsável pelo processamento de dados e faturamento, ambas independentes da distribuidora de energia elétrica.

Assim é esperado aumento da importância da distribuição de energia elétrica em relação ao atual, sobretudo em relação às questões econômicas e sociais. E este aumento de importância deve exigir um aumento da qualidade ou uma melhor definição de determinados aspectos. Nesse contexto, foram definidas as seguintes métricas, explanadas nos tópicos subsequentes:

- DEC;
- FEC;
- Frequência de interrupção de curta duração;
- DIC e FIC;
- Indicadores da qualidade do produto;
- Indicadores da qualidade comercial;
- Inadimplência.

Como observado na fundamentação, diversos países e regiões com redes elétricas mais maduras apresentam índices de qualidade do serviço melhores do que o Brasil, sobretudo no tocante ao indicador DEC anual, que mede o tempo médio que a área de concessão esteve com o fornecimento interrompido. Espera-se, no mínimo, que os valores de DEC anual sejam menores do que 6h na média, principalmente, considerando a presença maciça de habitantes nas áreas urbanas em todo Brasil. Os valores observados mundialmente, por outro lado, são na ordem de minutos ou em poucas horas anuais. Há uma grande discussão se os valores do serviço de continuidade devem ou não se modificarem frente aos valores atuais, o que oportuniza linhas de pesquisa para se verificar qual seria o valor adequado de DEC e FEC e como as distribuidoras poderiam alcançar esses valores de maneira eficiente. Considerando a realidade mundial e alguns casos internacionais como o da Coreia e de Portugal (Sinapsis Inovação em Energia e Mercados Energéticos, 2016), considera-se que seja



econômica e tecnicamente possível se buscar valores compatíveis aos atuais valores internacionais nos próximos 30 anos. Deve-se entender que essa melhoria só ocorrerá se isso for desejado pela sociedade e transformado em obrigação pelo regulador, que disporá de ferramentas regulatórias para que isso seja possível.

Em relação aos indicadores individuais de qualidade de serviço, espera-se que eles sigam o conceito amplamente empregado internacionalmente de que eles devem ser utilizados para garantir direitos fundamentais e evitar que a distribuidora adote decisões estritamente com base em valores médios. Nesse sentido, espera-se que os valores de metas de DIC e FIC sejam estabelecidos por tipo de consumidor e não por conjunto elétrico, e que os valores de compensações sejam compatíveis com os problemas sofridos pelo consumidor em caso de tempos de falta de fornecimento incompatíveis com as necessidades atuais (e futuras). Essa indicação econômica também obriga as distribuidoras a planejarem as suas redes e equipes de maneira a manter um serviço homogêneo e correto para as principais áreas de atuação, considerando suas características urbanas ou rurais.

Em relação à qualidade do produto, a Aneel criou recentemente padrões para a medição dos aspectos de regime transitório. Já os indicadores de regime permanente foram estabelecidos anteriormente, principalmente no que tange aos níveis de tensão. Espera-se que os novos serviços da rede elétrica exijam primeiramente uma definição segura e formal dos parâmetros de qualidade do produto e posteriormente o atendimento desses parâmetros pelos agentes diretos do sistema elétrico, distribuidora e consumidores assim como pelos fabricantes de equipamentos. Assim se espera amplo campo para pesquisa no aspecto de qualidade do produto. Por outro lado, os valores de indicadores, diferentemente, dos indicadores de qualidade do serviço, ainda são de difícil projeção para valores futuros.

Os indicadores de qualidade comercial estão ainda ligados à definição de padrões de atendimento e resposta considerando uma situação de baixo teor tecnológico neste campo, e terão avanço significativo nas próximas décadas, principalmente com o estabelecimento de novas situações de relacionamento com o cliente e a medição mais precisa dos níveis de satisfação (indicadores de resultado), em detrimento do controle do processo de atendimento (indicadores de processo, como os atuais).

As respectivas métricas foram aplicadas a cada uma das rotas consideradas nesse estudo. Para visualizar o impacto de cada métrica no desenvolvimento dessas rotas, ver anexo.

13.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nessa seção, são abordados os roadmaps tecnológicos das rotas consideradas no projeto. Conforme informado na metodologia, os roadmaps dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

13.3.1 Temática qualidade do serviço

A qualidade do serviço trata principalmente da continuidade do atendimento de fornecimento de energia elétrica. Essa temática é particularmente importante em mercados regulados, através de modelos de “*price-cap*” ou similares, os quais restringem os ganhos das distribuidoras. Nesses mercados regulados, é fundamental que sejam estabelecidos parâmetros para a qualidade do serviço, que sejam condizentes com as expectativas da sociedade e com as possibilidades das empresas. Como apresentado na fundamentação, é muito provável que a qualidade do serviço no Brasil possa e deva ser melhorada. Para isso, são definidas as rotas apresentadas na Figura 64. A rota de modelos econômicos e regulatórios da qualidade é fundamental para conduzir corretamente as relações entre distribuidora e clientes, da qual é a base da qualidade. A rota de planejamento e gestão da confiabilidade trata da questão própria das distribuidoras em relação à qualidade do serviço, voltada para o planejamento e gestão da confiabilidade. Por fim, a rota de tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria de confiabilidade é destinada à pesquisa de equipamentos para a melhoria da qualidade do serviço.

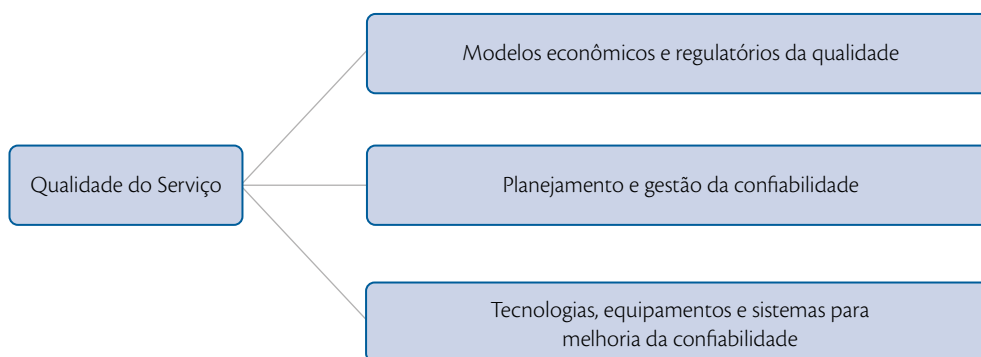


Figura 64 - Temática qualidade do serviço

Fonte: Elaboração própria.



A rota de modelos econômicos e regulatórios da qualidade trata das questões econômicas e regulatórias que visem otimizar a relação entre clientes e distribuidoras, desenvolvendo e criando modelos econômicos e regulatórios para a qualidade do serviço.

A rota de planejamento e gestão da confiabilidade, por sua vez, aborda o aspecto técnico da melhoria da qualidade, estudando a confiabilidade do sistema elétrico de distribuição, tanto em relação ao atual paradigma quanto em relação à penetração de tecnologias inteligentes na rede e no consumo. Esta linha levanta as possibilidades de melhoria na confiabilidade do sistema por parte da distribuidora, utilizando as tecnologias de equipamentos, processos e informática disponíveis e inovadoras.

Por fim, a rota de tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria de confiabilidade é destinada às pesquisas de melhoria e diminuição de custos de equipamentos e tecnologias que impactam a confiabilidade do sistema de distribuição e, conseqüentemente, impactam a qualidade do serviço. Essa rota de pesquisa pode ser conduzida de maneira independente das ações das distribuidoras, podendo ser conduzida por indústrias. É importante salientar que as particularidades das redes elétricas de distribuição brasileira podem gerar necessidade de nacionalização de tecnologias geradas no exterior.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 112 ao Gráfico 114. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

A evolução da maturidade das rotas de qualidade da distribuição de energia elétrica está vinculada, de maneira geral, com a evolução do mercado. Os especialistas acreditam, em sua maioria, que as necessidades de qualidade seguem a evolução da rede. Se a rede evolui mais rapidamente, há a necessidade de acelerar também o desenvolvimento das tecnologias voltadas para a qualidade. Assim, de maneira geral, as rotas dessa temática do serviço têm sua evolução baseada na percepção do cenário regulatório e de políticas públicas vinculadas ao setor de distribuição de energia elétrica. A rota de modelos econômicos e regulatórios da qualidade, por exemplo, é profundamente impactada pelas políticas públicas voltadas para a energia e seu consumo, portanto depende de ações do governo e de entidades ligadas direta ou indiretamente a ele.

Um ponto de divergência entre os especialistas sobre a evolução da maturidade para essa temática, conforme observado no Gráfico 112 e Gráfico 113, foi em relação à pesquisa sobre novas tecnologias, principalmente para se resolver problemas de qualidade que ainda não existem e que serão oriundos da presença de recursos dispersos na rede, tais como geração distribuída. Alguns especialistas acreditam que há conhecimento insipiente no setor sobre os reais impactos de novos recursos nas redes elétricas, enquanto que outros especialistas acreditam que esses problemas são menores quando se considera que a aplicação desses novos recursos não será abrupta.

Por fim, destaca-se que a evolução conjunta da tecnologia, regulação e conhecimento dessas rotas poderá ser observada principalmente através dos indicadores de DEC e FEC. Considera-se atualmente que uma rede madura, com alto desenvolvimento tecnológico e econômico, tenha DEC menor do que 2 horas/ano e FEC menor do que 1 ocorrência de longa duração por ano. Além disso, observa-se que os valores de DIC e FIC devam ser estabelecidos através de garantias individuais e, portanto, resultando em políticas de compensações aos consumidores com níveis de qualidade do serviço abaixo do regulado. Com a regulação adequada, no entanto, acredita-se que possam ser alcançados valores de indicadores de DEC e FEC em padrões internacionais em médio prazo ao invés de longo prazo.

Rota 1 - Modelos econômicos e regulatórios da qualidade

A evolução da rota de modelos econômicos e regulatórios da qualidade, como observado no Gráfico 112, apresenta baixo grau de maturidade na situação atual, segundo avaliação de especialistas e atingirá evolução máxima por volta de 2040. Há divergência entre os especialistas sobre atual situação da regulação. Alguns defendem que houve já melhorias significativas nas definições de índices técnicos para qualidade do produto e qualidade do serviço, que há melhor acompanhamento dos índices e que o cenário é favorável do ponto de vista técnico. Outros especialistas defendem que as conquistas técnicas obtidas estão defasadas em relação às outras partes do mundo, onde os índices de qualidade são acompanhados há anos. Também argumentam que a situação regulatória não influenciou de forma decisiva a melhoria dos indicadores, sobretudo o DEC, na última década. Em relação à evolução a médio prazo, há também variações de percepção, sobretudo pela presença de um novo contexto de distribuição de energia elétrica, com GD, prossumidores e novos equipamentos. Entretanto acredita-se que, a longo prazo, por volta de 2040, a regulação para a qualidade de energia seja madura, considerando corretamente os custos de qualidade no sistema, nos equipamentos, bem como na correta atribuição de responsabilidades para todos os agentes conectados à rede de distribuição de energia elétrica. Essa crença vem do fato de que as mudanças sociais relacionadas com GD, *big data* e prossumidores vão obrigar a adequação regulatória para quaisquer modelos econômico-regulatórios adotados.

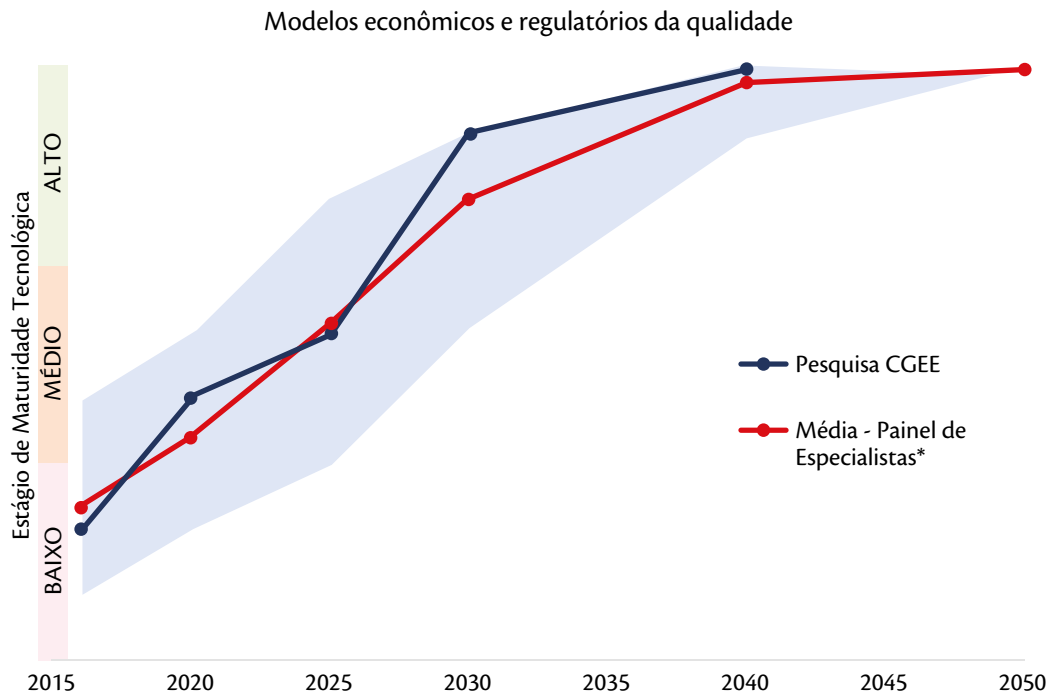


Gráfico 112 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos econômicos e regulatórios da qualidade

Fonte: Elaboração própria.

Rota 2 - Planejamento e gestão da confiabilidade

A evolução desta rota, como observado no Gráfico 113, é influenciada principalmente pela evolução da penetração de componentes na rede. Os recursos atuais de software incluem uso massivo de dados para realização da avaliação da confiabilidade, entretanto esses softwares ainda não são amplamente utilizados pelas distribuidoras. O uso de softwares especialistas, em planejamento da qualidade do serviço, depende de informações precisas da rede, dos clientes e das interrupções, e a introdução de instrumentos de redes inteligentes deve aumentar a qualidade dessas informações. Embora a ciência de planejamento de redes seja conhecida de longa data, as novas tecnologias geram incertezas no planejamento do sistema elétrico e mesmo, em 2030, não se espera um conhecimento pleno e aplicado de tecnologias para o planejamento de confiabilidade, mesmo esse sendo impulsionado pela necessidade de se planejar redes com grande penetração de GD.

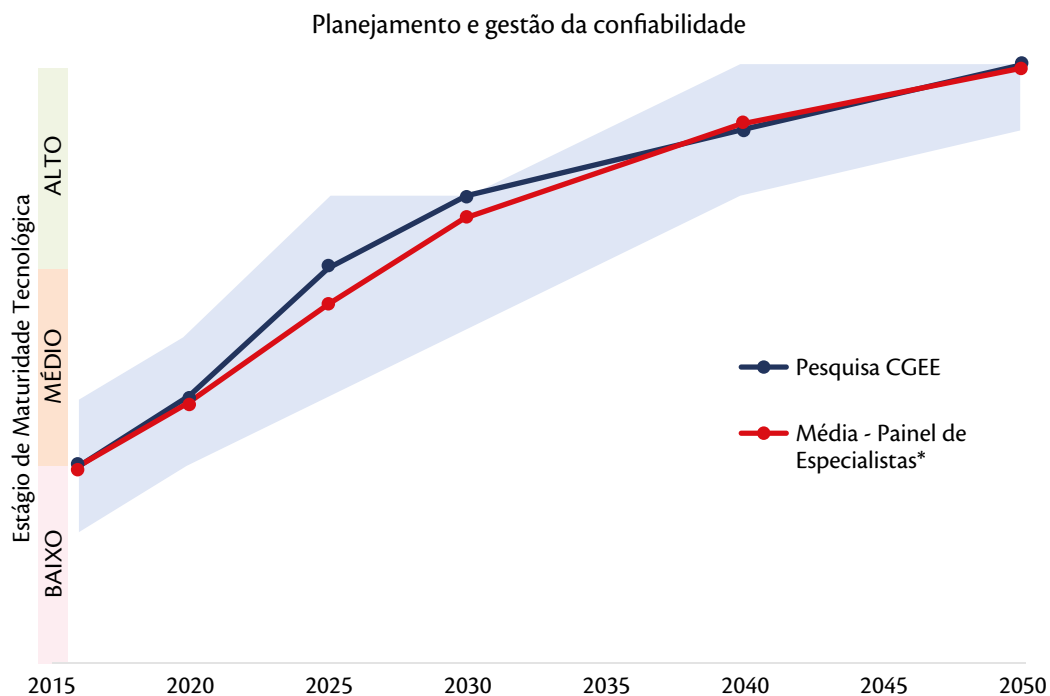


Gráfico 113 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de planejamento e gestão da confiabilidade

Fonte: Elaboração própria.

Rota 3 - Tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria da confiabilidade

Para a rota 3, houve avaliações distintas, de acordo com a visão de evolução das redes de distribuição e sua aplicação no caso brasileiro. No cenário mais otimista, tem-se a rápida penetração de novos elementos, tais como geração distribuída e medidores inteligentes, mantendo-se a estrutura atual de rede aérea radial suprida em corrente alternada. Caso essa tecnologia padrão de rede de distribuição mude, haverá necessidade de desenvolvimento completamente novo e com nível alto de maturidade a longo prazo. Portanto acredita-se que os equipamentos de qualidade seguirão as possibilidades das tecnologias de redes elétricas disponíveis. Os especialistas também acreditam que a influência econômica exerça um fator importante na utilização dessas tecnologias no Brasil. Um exemplo citado é de que as atuais tecnologias de qualidade do serviço já estão disponíveis em países, como o Japão, desde da década de 1970, mas, somente na década de 2010, passaram a ser amplamente utilizados no Brasil. O problema não é somente preço, mas a remuneração do custo, que sofre impacto regulatório.

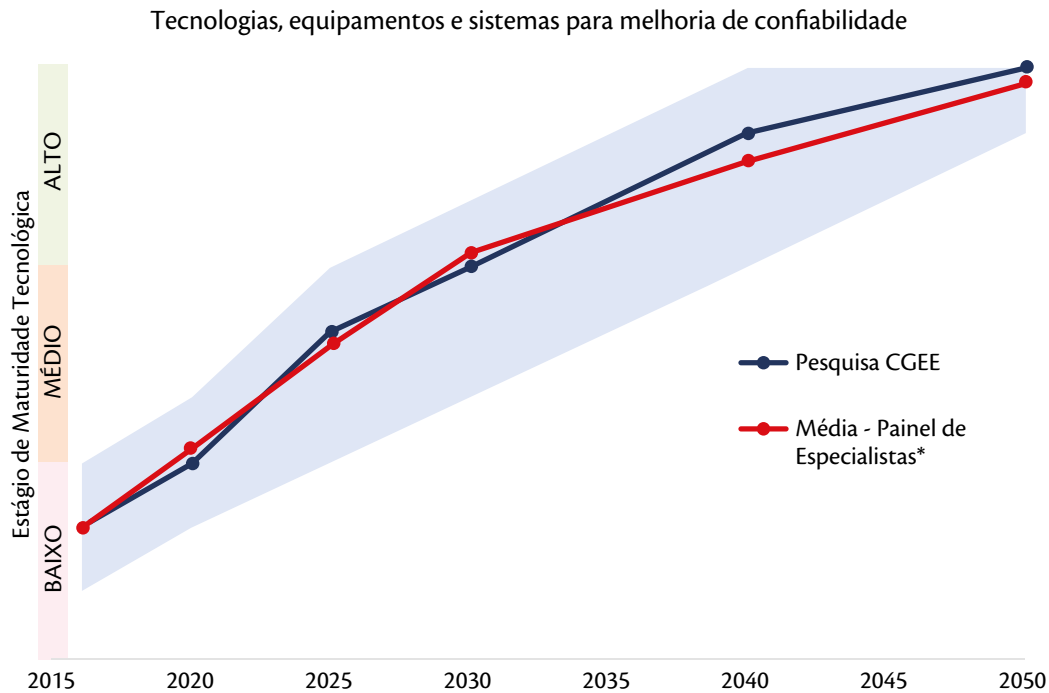


Gráfico 114 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria de confiabilidade

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 60 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática qualidade do serviço

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Qualidade do Serviço	Modelos econômicos e regulatórios da qualidade	Fatores portadores de futuro	Pressão Social; adequação da regulação	A inclusão de custos sociais na avaliação da qualidade tende a melhorar a regulação	A regulação deve considerar aspectos técnicos das novas tecnologias; implementação plena de redes inteligentes	Custeio correto dos agentes		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Planejamento e gestão da confiabilidade	Fatores portadores de futuro	Consideração do custo social da qualidade na regulação; necessária obrigatoriedade da realização do planejamento da qualidade	Crescimento dos investimentos em redes inteligentes; regulação adequada em relação aos novos recursos; necessidade de separação do serviço de distribuição de energia do comércio de energia	Recursos de redes inteligentes amplamente aplicada	Mudança de padrões de rede		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Qualidade do Serviço	Tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria de confiabilidade	Fatores portadores de futuro	Aumento das demandas regulatórias por melhor qualidade do serviço (produto e comercial também); adequação da regulação para redes inteligentes, considerando o custo da qualidade	Reconhecimento de investimentos em qualidade, permitindo a inserção de novas tecnologias; possível mudança no conceito de redes de distribuição em corrente alternada	Barateamento das tecnologias de redes inteligentes; aumento nos custos marginais	Aumento nos custos marginais da qualidade		
			Maturidade	BAIXO				

Fonte: Elaboração própria.

13.3.2 Temática qualidade do produto

Para a temática qualidade do produto, foram definidas três rotas tecnológicas, conforme indicado na Figura 65.

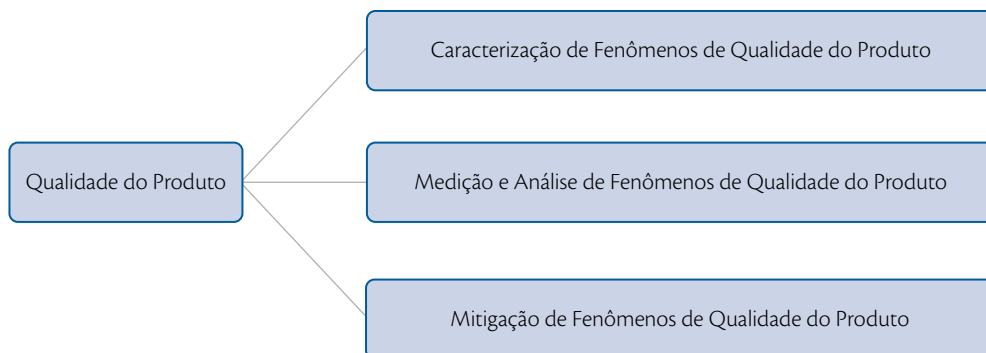


Figura 65 - Temática de qualidade do produto

Fonte: Elaboração própria.

Durante muito tempo, a qualidade de tensão na rede elétrica foi mantida por parâmetros relacionados com a garantia da frequência em 60hz, da tensão média dentro dos níveis adequados e do fator de potência de acordo com os padrões para evitar perdas elétricas e econômicas. Essa forma de garantir a qualidade do produto foi adequada para a manutenção da qualidade do sistema em um ambiente no qual a maior parte da carga era composta por elementos eletromagnéticos, sobretudo motores eletromecânicos e resistências elétricas, sendo a geração caracterizada por geradores de grande porte sincronizados.

Não obstante a mudança no paradigma já é percebida no setor, mostrando-se necessário garantir, além desses parâmetros, outros relacionados com harmônicos na rede, comportamentos de curta duração, frequência, fator de potência, entre outros fenômenos do sistema elétrico. Tais fenômenos serão cada vez mais presentes nos sistemas elétricos quando se considera a ampla penetração de componentes eletrônicos na carga e na geração de energia elétrica.

Portanto há campo de pesquisa claro em relação à caracterização de tais fenômenos, sendo que a legislação da Aneel ainda está no caminho para a definição de valores de indicadores e que os fenômenos estão começando a ser regulatoriamente observados a partir de 2017.



A partir da rota de caracterização de fenômenos de qualidade do produto, espera-se que seja necessária a ativa participação das distribuidoras e dos consumidores na mitigação desses fenômenos. Nesse sentido, não se acredita que os equipamentos possam, apenas através de padrões de fabricação nacionais e internacionais, resolver os problemas relacionados com a qualidade do produto.

A rota de medição e análise de fenômenos de qualidade do produto trata da necessidade de se observar e analisar os fenômenos de qualidade, tanto em relação à rede elétrica, aos processos dos consumidores e aos equipamentos atuais quanto aos novos a serem conectados na rede de distribuição.

Embora o meio acadêmico tenha modelado os comportamentos elétricos e a teoria seja bem conhecida, herança de estudos de alta tensão e de transitórios elétricos, o comportamento real da rede de distribuição frente a tais fenômenos ainda não é completamente compreendido, sendo assim há necessidade de pesquisa específica para a área de distribuição. Outro aspecto importante é de que, para a distribuição de energia, a regulação deve considerar diversos casos de usos e a mitigação dos impactos na tarifa.

Por fim, a rota de mitigação de fenômenos de qualidade do produto apresenta o esforço necessário para aplicar nas redes de distribuição técnicas e tecnologias que possam mitigar os fenômenos de qualidade do produto.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 115 ao Gráfico 117. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

A evolução da maturidade da qualidade do produto deve ser vinculada à penetração de novas tecnologias e recursos na rede de distribuição elétrica. Recentemente, a Aneel introduziu parâmetros mais consolidados para medir a qualidade do produto, abordando diversos aspectos da qualidade que são observados nas redes elétricas. Entretanto, com a introdução de novas tecnologias, há novos fenômenos esperados gerando distúrbios e faltas no sistema. Dessa forma, espera-se que os indicadores, sua apuração e os mecanismos regulatórios de controle sejam aprimorados ao longo do

tempo. Por outro lado, é esperada a melhoria nos equipamentos, o que mitiga os efeitos observados na rede, tanto em relação à emissão de problemas quanto na susceptibilidade a eles.

Rota 4 - Caracterização de fenômenos da qualidade do produto

O descompasso entre o que é observado internacionalmente para qualidade do produto e o que é realizado atualmente no Brasil fica evidente através da avaliação dos especialistas para a rota 4 - caracterização de fenômenos da qualidade do produto. Embora a maioria dos especialistas acredite que hoje esta rota já tenha atingido maturidade média, há grande dispersão, sobretudo em relação à evolução, vide Gráfico 115. A correta consideração dos fenômenos do ponto de vista regulatório, tal como o que foi recentemente alcançado através do Prodist - módulo 8, conta como aspecto positivo e determinante para sua evolução. No entanto estes avanços estão mais de uma década atrasados em relação ao esperado. Ademais, nota-se que as tecnologias de medição de fenômenos de rede estão disponíveis em grande parte há anos, porém só são aplicadas caso isso se justifique econômica ou regulatoriamente. Espera-se que, a longo prazo, haja convergência entre o estado da arte observado em países como EUA ou países europeus e o Brasil.

Em relação às novas tecnologias, pode-se tomar a dianteira do desenvolvimento através de pesquisas para caracterizar os novos fenômenos de qualidade do produto que vão ocorrer com a introdução desses elementos, o que aceleraria o crescimento dessa rota, a qual normalmente acompanha as tecnologias disponíveis na rede de distribuição, sempre com algum atraso, de maneira corretiva.

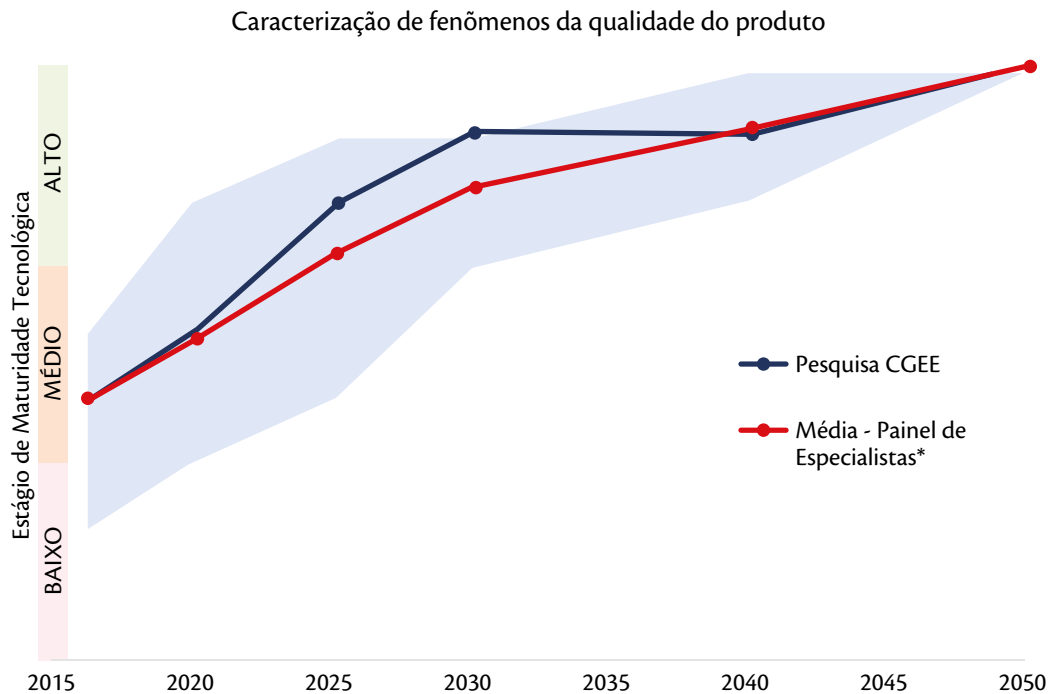


Gráfico 115 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de caracterização de fenômenos da qualidade do produto

Fonte: Elaboração própria.

Rota 5 - Medição e análise dos fenômenos de qualidade do produto

Para esta rota, apresenta-se um embate entre duas concepções de aplicação tecnológica. Embora grande parte dos medidores (equipamentos) já esteja desenvolvida há anos, a sua aplicação e o uso das informações obtidas não estão. Assim, há alguma divergência entre os especialistas sobre o nível

de maturidade da rota, conforme se verifica na faixa de variação do Gráfico 116. Atualmente, a maior parte da medição de qualidade do produto é feita em grandes clientes ou em pontos de suprimento, principalmente na subtransmissão e nas subestações. Com o tempo, essas tecnologias devem se espalhar para mais consumidores e, finalmente, fazer parte de sistemas de controle de qualidade do produto na rede de distribuição, talvez, inclusive, sendo um produto comercializável no futuro. A inserção de medidores inteligentes com capacidade para medir grandezas relacionadas com a qualidade do produto, bem como de tecnologias para análise dessas medições, tende a impulsionar essa rota, o que deve acontecer em médio ou longo prazo, como pode ser visto na dispersão da curva de evolução dessa rota, que atinge sua maturidade somente a longo prazo.

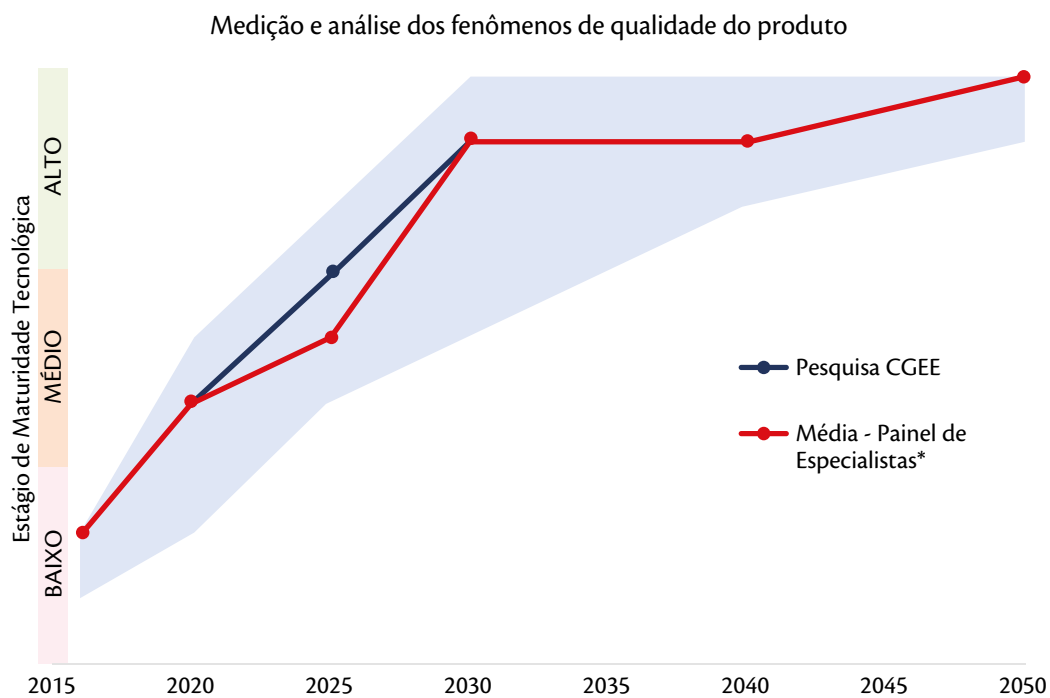


Gráfico 116 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de medição e análise dos fenômenos de qualidade do produto

Fonte: Elaboração própria.



Rota 6 - Mitigação de fenômenos de qualidade do produto

Em decorrência da entrada de mais equipamentos eletrônicos intermissivos na rede, ter-se-á uma gama maior de fenômenos impactando a qualidade do produto. É necessária, por conseguinte, a mitigação desses fenômenos. A mitigação depende de um entendimento regulatório e técnico sobre a responsabilidade do fenômeno e sobre as necessidades de suportar esses fenômenos por parte dos equipamentos e processos. Atualmente, esse processo é incipiente no mercado de distribuição, mas é muito bem regulado no mercado de equipamentos. Espera-se, então, que a importância do assunto impacte na evolução da rota em médio prazo, contribuindo para evolução tal qual Gráfico 117. Ademais, como há diversos estudos teóricos sobre controle de mitigação dos fenômenos de qualidade do produto, é esperado uma evolução contínua de equipamentos e sistemas para operarem de maneira individualizada e coletiva, sobretudo a partir de 2025, quando já terá ocorrido a expansão mundial de novos serviços na rede e, conseqüentemente, também nos equipamentos elétricos em geral.

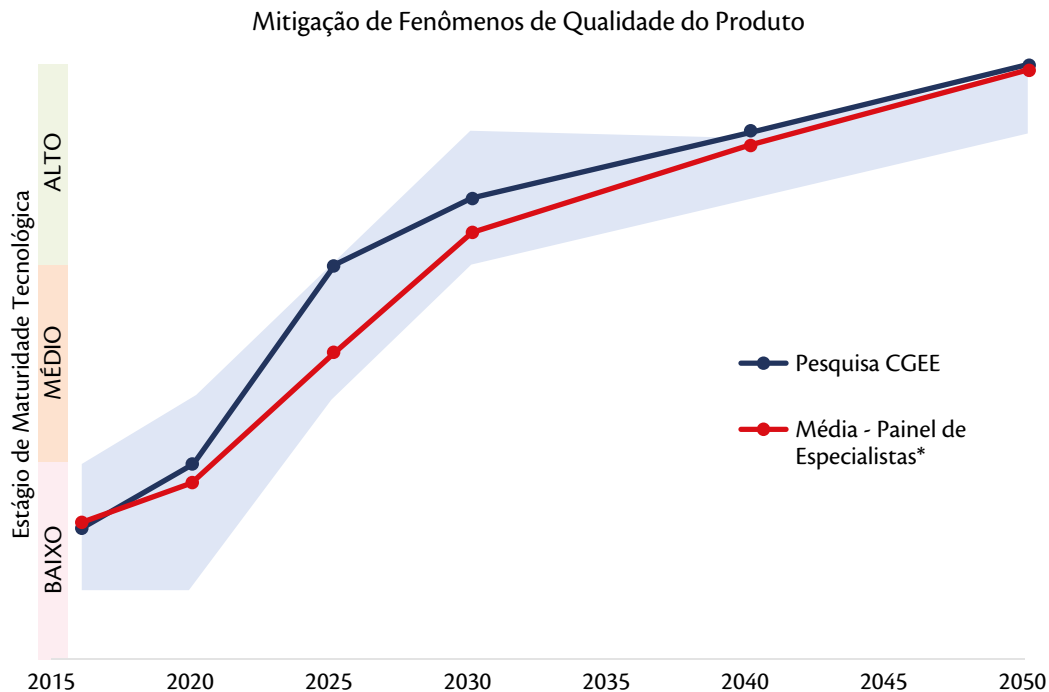


Gráfico 117 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de mitigação de fenômenos de qualidade do produto

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados, na tabela a seguir, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

Tabela 61 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática qualidade do produto

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Qualidade do Produto	Caracterização de Fenômenos de Qualidade do Produto	Fatores portadores de futuro	Pressão Social	Aumento de elementos eletrônicos inteligentes na rede e nos clientes	Melhoria da regulação considerando o avanço dos diversos elementos de redes inteligentes; necessidade de políticas públicas e regulatórias para novos elementos na rede	Internacionalmente os problemas de distribuição de energia elétrica devem estar muito bem caracterizados	Revolução mundial do conceito de redes elétricas (cenário pouco provável hoje)	
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			
	Medição e Análise de Fenômenos de Qualidade do Produto	Fatores portadores de futuro	Pressão Social; custo dos equipamentos	Aumento nos investimentos de redes inteligentes		Melhoria da regulação considerando o avanço dos diversos elementos de redes inteligentes; redes inteligentes e redução nos custos equipamentos; medidores inteligentes com serviços de qualidade do produto incorporados		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Mitigação e de Fenômenos de Qualidade do Produto	Fatores portadores de futuro	Pressão Social; necessária maior caracterização do fenômeno (ainda pouco conhecida)	Motivos econômicos devem levar a necessidade de regulação e pesquisas aplicadas; aumento de geradores de fenômenos de qualidade na rede	A necessidade de equipamentos elétricos resilientes (em nível mundial) aumenta efeitos de mitigação; avanço da regulação sobretudo na parte de mitigação e imputação de custos aos clientes conectados		Regulação adequada à mitigação, reduzindo custos sociais relativos à qualidade do produto; [possível aumento de GD e equipamentos avançados que não são previstos economicamente nas condições atuais	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.



13.3.3 Temática qualidade comercial e relacionamento com o cliente

Atualmente, as relações entre consumidores e distribuidoras de energia são estabelecidas em regulamentação, a qual também estabelece os padrões adequados de atendimento, sejam eles de natureza técnica, sejam de natureza comercial. No entanto se observa que somente os regulamentos não são suficientes para garantir o cumprimento da qualidade comercial, sendo necessária a regulação específica sobre esta temática, procurando incorporar a qualidade comercial como critério de remuneração e/ou penalização para as distribuidoras.

A relação econômica entre distribuidora e consumidor pode ser passível de inadimplência. Particularmente, no Brasil, essa temática tem chamado atenção nas últimas décadas, em decorrência das perdas econômicas envolvidas para a distribuidora e para a sociedade.

Como pode ser observado, o relacionamento entre distribuidoras de energia e consumidores tem seu ápice em momentos negativos para o cliente, seja no contato por falha de fornecimento, no recebimento da conta de energia, seja no corte de energia por inadimplência. Como apresentado na fundamentação, há uma projeção de que este relacionamento se transforme gradualmente, tendo em vista a necessidade de novas receitas para balancear as finanças da empresa de energia, impactada pela entrada de múltiplas fontes na rede de distribuição. O cenário descrito aponta para a necessidade de ao menos três rotas de pesquisas necessárias para o ajuste destes novos modelos de qualidade comercial e relacionamento com o cliente de energia, conforme indicado na Figura 66.

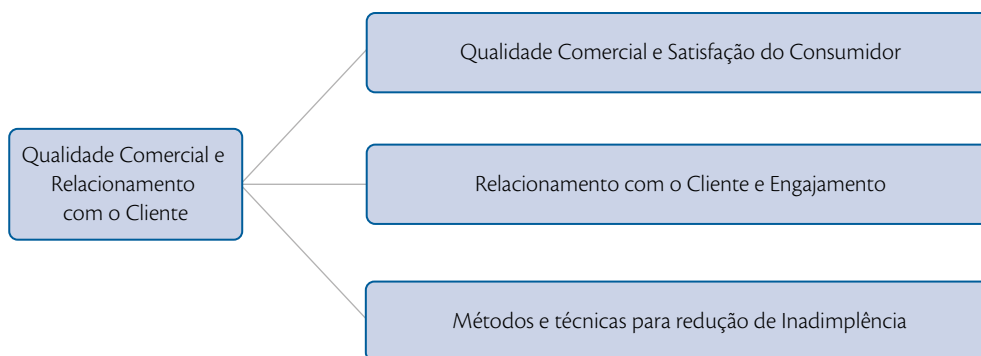


Figura 66 - Temática de qualidade comercial e relacionamento com o cliente

Fonte: Elaboração própria.

A rota de qualidade comercial e satisfação do consumidor trata da padronização da qualidade do atendimento das empresas de distribuição a seus consumidores, incluindo o desenvolvimento de metodologias para avaliação de desempenho, trocando indicadores de processo por de resultado, e de mecanismos de incentivos por melhoria.

A rota de relacionamento com o cliente e engajamento, por sua vez, aborda o aspecto de relacionamento dos clientes com as concessionárias e com as tecnologias voltadas ao setor de eletricidade, estudando formas de educação do cliente, estudo de comportamento frente ao tema gestão de energia e novas tecnologias, engajamento do cliente e o aumento de sua participação no setor, seja pelo papel do prossumidor, seja como ativo de rede pela sua participação em programas de gestão pelo lado da demanda assim como novos modelos tarifários, de negócio e de serviços.

Por fim, a rota de métodos e técnicas para redução de inadimplência aborda a busca por novas estratégias, programas, tecnologias e sistemas computacionais para a redução de inadimplência dos clientes que tanto impacta a saúde financeira das empresas, sobretudo, em situações de crise econômica.

Roadmap tecnológico

Considerando os respectivos cenários e métricas, são apresentadas as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas - dispostas do Gráfico 118 ao Gráfico 120. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Destaca-se que a evolução da maturidade dos temas de qualidade pertinentes ao relacionamento com o consumidor, seja pelas relações comerciais estabelecidas, seja pelo engajamento do cliente, é um assunto que é visto como extremamente dependente do modelo setorial. Enquanto a maioria dos clientes forem consumidores cativos, não há necessidade eminente em novas pesquisas. Entretanto a abertura de mercado leva a questão de relacionamento (rotas 7 e 8) ao nível de extrema importância, podendo significar a perpetuidade das empresas de distribuição ou seu fim. A expectativa dos especialistas que analisam o painel da qualidade da distribuição é de que a liberalização do mercado não aconteça tão cedo, o que atrasa essas rotas de pesquisa para um desenvolvimento médio entre 2025 e 2030.



Rota 7 - Qualidade comercial e satisfação do consumidor

A rota 7 - Qualidade comercial e satisfação do consumidor nasce de uma atual presença do mercado regulado, mas tende a ser muito importante em médio ou longo prazo, justificando o desenvolvimento previsto no Gráfico 118. É provável que o mercado de energia de varejo mude o tratamento de consumidores cativos para clientes conectados, com novos serviços e com o valor desses novos serviços sendo mais importantes do que a própria energia elétrica, assim como aconteceu com a telefonia celular em relação à internet, mensagem, etc. Muito provavelmente as empresas de distribuição de energia elétrica se tornem somente agentes regulados do serviço de rede, assim como acontece em diversos países como EUA, França e Inglaterra, cenário que muda profundamente a relação entre clientes e empresas.

Ademais, espera-se que indicadores tais como o IASC continuem sendo observados e publicados, porém há necessidade de uma abordagem direta sobre a qualidade de cada serviço prestado, cabendo também o desenvolvimento de novos indicadores para essa rota.

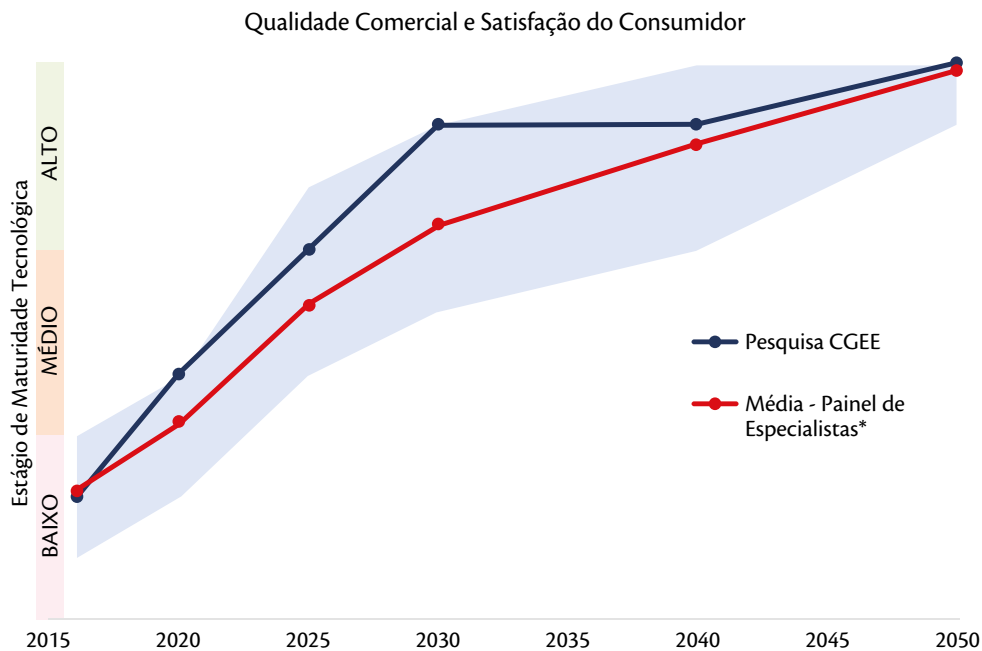


Gráfico 118 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de qualidade comercial e satisfação do consumidor

Fonte: Elaboração própria.

Rota 8 - Relacionamento com o cliente e engajamento

A política pública é fundamental em relação à definição dos papéis dos agentes (e.g. cliente cativo versus consumidor conectado; distribuidora vendedora versus comercializadora). Assim, as definições de relações comerciais e institucionais influenciam as três rotas dessa temática - em especial a rota 8. Conseqüentemente, como há diferentes cenários sobre essa mudança, há uma divergência em relação à evolução da rota por parte dos pesquisadores, conforme visualizado no Gráfico 119 quanto mais cedo os consumidores se tornarem livre, mais cedo se alcançará a maturidade plena.

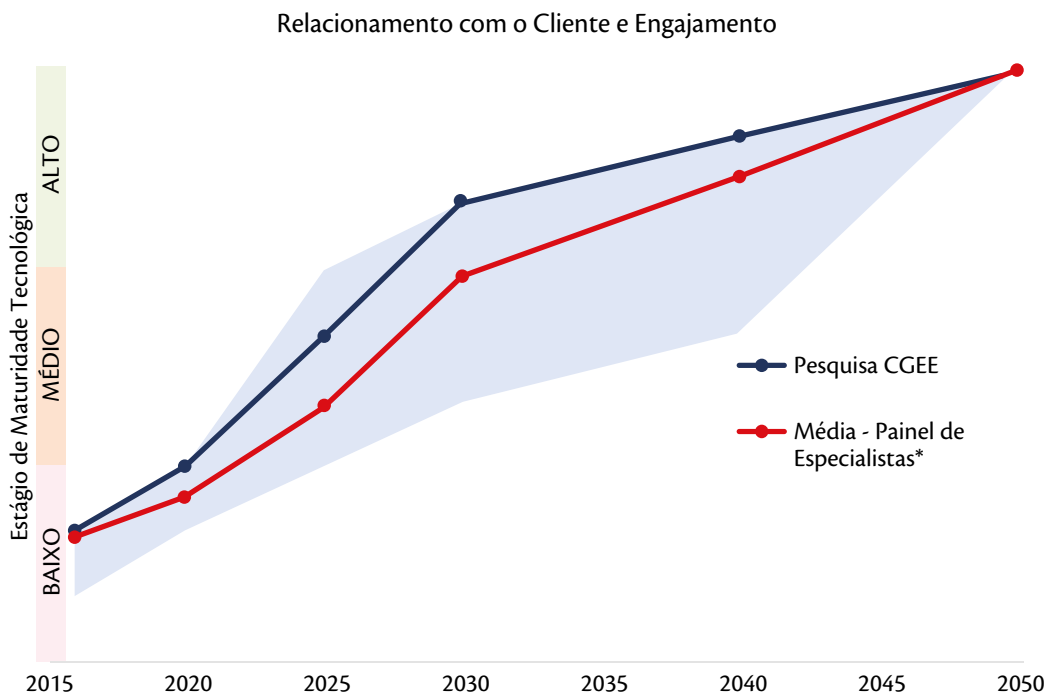


Gráfico 119 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de relacionamento com o cliente e engajamento

Fonte: Elaboração própria.



Rota 9 - Métodos e técnicas para redução de inadimplência

Do ponto de vista de métodos e técnicas para redução de inadimplência, observa-se que o crescimento do problema de inadimplência está atrelado às condições econômicas brasileiras, e o aumento dos indicadores, observados nos últimos anos (2015-2016), enseja mais pesquisas sobre o tema. Nesse sentido, há expectativas que a rota possa ser impulsionada nos próximos anos, conforme a evolução disposta no Gráfico 120.

Assim, acredita-se que a própria questão da inadimplência será reformulada do ponto de vista técnico e social. É esperado, ainda, que não haja aumento no número de consumidores sem acesso à rede e consumo de energia elétrica com essas mudanças a longo prazo. Por outro lado, apesar de encontrar muito apoio por parte das empresas distribuidoras, essa questão tem pouco apoio por parte da comunidade de pesquisadores em distribuição de energia - por se tratar de um ímpar e não heterodoxo nas pesquisas de qualidade de energia elétrica.

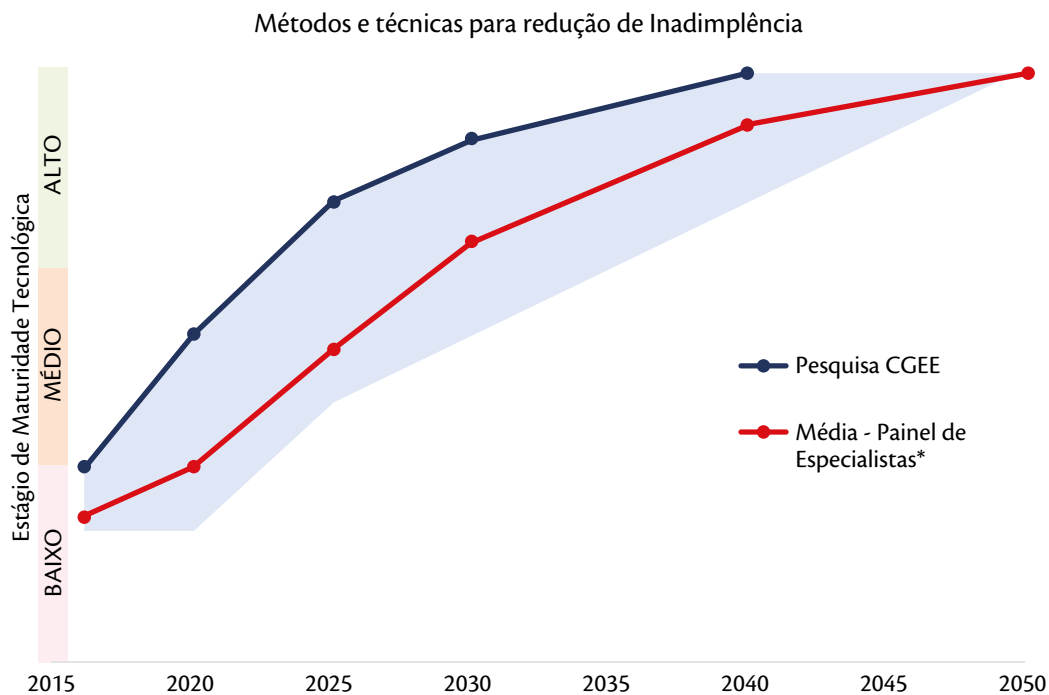


Gráfico 120 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métodos e técnicas para redução de inadimplência

Fonte: Elaboração própria.

Para que a evolução das rotas tecnológicas ocorra como proposto, são listados na tabela a seguir os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



Tabela 62 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de qualidade comercial e relacionamento com o cliente

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Qualidade Comercial e Relacionamento com o Cliente	Qualidade Comercial e Satisfação do Consumidor	Fatores portadores de futuro	Pressão Social; necessidade de os consumidores serem tratados como clientes - redefinição do mercado cativo	Pressão Social aumenta; GD; consumidores tornarem-se livres	Avanços em decorrência de redes inteligentes	Avanços devido às liberalizações no mercado de energia		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Relacionamento com o Cliente e Engajamento	Fatores portadores de futuro	Necessidade de políticas públicas	Pressão Social; valor social de engajamento dos clientes em evidência; necessidade de programas de resposta à demanda	Redes inteligentes e comercialização de dados; necessidade de regulação adequada à evolução do mercado	Programas de resposta à demanda disseminados; valor dos dados dos clientes supera valor comercial da energia		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Métodos e técnicas para redução de Inadimplência	Fatores portadores de futuro	Aumento dos níveis de inadimplência; necessidade de regulação sobre uso de dados	Uso de dados e novos meios de comunicação	Início de programas sociais avançados para garantia de direitos básicos; regulação restritiva às ações da distribuidora e/ou comercializadora	Uso de redes inteligentes e regulação adequada; políticas públicas voltadas ao bem-estar social		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

13.4 Priorização

Nesse item, é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática qualidade da energia elétrica. Conforme explanado na metodologia, a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução da maturidade tecnológica de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores (apresentados nas tabelas de fatores portadores de futuro).

A priorização consistiu em ordenar, em ordem crescente, as rotas, de acordo com a sua prioridade. Assim, a rota mais prioritária recebe nota 1 e a menos prioritária recebe nota **9**, pois são **nove** rotas.

A priorização foi feita em duas rodadas: na primeira rodada, os especialistas emitem seu parecer de maneira individual e sem influência de outrem; na segunda rodada, os especialistas podem compartilhar sua posição, podendo alterar a percepção dos demais em relação à priorização. O resultado da priorização é apresentado na Tabela 63.

Tabela 63 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática qualidade da energia elétrica

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Planejamento e gestão da confiabilidade	Qualidade do Serviço
2	Modelos econômicos e regulatórios da qualidade	Qualidade do Serviço
3	Tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria de confiabilidade	Qualidade do Serviço
4	Relacionamento com o cliente e engajamento	Qualidade Comercial e Relacionamento com o Cliente
5	Qualidade comercial e satisfação do consumidor	Qualidade Comercial e Relacionamento com o Cliente
6	Inadimplência	Qualidade Comercial e Relacionamento com o Cliente
7	Medição e análise dos fenômenos de qualidade do produto	Qualidade do Produto
8	Mitigação de fenômenos de qualidade do produto	Qualidade do Produto
9	Caracterização de fenômenos da qualidade do produto	Qualidade do Produto

Fonte: Elaboração própria.



Dos resultados, pode se observar que as três rotas consideradas mais prioritárias refletem a necessidade de se estabelecerem regras claras, tanto por parte do regulador quanto por parte da concessionária, por meio de padrões de planejamento. A rota mais prioritária é a de planejamento e gestão da confiabilidade, o que reflete que parte das tecnologias já são conhecidas, mas há urgência de se desenvolver mais conhecimento em planejamento e gestão da qualidade da distribuição de energia elétrica, possibilitando o uso das tecnologias disponíveis e melhor uso das tecnologias futuras. Também foi consenso entre os especialistas que o regulador tem papel importante na melhoria da qualidade, pois as decisões regulatórias impactam a disposição das empresas em investir, em pesquisar e em levantar dados de qualidade da energia. A temática relacionada com qualidade do serviço obteve as três rotas mais prioritárias. Isso reflete a importância em termos de geração de valor para toda a sociedade a partir dessas rotas de pesquisa.

As rotas relacionadas com a temática qualidade comercial e relacionamento com o cliente foram listadas nas posições 4, 5 e 6. Destaca-se que as rotas de relacionamento com o cliente e engajamento e qualidade comercial e satisfação do consumidor serão fundamentais em um futuro próximo, considerando o prospectado em relação à situação regulatória e às políticas públicas quanto à abertura do mercado de energia elétrica. Atenção especial também deve ser dada para a rota de inadimplência, a qual foi identificada por dois especialistas como a rota mais importante para pesquisa, devido ao seu alto impacto na receita das distribuidoras e em função da conjuntura econômica.

Por fim, a temática qualidade do produto teve suas rotas classificadas nas últimas posições. Isso aconteceu, pois a percepção dos especialistas apontou que já houve um grande desenvolvimento em medição e análise dos fenômenos de qualidade do produto. Contudo, ressalva-se que há necessidade em melhorar a caracterização e a mitigação desses fenômenos, principalmente envolvendo os fenômenos que começaram a surgir na rede elétrica, em função da maior penetração de geração distribuída e equipamentos eletrônicos. Enfatiza-se que a priorização não representa a ordem de importância dos temas, e sim a priorização em termos de linhas de pesquisa.



Referências



Referências bibliográficas

ADODHIA, V.; HAKVOORT R. Economic regulation of quality in electricity distribution networks.

Utilities Policy v.13, n.3, p. 211-221. 2005.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **ABDI consolida agenda de propostas para cidades inteligentes e humanas.** Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Paginas/noticia_detalhe.aspx?i4126>. Acesso em: 13 jan. 2017.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI; Instituto APTEL – iAPTEL.

Mapeamento fornecedores nacionais e seus produtos e serviços para Redes Elétricas

_____. _____. **Mapeamento internacional da cadeia de produtos e serviços de TIC para redes elétricas inteligentes (REI):** Sumário Executivo (Preliminar). Brasília: dec. 2014. **Inteligentes (REI):** Sumário Executivo (Preliminar). Brasília: jun. 2014.

_____. _____. **Normas técnicas, padrões e regulamentos aplicados à cadeia de produtos e serviços de TIC para redes elétricas inteligentes (REI):** Sumário Executivo (Preliminar). Brasília: out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Aneel. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 3. ed., Brasília: 2008.

_____. **Avaliação dos custos relacionados às interrupções de energia elétrica.**

Consulta Pública Aneel 015/2016.

_____. **BIG - Banco de Informações de Geração.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>

_____. **Consulta pública para avaliar a necessidade de regulamentação do fornecimento de energia elétrica a veículos elétricos.** Disponível em: <www.aneel.gov.br>.

_____. **Indicadores coletivos de continuidade (DEC e FEC).** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

_____. **Indicadores de distribuição.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/indicadores-da-distribuicao>>. Acesso em: mar. 2017.

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/prodist>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição, 2015.

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica, Rev. 7 ed., 2015. Data de Vigência: 01/01/2017. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/modulo-8> >.

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica, Versão vigente: Revisão 8, Data de Vigência: 01/01/2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>.

_____. **Resolução normativa Nº 414**, de 09 de setembro de 2010. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

_____. **Resolução normativa Nº 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

_____. **Sistema de informações de geração – SIG**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: mar. 2017.

_____. **Programa de pesquisa e desenvolvimento – 2017**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/pt/programa-de-p-d/-/asset_publisher/ahiml6B12kVf/content/gestao-do-progra-1/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fpt%2Fprograma-de-p-d%3Fp_id%3D101_INSTANCE_ahiml6B12kVf%26p_p_lifecycle%3Do%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3>.

_____. **Unidades consumidoras com geração distribuída**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

ALVES, T.E.; SANTOS, T.T.; PACHELLE, E.; SOUZA, J.; AVELINO, M.; DIAS, R.; MEDEIROS, A.; MAFRA JUNIOR, J.J.; SOUZA, J.M.; SEGUNDO, M.; LACERDA, R.N. **Experiência da Energisa Paraíba na implantação de sistema self-healing auxiliado por monitoramento remoto de transformadores**. Artigo submetido ao Citenel 2017.

ANDERSON, P.; TUSHMAN, M.L. Managing through cycles of technological change. **Res Technol Manag**. V. 34, n. 3, p. 26-31. 1991.

ANDRADE, D.; MACEDO, D.; MAIA, F.; URBANO, P. **Arquitetura SiBMA**. Recife: CESAR, 2014.

APOSTOLOV, A. Improving the protection of distribution systems with DERs. **Protection, Automation and Control World Magazine**, Mar. 2015.

_____. Integration of distributed energy resources. **Protection, Automation and Control World Magazine**, Sept. 2013. p. 18-25.



ARANGO, L.; ARANGO, H.; BONATTO, B. **Análise econômica e regulatória do compartilhamento do poste elétrico**. S.L.: Novas Edições Acadêmicas, 2016.

ARAÚJO, A.C.M. de. **Perdas e inadimplência na atividade de distribuição de energia elétrica no Brasil**. Tese (Doutorado) - COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro: 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADDEE. **Banco de Dados – ABRADDEE**. Disponível em: < <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/banco-de-dados/banco-de-dados>>. Acesso em: 6 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14522** - Intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia elétrica, 2008.

AUSTRALIAN GOVERNMENT, DSTO: Science and Technology for Safeguarding Australia. **Future cyber security landscape: A Perspective on the future**. 28p. Disponível em: < <https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/publications/documents/Future-Cyber-Security-Landscape.pdf>>

BARESI, L.; MOTTOLA, L.; DUSTDAR, S. Building software for the internet of things. **IEEE Internet Computing**, 2015.

BERTARELLO, G.; LIMA, D.; AMPESSAN, F.; NONENMACHER, F.B.; FALLEIROS; J.A.B.; MAURÍCIO, W. Impacto da geração distribuída no sistema elétrico de distribuição da concessionária, considerando-se geração com gás natural, biomassa e eólica. In: SENDI, 19., 2010. **Anais...** 2010.

BILLET, B.; ISSARNY, V. **Dioptase: a distributed data streaming middleware for the future web of things**. J Internet Serv Appl, v. 5, n.1, p. 28. 2014.

BOCCUZZI, C.V. A Crise energética e as empresas de energia do futuro. In: SMART GRID FORUM, 7TH 2014. **Artigo apresentado..** 2014.

BOUSKELA, M.; CASSEB, M.; BASSI, S.; LUCA, C. DE; FACCHINA, M. **The Road toward Smart Cities**. 2016.

BRAND, K-P. Substation automation evolving. In: PAC World 2010 Conference, Dublin (IE), June 2010. **Invited Paper # 18**, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI/JRC. **Redes Elétricas Inteligentes** - Diálogo Setorial Brasil-União Européia, nov. 2014.

_____. Ministério das Minas e Energia – MME. **Matriz Energética Nacional 2030**. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/matriz-energetica-nacional-2030> >.

_____. **Plano Nacional de Energia 2050**. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/plano-nacional-de-energia-2050> >.

- BROWN, R.E.; SPARE, J.H. **Asset management, risk, and distribution system planning. IEEE.** 2005.
- BRYAN, R.; GILLINGHAM, K. Peer effects in the diffusion of solar photovoltaic panels. **Marketing Science**, v. 31, n. 6, p. 900-912, 2012.
- BUDKA, K.C.; DESHPANDE, J.G.; DOUMI, T.L.; MADDEN, M.; MEW, T. Communication network architecture and design principles for smart grids. **Bell Labs Technical Journal**, 2010.
- CAMPOS, R. O Discurso internacional das cidades inteligentes: a estratégia smart city Berlin. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL, 7., Integrado e Sustentável, Macéio, 2016. **Anais..** Maceió, 2016.
- CANADIAN ELECTRICITY ASSOCIATION. **Electric utility innovation: Toward vision 2050**, 2015. Disponível em: <http://www.electricity.ca/media/ElectricUtilityInnovation/ElectricUtilityInnovation.pdf>
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Cenarização geral para prospecção tecnológica.** Distribuição interna para o projeto. Disponibilizado em mar. 2017.
- _____. **Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica.** Brasília, DF: fev. 2017.
- _____. **Redes Elétricas Inteligentes:** contexto nacional. 2012. Disponível em: <<http://www.cgEE.org.br/busca/ConsultaProdutoNcomTopo.php?f1&idProduto8050>>. Acesso em: set 2015.
- CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TELECOMUNICAÇÕES – CPQD. Os desafios da implementação dos projetos-piloto de Smart Grid no Brasil. NEVES, L.C.; BAGAROLLI, A. **Cad. CPQD Tecnologia**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 15-22, jan./jun. 2013.
- _____. **Elétrico puro, híbrido ou plug-in?** BECK, R.; ROSOLEM, F. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br/insight/eletrico-puro-hibrido-ou-plug-in>>.
- CONNECTED SMART CITIES. **Apoio institucional.** 2017. Disponível em: <<http://www.connectedsmartcities.com.br/index.php/apoio-institucional/>>. Acesso em: jan. 2017.
- COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS - CEER. **5th Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply.** Brussels: Electricity Working Group, Quality of Supply Task Force, 2012.
- CURRY, E.; DUSTDAR, S.; SHENG, Q.Z. SHETH, A. Smart cities - enabling services and applications. **Journal of Internet Services and Applications**, 2016.
- CYRILLO, I.O. **Estabelecimento de metas de qualidade na distribuição de energia elétrica por otimização da rede e do nível tarifário.** Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-19072011-102800>>. Acesso em: out. 2015.



DENATRAN. **Frota de veículos registrados em Outubro de 2016**. Disponível em: < http://www.denatran.gov.br/images/Estatistica/RENAVAM/2016/Outubro/1_Frota_Por_UF_Municipio_Ano_Fabr_Modelo_OUT_2016.xlsx>. Acesso em: fev. 2017.

DLMS User Association. **DLMS UA 1000-1 - Blue Book**, 12.0 ed., 2014.

DOOYEWEERD, H. **A New critique of theoretical thought**. S.l.: The Presbyterian and Reformed Publishing Company, 1969.

DUARTE, D.P.; KOBAYASHI, G.M.T.; CUNHA, A.P. da; PELEGRINI, M.A.; Viabilização da implantação de subestações em locais com restrições de ocupação. In: SEMINÁRIO NACIONAL de PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO de ENERGIA ELÉTRICA (SNPTEE), 21., 2011. **Anais..** Florianópolis: mar. 2012.

EDP Distribuição. **Contadores de energia elétrica** - Equipamentos de monitorização de rede, de telegestão e de contagem, estáticos, combinados, para pontos de BTN monofásicos / trifásicos - Complemento aos standards para modelo de dados e interfaces de comunicação. Lisboa, 2013.

ELECTREK. **Electric vehicle battery cost dropped 80% in 6 years down to \$227/kWh - Tesla claims to be below \$190/kWh**. Disponível em: < <https://electrek.co/2017/01/30/electric-vehicle-battery-cost-dropped-80-6-years-227kwh-tesla-190kwh/amp/>>. Acesso em: mar. 2017.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI. **EPRI intelligent universal transformer (IUT TM): 2007 progress summary**.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2016 ano base 2015**. Brasília: set.2016b.

_____. Nota técnica DEA 03/15: **Projeção da demanda de energia para os próximos 10 anos (2015-2024)**. EPE: estudos de demanda, 2015.

_____. Nota técnica DEA 12/16: **Avaliação da Eficiência energética e geração distribuída para os próximos 10 anos (2015-2024)**. EPE: estudos de demanda, 2016.

_____. Nota Técnica DEA 13/15: **Demanda de energia 2050** - Série Estudos da demanda de energia. jan. 2016. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso

em: 02 mar.2017.

_____. Nota técnica DEA 19/14: **Inserção da geração fotovoltaica distribuída no brasil - condicionantes e impactos**. EPE: recursos energéticos, 2014.

_____. Nota técnica DEA 19/15: **Projeção da demanda de energia para os próximos 5 anos (2015-2020)**. EPE: estudos de demanda, 2015.

_____. Nota técnica DEA 24/16: **Projeção da demanda de energia para os próximos 10 anos (2016-2025)**. EPE: estudos de demanda, 2016.

_____. **Plano decenal de expansão da energia 2024**, PDE 2024. Brasília: 2015a.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. **Annual energy outlook 2017**. Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>>.

ENTSO-E, **Research, development & innovation roadmap 2017-2026**, 2016

ETO, J.H.; LACOMMARE, K.H. **Tracking the reliability of the U.S. electric power system**: an assessment of publicly available information reported to state public utility commissions. Disponível em: <<https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-1092e.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

EURELECTRIC. **Facilitating e-mobility**: EURELECTRIC views on charging infrastructure. Disponível em: <<http://www.eurelectric.org>>.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre. **Smart grid projects in Europe**: lessons learned and current developments. JCR Reference Reports, 2011.142p. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ld-na-25815-en-n_final_online_version_april_15_smart_grid_projects_in_europe_-_lessons_learned_and_current_developments_-2012_update.pdf>.

EVVOLUMES. **Global plug-in sales for 2016**. Disponível em: <<http://www.evvolumes.com>>.

FERRER; H.J.A.; SCHWEITZER III, E.O. **Modern solutions for protection, control and monitoring of electric power systems**. Chapter 3. Schweitzer Engineering Laboratories Inc., 2010.

FIGUEIRA, P.R.S.; PRONTO, A.; PINA, J. **Projecto e construção de um transformador de potência supercondutor**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Universidade Nova de Lisboa. 2013.

FUMAGALLI, E.; LO SCHIAVO, L.; DELESTRE, F. **Service quality regulation in electricity distribution and retail**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.

GARANT, E.; DAIGLE, A.; DESBIENS, P.; OKAPUU-VON VEH, A.; RIZZI, J.-C.; SHAIKH, A.; GAUTHIER, R.; MALOWANY, A.S.; MARCEAU, R.J. **A virtual reality training system for power-utility personnel**. IEEE: 2002.

GONÇALVES JR.; F.A.; GOUVÊA, M.R.; CUNHA, A.P. da; SIMÕES, M.E.; DUARTE, D.P.; DOMINGUES FILHO, G.C. Desenvolvimento e implantação de subestações na faixa de passagem de linhas 88(138) kv. In: SEMINÁRIO NACIONAL de PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SNPTEE), 21., 2011. **Anais..** 2011.

GOUVÊA, M.R.; DUARTE, D.P.; LOPES, J.C.R.; CAPARROZ, S.L.; LIMA, I.K. de; SUPRIZZI, A.; GOULART,



L.C. Aplicação de subestações distribuídas como solução para restrições ambientais e racionalização da reserva de capacidade. In: SEMINÁRIO NACIONAL de PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SNPTEE), 18., 2005. **Anais..** 2005.

GSMA Smart Cities. **Guide to smart cities:** The opportunity for mobile operators. 2013.

HENVILLE, C. Multifunctional protection IEDs - How much functionality is too much?“, In: PAC World 2010 CONFERENCE, Dublin (IE), June 2010. **Invited Paper # 10.** 2010.

HÖFER, C.N.; KARAGIANNIS, G. Cloud computing services: taxonomy and comparison. **J Internet Serv Appl.**, 2011.

IEEE. **IEEE Smart Cities Initiative Working Group.** Disponível em: <http://smartcities.ieee.org/>. Acesso em: 14 jan. 2017.

_____. **IEEE Std 2030** - IEEE guide for smart grid interoperability of energy technology and information technology operation with the electric power system (eps), end-use applications, and loads. New York: 2011.

INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY - IET. Smart cities: An insight report from the Institution of engineering and technology. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA –

INMETRO. **Portaria Inmetro nº 520.** 2014.

_____. **Portaria Inmetro nº 586,** de 01 nov. 2012.

_____. **Portaria Inmetro nº 587,** 05 nov. 2012

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION – IEC. **IEC Smart Grid Standardization Roadmap,** 1.0 ed., 2010.

_____. IEC 61968-9 - **Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management** - Part 9: Interfaces for meter reading and control, 1a. ed., Genebra, 2009.

_____. IEC 62308 - **Equipment reliability** - Reliability assessment methods, 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Global EV outlook 2016.** Disponível em: < http://www.iea.org/publications/freepublications/Global_EV_Outlook_2016.pdf>

JANSSEN, M.C. Smart grid - What is it? In: PAC World 2010 CONFERENCE, Dublin IE, June 2010. **Invited Paper # 2.** 2010.

KAGAN, N.; GOUVEA, M.; MAIA, F.C.; DUARTE, D.; LABRONICI, J.; GUIMARÃES, D.S.; NETO, A.B.;

SILVA, J.F.R.; PARTICELLI, F. **Redes elétricas inteligentes no Brasil** – Análise de custos e benefícios de um plano nacional de implantação. Rio de Janeiro – RJ: Synergia Editora. 2013.

KEMA Consulting. **P3 Companion Standard** - Dutch smart meter requirements. 2008. 73 p. Disponível em: < http://zooi.widodh.nl/got/Dutch_Smart_Meter_Requirements_v2.2_final_P3.pdf

KESHAV, S.; ROSENBERG, C. How internet concepts and technologies can help green and smarten the electrical grid. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**. 2011.

KONZEN, G. **Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de BASS**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, 2014.

LARA, A.P.; COSTA, E.M. DA; MARQUES, J.S.; SANTOS, N. dos. Projeto Florip@21: a construção de uma região inteligente na cidade de Florianópolis, Brasil. In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTÃO DE TECNOLOGIA – ALTEC. 15., Porto, 2013. **Anais..** 2013.

LATIN AMERICAN UTILITY WEEK. **Site**. Disponível em: < <http://www.latin-american-utility-week.com/Pages/Detail/34905?langldpt> >. Acesso em: 14 jan. 2017.

LI, Y.; LIN, Y.; GEERTMAN, S. **The development of smart cities in China**, Computers in Urban Planning and Urban Management - CUPUM, Cambridge, 2015.

LINTON, J.D. Forecasting the market diffusion of disruptive and discontinuous innovation. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 49, n. 4, p. 365-374, 2002.

LO, C.H.; ANSARI, N. The progressive smart grid system from both power and communications aspects. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, 2012.

LOPES, Y.; FERNANDES, N.C.; SAADE, D.M. Geração distribuída de energia: desafios e perspectivas em redes de comunicação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS. 33., Vitória, ES 18 a 22 de maio de 2015. **Anais..** 2015.

MACEDO, M.N.Q.; GALO J.J.M. Oportunidades e desafios do GLD no ambiente Smart Grid. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL REGSA. UFBA, Brasil, 2014. **Anais..** 2014.

MAFRA, J. **Pirâmide de Consumidores**. contribuição para a equipe de distribuição.

MAFRA JÚNIOR, J.J. **Alternativas para a crise da energia elétrica de 2014**. São Gotardo: 8 mai. 2014.

MAINALI, K.; MAINALI, A.T.; MADHUSOODHANAN, S.; KADAVELUGU, A.; PATEL, D.; HAZRA, S.; HATUA, K.; BHATTACHARYA, S. A Transformerless Intelligent Power Substation. **IEEE Power Electronics Magazine**, 2015.



_____. Transformerless Intelligent Power Substation. A Three-Phase Sst Enabled By A 15-Kv Sic Igbt. **IEEE Power Electronics Magazine**. v. 2, ls. 3, Sept. 2015

MASON, C.R. **The Art and science of protective relaying**. Chp. 1, John Wiley and Sons Inc., 1956.

MAYER, V.F.; Mariano, S.R.H.; Andrade C.L.T. Percepção de preço e valor no mercado de distribuição de energia elétrica: proposta de um modelo conceitual. In: ENCONTRO DA ANPAD, 33., São Paulo, 2009. **Anais..** São Paulo, 2009.

MCKINSEY&COMPANY. **Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase**. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/netherlands/our-insights/electric-vehicles-in-europe-gearing-up-for-a-new-phase>>.

MIT Senseable Lab. **Site**. Disponível em: < <http://senseable.mit.edu/> >. Acesso em: 14 jan. 2017.

MORAIS, B.T.P. **Emerging technologies and future trends in substation automation systems for the protection, monitoring and control of electrical substations**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

MULHAUSEN, J.; SCHAEFER, J.; MYNAM, M.; GUZMÁN, A.; DONOLO, M. Anti-islanding today, successful islanding in the future. In: ANNUAL WESTERN PROTECTIVE RELAY CONFERENCE, 36th. Spokane, WA, USA, October 20-22, 2009. **Proceedings...** 2009.

MÜLLER, C.; GEORG, H.; WIETFELD, C. A modularized and distributed simulation environment for scalability analysis of smart grid ict infrastructures. In: INTERNATIONAL ICST CONFERENCE ON SIMULATION TOOLS AND TECHNIQUES, 5., SIMUTOOLS '12 - 2012. **Proceedings...**2012.

MUSA S. Smart cities - a roadmap for development. **Journal of Telecommunications System & Management**, 2016.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – NIST. **Framework for improving critical infrastructure cybersecurity**, Draft Version 1.1, January 10, 2017.

_____. **NIST Special Publication** 1108r3 - NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, 3.0 ed., 2014.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE - NAS. **Overcoming barriers to deployment of plug-in electric vehicles**. Disponível em: < https://www.nap.edu/html/21725/EV_report_brief.pdf >.

OFFICE OF ELECTRICITY DELIVERY & ENERGY RELIABILITY. **DOE Global energy storage database**. Disponível em: <<http://www.energystorageexchange.org/>>. Acesso em: Ago. 2016.

OJO, A.; CURRY, E.; SANAZ-AHMADI, F. A Tale of open data innovations in five smart cities. In: ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 48th (HICSS-48). 2015:p. 2326-2335. **Proceedings...** 2015.

OPEN METODOLOGY, **Big data definition**. 2017. Disponível em: < http://mike2.openmethodology.org/wiki/Big_Data_Definition >.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **Histórico da Operação**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/historico/>>.

ORDACGI, J.M.; SIQUEIRA, I.P.; MORAES, R.M.; SOLLERO, R.B. Structure of data and information for protection, automation, control and operation applications. In: ACTUAL TRENDS IN DEVELOPMENT OF POWER SYSTEM PROTECTION AND AUTOMATION CONFERENCE, Russian CIGRÉ, St. Petersburg RU, May/June 2011. **Paper PS5 - S2-01**. St. Petersburg RU, May/June 2011.

ORDACGI, J.M.; SOLLERO, R.B.; BAASS, W.; BRAND, K-P.; MESMAEKER, I. DE; WERNER, T. Substation automation in the next decade: predictable steps and sound visions. B5_110_2010, SC B5, In: CIGRÉ Bienal Session, 43rd Paris, August 2010. **Proceedings...**Paris: 2010.

PAC WORLD. Interview with the Guru. **PAC World Magazine**, mar. 2010 Is, Available in: < http://www.pacw.org/issue/march_2010_issue/the_guru/jose_marcondes_brito_de_carvalho.html >.

_____. **Protection, Automation and Control World Magazine**. Available in: <http://www.pacw.org> >.

PEPERMANS, G.; DRIESEN, J.; HAESELDONCKX, D.; BELMANS, R.; DHAESELEER, W. Distributed generation: definition, benefits and issues. **Energy Policy**, 2005.

PICA, C.Q.; VIEIRA, D.; DETTOGNI, G. An overview of smart grids in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART GRIDS, 1., Green Communications and IT Energy-aware Technologies, Venice, 2011 **Proceedings...** Venice: 2011.

POLICY DEPARTMENT ECONOMIC AND SCIENTIFIC POLICY – PDESP. **Mapping Smart Cities in the EU**. 2014.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL – PUCRS. **Huawei e PUCRS inauguram Centro de Inovação para Cidades Inteligentes**, Disponível em: < <http://www.pucrs.br/blog/huawei-e-pucrs-inauguram-centro-de-inovacao-para-cidades-inteligentes/>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

PRASAD, A.; ARUMUGAM, S. **Cyber security: beyond 2050, wireless world in 2050 and beyond: a window into the future!** p 129-136, 2016.

PROJETO EMOTIVE. **Mobilidade elétrica**. Projeto Aneel coordenado pela CPFL e com participação da



Unicamp e Fundação CPqD como principais entidades executoras. Disponível em: < <https://www.cpfil.com.br/energias-sustentaveis/inovacao/projetos/Paginas/paoo6o-mobilidade-eletrica.aspx>>.

PROJETO COELCE. **Carsharing com veículos elétricos**. Disponível em: < <https://www.enel.com.br/pr/quemsomos/iniciativas/a201701-car-sharing.html> >.

QI HUANG, Q.; JING, S.; LI, J. CAI, D.; WU, J.; ZHEN, W. Smart substation: state of art and future development. **IEEE Transactions on Power Delivery**. v. 1s. 99, 2016.

QIN, Y.; SHENG, Q.Z.; CURRY, E. Matching over linked data streams in the internet of things. **IEEE Internet Comput**, 2015.

REY, C. **Superconductors in the power grid: materials and applications**. Elsevier: 2015.

RIBEIRO, P.F.; POLINDER, H.; VERKERK, M.J. Planning and designing smart grids: philosophical considerations. **IEEE Technology and society magazine**, 2012.

RIESSEN, H. van. **Filosofie en Techniek**, Kampen: Kok 1949.

RIVERA, R.; ESPOSITO, A.S.; TEIXEIRA, I. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. **Revista do BNDES**, 2013.

ROCHA, F.A. As irregularidades no consumo de energia elétrica. **Synergia**, Rio de Janeiro: 2011.

RODRIGUES, W.; CORTIZO, P.; MORAIS, L.M.F. Aplicação do transformador de estado sólido em sistemas de distribuição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de SISTEMAS ELÉTRICOS – SBSE. 2016. **Anais...** 2016.

RODRIGUES, Y. R. **Ferramenta para análises estáticas, planejamento e operação de microrredes em diversos modos operacionais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, 2017.

RODRIGUES, Y.R.; SOUZA, M.F.Z.; ZAMBRONI DE SOUZA, A.C.Considerations on islanded microgrid frequency control capability within different generation configurations. In IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 12th ., Curitiba, 2016. **Proceedings...** Curitiba, 2016.

RODRIGUES, Y.R.; SOUZA, M.F.Z.; ZAMBRONI DE SOUZA, A.C., LOPES, I.L. Unbalanced load flow for microgrids considering droop method. In: POWER ENGINEERING SOCIETY GENERAL MEETING, Boston, 2016. **Proceedings...** Boston: 2016.

ROGERS, E.M. **Diffusion of innovations**. New York, NY: 1962.

R4E. **Road maps for energy**. Disponível em: < <http://roadmapsforenergy.eu/> >. Acesso em: 14 jan.2017.

RUDENKO, P.; RUDENKO, C.W.; M. BEHNE. State of the art gis technology and trends. In:

TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CONFERENCE AND EXPOSITION (T&D), 2012 IEEE PES **Proceedings...** 2012.

SALGADO, D.A. **Uma abordagem paramétrica do impacto da geração distribuída sobre as correntes de curto-circuito e na proteção de redes de distribuição.** Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, 2015.

SANTINI JR, L.C. Como envolver os consumidores para cooperarem com as implementações de Smart Grid. In: ENERSUL. SENDI XX. 2012. **Anais..** 2012.

SANTOS FILHO, N. dos; COSTA, C.O.F. Reciclagem e descarte de isoladores de média e alta tensão. In: CEMIG. XVIII SNPTÉE. 2005. **Anais..** 2005.

SÃO PAULO. **PCPV - Plano de controle de poluição veicular no município de São Paulo.** fev. 2011. Disponível em: < http://www.sptrans.com.br/pdf/biblioteca_tecnica/PCPV.pdf > Acesso em: 19 fev. 2017.

SAVOI, E.M.; COSTA, L.A. da. Experiência da CEMIG com o compartilhamento de Infra-estrutura com Empresas de Telecomunicações. In: CEMIG. XV SENDI. 2002. **Anais..** 2002.

SCHEERDER, J.; HOOGERWERF, R.; DE WILDE, S. **Horizon Scan 2050: A different view of the future.** The Hague: The Netherlands Study Centre for Technology Trends (STT), 2014.

SCHERMANN, D. **Pesquisa de mercado e Big Data Analytics:** como conseguir informações completas para ter sucesso. Big Data Business, may. 2016. Disponível em: < <http://www.bigdatabusiness.com.br/pesquisa-de-mercado-e-big-data-analytics-como-conseguir-informacoes-completas-para-ter-sucesso/> >.

SCHLEICHER, J.M.; VÖGLER, M.; DUSTDAR, S.; INZINGER, C. Enabling a smart city application ecosystem: requirements and architectural aspects. **IEEE Internet Comput**, 2016.

SCHMITT, L. Micro grid. **Protection, Automation and Control World Magazine**, Sept. 2015. p. 18-25.

SCHREINER, C. **Estudos de casos internacionais de cidades inteligentes.** Rio de Janeiro: 2016.

SCHUURMAN, E. **Technology and the future.** a philosophical challenge. Trad. of Techniek en toekomst. Confrontatie met wijsgerige beschouwingen (1972), Grand Rapids: Paideia Press, 2009.

SEEWALD, M.G.; TAFT, J.D. Distributed control for DER and distribution automation. **Protection, Automation and Control World Magazine**, Sept. 2013.

SHETH, A.; ANANTHARAM, P.; HENSON, C. Physical-cyber-social computing: An early 21st century approach. **IEEE Intell Syst.** 2013.

SINAPSIS INOVAÇÃO EM ENERGIA E MERCADOS ENERGÉTICOS, 2016.

SMART CITIES Stakeholder Platform. **Key to innovation integrated solution:** smart grid systems. 2013.



SMART CITY BUSINESS AMERICA CONGRESS & Expo 2017. **Site**. Disponível em: < <http://smartcitybusiness.com.br/2017/chamada-trabalho/>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

SNITKIN, S. **The Future of industrial cyber security**, ARC Strategies. sept. 2014 Disponível em: < <http://mfgtalkradio.com/wp-content/uploads/2015/04/The-Future-of-Industrial-Cyber-Security.pdf> >.

SOUZA, A.R.R.; FERNANDES, DE T.A.P.; AOKI, A.R.; OMORI, J.C.; OENING, A.P.; MARCÍLIO, D.C. Alocação de geração distribuída em rede de distribuição utilizando fluxo de potência ótimo e algoritmos genéticos. In: COPEL. SNPTEEXX. 2009. **Anais..** 2009.

STAINES, M.; PANNU, M.; GLASSON, N.; ALLPRESS, N. Superconducting transformers - Part I. **Transformers Magazine**, v. 3, n. 2 TRAVANJ 2016.

STRIJBOS, S.; BASDEN, A. (eds), **In search of an integrative vision for technology interdisciplinary studies in information systems**, New York: Springer 2006.

TIMOSZCZUK, A.P. Big data: estejamos atentos a essa nova realidade. **Revista Setor Elétrico. Espaço IEEE**. out. 2015.

TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY – TEPCO. **Electric power supply in Tokyo**; Metropolitan Area. 2015. Disponível em: < <http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2015/03/5-tepco.pdf> >. Acesso em: 02 mar. 2017.

TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes**, Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

TOLMASQUIM, M.T. (coord.). **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, Center for Long-Term Cybersecurity. **Cybersecurity Futures 2020**. Berkeley, CA: 128p. Disponível em: < https://cltc.berkeley.edu/files/2016/04/cltcReport_04-27-04a_pages.pdf>

US Department of Defense. **MIL-HDBK-217F - Military handbook**: reliability prediction of electronic equipment, USA, 2 dez. 1991.

US Department of Energy - DOE. **Alternative Fuels Data Center – AFDC**. Disponível em: < http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity_infrastructure.html >.

_____. **Battery R&D**. Progress and plans. Disponível em: < https://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f13/esooo_howell_2013_o.pdf >. Acesso em: 05 mar. 2017.

VAN STEEN, M.; PIERRE, G.; VOULGARIS, S. Challenges in very large distributed systems. **J Internet Serv Appl**. v. 3, n. 1, p. 59-66. 2011.

VASCONCELLOS, M.T. **Ata de Reunião Inmetro** - Segurança de software e interoperabilidade. Xerém, 22 de setembro de 2015.

VEIGA, F.E.C.; JARDINI, J.A.; MAGRINI, L.C.; KAYANO, P.S.D.; SILVA, M.S.; CALDERÓN, Y.P.; MARTÍNEZ, D.C. Sistema de monitoramento para auxílio à manutenção de equipamentos de subestação de distribuição. In: CONGRESSO de INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2., 2003. **Anais...** 2003.

VERKERK, M.J.; HOOGLAND, J.; VAN DER STOEP, J.; DE VRIES, M.J. **Denken, ontwerpen, maken**. Amsterdam, Boom 2007.

VERKERK, M.J.; DER STOEP, J.V. **Philosophy of technology**: an introduction for technology and business students, 2015.

VOLLENHOVEN, D.H.T. **Isagoogè Philosophiae** (1967). Sioux Center: Dordt College Press 2005.

VON APPEN, J.; Braun, M.; Stetz, T.; Diwold, K.; Geibel, D. Time in the sun: the challenge of high pv penetration in the german electric grid. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 11, n. 2, p. 55-64, Mar.-Apr. 2013.

WISDOM, J.P.; CHOR, K.H.B.; HOAGWOOD, K.E.; HORWITZ, S.M. Innovation adoption: a review of theories and constructs. **Adm Policy Ment Heal Ment Heal Serv Res**. v. 41, n.4, p. 480-502. 2014.

WRIGHT, J.T.; CARVALHO, D.E.; SPERS, R.G.; LOPES, J.C.R. Previsão do impacto futuro de tecnologias disruptivas de geração distribuída sobre o segmento de distribuição de energia elétrica. In: AES - ELETROPAULO. Citenel IV. 2007. **Anais...** 2007.

ZPRYME, The Prossumidor energy market place, relatório de consultoria. 2014. Disponível em:< <https://etsinsights.com/reports/prossumidor-energy-market>



Anexo - Planilha de Indicadores

Ver documento em formato digital disponível em <https://www.cgee.org.br/energia>.



Listas



Lista de Figuras

Figura 1 - Um modelo de mercado para a distribuição da energia elétrica	46
Figura 2 - Temáticas de medição avançada	53
Figura 3 - Índice de perdas comerciais em 2008 nas empresas de distribuição de energia elétrica	60
Figura 4 - Percentual de perdas do sistema global 2016	60
Figura 5 - Percentual de perdas em relação à energia injetada no sistema global das 63 distribuidoras	61
Figura 6 - Carga de energia, consumo e perdas - Brasil	62
Figura 7 - Variação das perdas de energia no Brasil	62
Figura 8 - Estatísticas básicas do consumo de energia elétrica - Brasil	63
Figura 9 - Domicílios consumidores por faixa de consumo 2013-2050	63
Figura 10 - Inadimplência média e suspensão de fornecimento por classe - Brasil (Residência Total)	64
Figura 11 - Brasil: consumo e número de consumidores	66
Figura 12 - Pirâmide de mercado de consumidores de energia elétrica do Brasil	67
Figura 13 - Potência instalada fotovoltaica distribuída acumulada	68
Figura 14 - Temática Interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)	71
Figura 15 - Temática aplicações de medição avançada no sistema de distribuição	
Figura 16 - Temática da durabilidade dos medidores	85
Figura 17 - Macrotemática de automação da rede	97
Figura 18 - Temática de desenvolvimento de hardware	110
Figura 19 - Temática de desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes	118
Figura 20 - Temática de integração de sistemas e componentes	131
Figura 21 - Temáticas de compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes	144
Figura 22 - Conceitos filosóficos para prática de engenharia	148
Figura 23 - Temática de infraestrutura compartilhada para formação de cidades inteligentes	158
Figura 24 - Temática de aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes	166

Figura 25 - Temáticas de segurança cibernética	175
Figura 26 - Temática de arcabouço regulatório	187
Figura 27 - Temática gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade	192
Figura 28 - Temática de tecnologias de segurança, confiança e privacidade	200
Figura 29 - Temáticas de tecnologia da informação e comunicação	209
Figura 30 - Temática de infraestrutura de telecomunicações	217
Figura 31 - Temática tratamento dos megadados (big data)	224
Figura 32 - Temáticas de operação e manutenção	233
Figura 33 - Temática operação	243
Figura 34 - Temática manutenção	263
Figura 35 - Temática segurança	270
Figura 36 - Temáticas de subestações e equipamentos	281
Figura 37 - Temática integração de subestações em ambiente urbano	290
Figura 38 - Temática gestão de ativos de subestações	298
Figura 40 - Temática equipamentos	308
Figura 41 - Temática esquemas de controle e proteção de subestações	316
Figura 42 - Temática gerenciamento de índices técnicos no nível da subestação	320
Figura 43 - Temáticas de infraestrutura de proteção, automação e controle	333
Figura 45 - Temática influência de Geração Distribuída (GD), <i>Virtual Power Plants</i> (VPP) e Microrredes (MR)	355
Figura 46 - Temática de sensores, atuadores e dispositivos de teste para redes de distribuição	359
Figura 47 - Temáticas de mobilidade elétrica	374
Figura 48 - Temática integração de veículos elétricos à rede de distribuição	401
Figura 49 - Temática inserção de veículos elétricos	411
Figura 50 - Temáticas de geração distribuída e microrredes	427
Figura 51 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE	434



Figura 52 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 2, fundamentada, principalmente, nos dados mais conservadores de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE	437
Figura 53 - Projeção da capacidade total instalada no Brasil no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados do BIG e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE.	437
Figura 54 - Temática de geração distribuída no sistema de distribuição	441
Figura 55 - Temática operação de microrredes	447
Figura 56 - Temática de armazenamento de energia para integração de GD	451
Figura 57 - Temática de normatização para geração distribuída e microrredes	455
Figura 58 - Temáticas de redes aéreas e subterrâneas	463
Figura 59 - Temática de redes de distribuição	477
Figura 60 - Temática de recuperação de energia	485
Figura 61 - Redes de distribuição subterrâneas	494
Figura 62 - Temática de redes de distribuição aéreas	503
Figura 63 - Temáticas de qualidade da energia elétrica	517
Figura 64 - Temática qualidade do serviço	528
Figura 65 - Temática de qualidade do produto	536
Figura 66 - Temática de qualidade comercial e relacionamento com o cliente	543

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de normatização e padronização de arquiteturas e segurança cibernética do sistema de medição avançada	73
Gráfico 2 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos de sensoriamento e controle da demanda na HAN	75
Gráfico 3 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de gerenciamento pelo lado da demanda	78
Gráfico 4 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e técnicas para detecção de perdas comerciais e faltas	80
Gráfico 5 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e técnicas para qualidade de energia, gestão de ativos e demais aplicações	82
Gráfico 6 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novas oportunidades de negócios a partir de medição avançada	83
Gráfico 7 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de confiabilidade do sistema de medição	87
Gráfico 8 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de confiabilidade de infraestruturas	89
Gráfico 9 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de operação a longo prazo	90
Gráfico 10 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para redes de alta tensão	112
Gráfico 11 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para redes de média tensão	113
Gráfico 12 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para redes de baixa tensão	114
Gráfico 13 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para rede subterrânea	115
Gráfico 14 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para a localização de faltas	120
Gráfico 15 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para apoiar a operação na realização de manobras automáticas	121
Gráfico 16 - Evolução do desenvolvimento da rota de metodologias para o controle de tensão e do fluxo de reativos	124
Gráfico 17 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para gestão de ativos	125
Gráfico 18 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para gerenciamento de recursos energéticos distribuídos	128
Gráfico 19 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias para o gerenciamento pelo lado da demanda de energia elétrica	129
Gráfico 20 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de protocolos, padrões e arquiteturas para a integração de dados	133
Gráfico 21 - Evolução da maturidade tecnológica da rota Ambientes para a simulação e/ou testes da aplicação das tecnologias de forma integrada a sistemas corporativos	134



Gráfico 22 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de oportunidades e viabilidade técnica de compartilhamento de serviços	161
Gráfico 23 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de integração de tecnologias e sistemas	162
Gráfico 24 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de interoperabilidade	163
Gráfico 25 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métricas de desempenho	164
Gráfico 26 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos de compartilhamento de ativos entre diferentes agentes	168
Gráfico 27 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos de negócio para cidades inteligentes	169
Gráfico 28 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos e arquiteturas de referência, requisitos e melhores práticas	189
Gráfico 29 - Evolução da maturidade tecnológica da rota avaliação de conformidade de segurança	191
Gráfico 30 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de análise de riscos	197
Gráfico 31 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de aspectos organizacionais	199
Gráfico 32 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de tecnologias de proteção, prevenção e detecção de ataque de segurança, confiança e privacidade	202
Gráfico 33 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de tratamento de ataques e resposta a incidentes	204
Gráfico 34 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura de telecomunicações compatíveis com os requisitos dos serviços prestados pelas empresas do setor elétrico brasileiro	218
Gráfico 35 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de requisitos e procedimentos de migração da rede legada para a rede de pacotes (IP)	219
Gráfico 36 - Evolução da maturidade tecnológica da rota dimensionamento da rede de telecomunicações com maior confiabilidade e resiliência para compartilhamento de informações	220
Gráfico 37 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de requisitos de FAN para modernização de subestações, redes de distribuição e sua integração com a geração distribuída	221
Gráfico 39 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de arquitetura de gerenciamento para introdução massiva de comunicação <i>machine to machine</i> (M2M) e internet das coisas (IoT)	226
Gráfico 41 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de supervisão e controle	246
Gráfico 43 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de operação considerando inserção massiva de GD	248
Gráfico 44 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de atendimento integrado	252
Gráfico 45 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de operação	253
Gráfico 46 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e sistemas de pré-operação	254
Gráfico 47 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e sistemas para apoio à decisão operativa em tempo real	255

Gráfico 48 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas autônomos de operação	259
Gráfico 49 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas e sistemas de pós-operação	260
Gráfico 50 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de otimização de desligamentos programados	261
Gráfico 51 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistema de monitoramento de ativos	265
Gráfico 52 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas de gestão e análise de risco	266
Gráfico 55 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de ferramentas, sistemas e equipamentos de segurança	271
Gráfico 56 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sistemas e técnicas de treinamento	272
Gráfico 57 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de análise comportamental	273
Gráfico 58 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de viabilização de implantação de subestações aéreas em terrenos urbanos	292
Gráfico 59 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de viabilização de implantação de subestações subterrâneas em terrenos urbanos	294
Gráfico 60 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métodos construtivos para agilidade na implantação de subestações	295
Gráfico 61 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de modelos de vida útil dos ativos	300
Gráfico 62 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento e aplicação de tecnologias de monitoramento para balizamento de políticas de manutenção centrada na condição dos equipamentos	301
Gráfico 64 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de esquemas avançados de aterramento	306
Gráfico 65 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de transformadores de potência flexíveis (estado sólido, etc.)	309
Gráfico 66 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de descarte de materiais e equipamentos	311
Gráfico 67 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de transformadores de potência por supercondutores e novas tecnologias	312
Gráfico 70 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de implantação de esquemas lógicas de controle e proteção	318
Gráfico 71 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de aplicação de tecnologias inteligentes e integradas de controle de tensão e reativos na subestação	322
Gráfico 72 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de gerenciamento de índices técnicos para tomada de decisões em tempo real	323
Gráfico 73 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de gerenciamento de índices técnicos - Estudos	325
Gráfico 75 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de localização de faltas	346
Gráfico 76 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de registro digital de perturbações	347
Gráfico 77 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de medição instantânea, controle e automação	351



Gráfico 78 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções e protótipos de medição da qualidade da energia - qualímetro	352
Gráfico 79 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de funções complementares de IEDs	353
Gráfico 80 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos e funções de PAC para GD, VPP e MR	358
Gráfico 81 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de sensores e atuadores para automação da rede de distribuição	361
Gráfico 82 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de dispositivos de teste para PAC	362
Gráfico 83 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de indicadores de circuito em falta	363
Gráfico 84 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura para recargas de veículos por fio	404
Gráfico 85 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura para recargas de veículos sem fio	406
Gráfico 86 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de infraestrutura para transferência da carga de baterias para a rede de distribuição (V2G)	408
Gráfico 87 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novos modelos de negócios e suas implicações para o serviço de distribuição	413
Gráfico 88 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de estratégias de prevenção de impactos na rede elétrica	415
Gráfico 89 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de reutilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia	417
Gráfico 90 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de identificação dos impactos técnicos e externalidades associadas ao aumento da penetração da geração distribuída	443
Gráfico 91 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de geradores distribuídos	444
Gráfico 92 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle da geração distribuída	445
Gráfico 93 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de metodologias de operação de microrredes nos modos conectado e ilhado	448
Gráfico 94 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de procedimentos de interconexão	449
Gráfico 95 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de ferramentas de análise de rede e modelagem de sistemas de armazenamento	452
Gráfico 96 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de desenvolvimento de técnicas de controle para integração de sistemas de armazenamento	453
Gráfico 97 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de normatização para geração distribuída e microrredes	456
Gráfico 98 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novos conceitos de transporte de energia (CC, sem fio, condutores não convencionais)	478

Gráfico 99 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de novas metodologias e técnicas de planejamento e expansão	480
Gráfico 100 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de metodologias e técnicas de planejamento e expansão de redes de distribuição	481
Gráfico 101 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de técnicas de projeto para novos arranjos e compactação de rede	483
Gráfico 102 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de perdas não técnicas por furtos e fraudes	487
Gráfico 103 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de perdas técnicas e eficiência energética	489
Gráfico 104 - Evolução da maturidade tecnológica das perdas não técnicas por ações comportamentais	490
Gráfico 105 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de perdas não técnicas por técnicas de gestão de processos administrativos e financeiros	491
Gráfico 106 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento de normas e padrões de redes subterrâneas	496
Gráfico 107 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento para equipamentos	498
Gráfico 108 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de otimização de técnicas e processos de construção e manutenção	500
Gráfico 109 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento normas e padrões de rede aérea	504
Gráfico 110 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de engenharia de desenvolvimento para equipamentos	506
Gráfico 111 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de otimização de técnicas e processos de construção e manutenção	508
Gráfico 112 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de modelos econômicos e regulatórios da qualidade	531
Gráfico 113 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de planejamento e gestão da confiabilidade	532
Gráfico 114 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de tecnologias, equipamentos e sistemas para melhoria de confiabilidade	533
Gráfico 115 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de caracterização de fenômenos da qualidade do produto	539
Gráfico 116 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de medição e análise dos fenômenos de qualidade do produto	540
Gráfico 117 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de mitigação de fenômenos de qualidade do produto	541
Gráfico 118 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de qualidade comercial e satisfação do consumidor	545
Gráfico 119 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de relacionamento com o cliente e engajamento	546
Gráfico 120 - Evolução da maturidade tecnológica da rota de métodos e técnicas para redução de inadimplência	547



Lista de Tabelas

Tabela 1	- Estimativa da evolução da geração distribuída	68
Tabela 2	- Estimativa da evolução da medição avançada	70
Tabela 3	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática Interoperabilidade entre equipamentos (medidor/concentrador)	76
Tabela 4	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática Aplicações de Medição Avançada no Sistema de Distribuição	84
Tabela 5	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática durabilidade dos medidores	91
Tabela 6	- Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática medição avançada	92
Tabela 7	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática desenvolvimento de hardware	116
Tabela 8	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes I	122
Tabela 9	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes II	126
Tabela 10	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de desenvolvimento de softwares para funcionalidades inteligentes III	130
Tabela 11	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de integração de sistemas e componentes	135
Tabela 12	- Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática automação da rede	137
Tabela 13	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática infraestrutura compartilhada com a formação de cidades inteligentes.	165
Tabela 14	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de aspectos administrativos e regulatórios para formação de cidades inteligentes	170
Tabela 15	- Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática compartilhamento de serviços no contexto das cidades inteligentes	171
Tabela 16	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de arcabouço regulatório	192
Tabela 17	- Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática gestão corporativa de segurança, confiança e privacidade	200

Tabela 18 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de tecnologias de segurança, confiança e privacidade.	205
Tabela 20 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de infraestrutura de telecomunicações.	222
Tabela 19 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática segurança cibernética	206
Tabela 21 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de tratamento dos megadados (<i>big data</i>)	228
Tabela 22 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática tecnologia da informação e comunicação	230
Tabela 23 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação - agrupamento I.	250
Tabela 24 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação - agrupamento II	256
Tabela 25 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação	262
Tabela 26 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática manutenção	269
Tabela 27 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática segurança	274
Tabela 28 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática de Operação e Manutenção	276
Tabela 29 - Métricas adotadas para subestações e equipamentos	288
Tabela 30 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática integração de subestações em ambiente urbano	297
Tabela 31 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática gestão de ativos de subestações	302
Tabela 32 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática sistemas de aterramento	307
Tabela 33 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática equipamentos	315
Tabela 34 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática esquemas de controle e proteção de subestações	320
Tabela 35 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática gerenciamento de índices técnicos no nível da subestação	326
Tabela 36 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática subestações e equipamentos	328



Tabela 37 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática dispositivos de proteção, automação e controle (pac) para redes de distribuição - agrupamento I	348
Tabela 38 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de Dispositivos de Proteção, Automação e Controle (PAC) para redes de distribuição - agrupamento II	354
Tabela 39 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática influência de Geração Distribuída (GD), <i>Virtual Power Plants</i> (VPP) e Microrredes (MR).	359
Tabela 40 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de sensores, atuadores e dispositivos de teste para redes de distribuição	364
Tabela 41 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática de infraestrutura de proteção, automação e controle	366
Tabela 42 - Classificação dos modos de recarga em relação potência do eletroposto	381
Tabela 43 - Classificação dos modos de recarga nos Estados Unidos	382
Tabela 44 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática integração de veículos elétricos à rede de distribuição	409
Tabela 45 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática inserção de veículos elétricos	419
Tabela 46 - Ordem de prioridade para as rotas da macrotemática mobilidade elétrica	422
Tabela 47 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (Aneel, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).	436
Tabela 48 - Projeção da capacidade instalada de GD no cenário 2, fundamentada, principalmente, nos dados mais conservadores de potência instalada em GD e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (Aneel, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).	436
Tabela 49 - Projeção da capacidade total instalada no Brasil no cenário 1, fundamentada, principalmente, nos dados do BIG e nas projeções de solar e de bioeletricidade da EPE (BIG, 2017; NOTA TÉCNICA DEA 12/16, 2016; NOTA TÉCNICA DEA 13/15, 2015).	438
Tabela 50 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática geração distribuída no sistema de distribuição	446
Tabela 51 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática operação de microrredes	450

Tabela 52 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de armazenamento de energia para integração de GD	454
Tabela 53 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de normatização para geração distribuída e microrredes	457
Tabela 54 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática Geração Distribuída e Microrredes	458
Tabela 55 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática redes de distribuição	484
Tabela 56 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática recuperação de energia	492
Tabela 57 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática redes de Distribuição Subterrâneas.	501
Tabela 58 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de redes de distribuição aéreas	510
Tabela 59 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática de redes aéreas e subterrâneas	512
Tabela 60 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática qualidade do serviço	534
Tabela 61 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática qualidade do produto	542
Tabela 62 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas da temática de qualidade comercial e relacionamento com o cliente	549
Tabela 63 - Ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática qualidade da energia elétrica	550



Lista de siglas e abreviaturas

ABDI | Associação Brasileira de Desenvolvimento da Indústria
ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE | Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
AMI | Advanced Metering Infrastructure
AMR | Automatic Meter Reading
Aneel | Agência Nacional de Energia Elétrica
Apps | Aplicações
AT | Alta Tensão
BT | Baixa Tensão
CA | Corrente Alternada
CC | Corrente Contínua
CCEE | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CGEE | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGH | Central Geradora Hidrelétrica
COD | Centro de Operação da Distribuição
CPFL | Companhia Paulista de Força e Luz
CT&I | Ciência, Tecnologia e Inovação
DEC | Duração Média de Interrupção por Consumidor
DIC | Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DLMS | Dispositivo Message Specification Language
DMIC | Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora
DMS | Distribution Management System
DSO | Distribution System Operator
EDP | Energias do Brasil
EPE | Empresa de Pesquisa Energética
ERP | Enterprise Resource Planning System
FAN | Field Area Network
FEC | Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora
FEC | Frequência Média de Interrupção por Consumidor
FIC | Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
FLISR | Fault Location, Isolation and Service Restoration
GD | Geração Distribuída
GEEs | Gases do Efeito Estufa
GIS | Geographic Information System
GLD | Gerenciamento pelo Lado da Demanda
HAN | Home Area Network
IA | Inteligência Artificial
IAS | Índice de Aproveitamento de Subestações
IASC | índice Aneel de satisfação do consumidor

IEA | Energy Agency
IEC | Comissão Eletrotécnica Internacional (em inglês: International Electrotechnical Commission,
IEDs | Intelligent Electronic Devices
IEEE | Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos
IIOT | Internet Indústria das Coisas
INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO | Organização Internacional para Padronização
IoT | Internet das Coisas
IP | Internet Protocolo
M2M | Machine to Machine
MCTI | Ministério de Ciência da Tecnologia da Informação
MDIC | Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDM | Metering Data Management
MIV | Manejo Integrado da Vegetação
MME | Ministério de Minas e Energia
MR | Microrredes
MT | Média Tensão
NIST | National Institute of Standards and Technology
NIST | National Institute of Technology – EUA
OMS | Outage Management System
ONS | Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEX | OPERational EXpenditure (em português, despesas operacionais)
P&D | Pesquisa e Desenvolvimento
PAC | Proteção, Automação e Controle
PCH | Pequenas Centrais Hidrelétricas
PCPV | Programa de Controle de Poluentes dos Transportes
PD&I | Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PIB | Produto Interno Bruto
PIEC | Plan, Inspection, Execucion e Control
PMU | Phase Measurement Unit
PROCON | Programa de Proteção e Defesa do Consumidor
PRODIST | Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica
ProGD | Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída
PRORET | Procedimento de Regulação Tarifária
PTB | Physikalisch-Technischen Bundesanstalt – Alemanha
REI | Rede Elétrica Inteligente
REN | Rede Elétrica Nacional
SA | Sistemas de Armazenamento
SCADA | Supervisory Control and Data Acquisition System
SEB | Setor Elétrico Brasileiro
SSC | Sistema de Supervisão e Controle
SST | Transformadores de Estado Sólido



STC | Serviço Técnico e Comercial

TI | Tecnologia da Informação

TIC | Tecnologia da Informação e Comunicação

TMA | Tempo Médio de Atendimento

TO | Tecnologia Operacional

UC | Unidade Consumidora

V2G | Rede de Distribuição

VE | Veículo Elétrico

VEB | Veículos Elétricos puros à Bateria

VEHP | Veículos Elétricos Híbridos Plug-in

VPP | Virtual Power Plants



Acesse www.cgee.org.br/energia



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVACÕES E COMUNICAÇÕES

