



Mauricio Tiomno Tolmasquim
Marciano Morozowski Filho
(Coordenadores)

RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS E SUAS POTENCIALIDADES

Djalma Falcão • Dorel Soares Ramos • Marco Delgado
Mauricio Moszkowicz • Leander Oliveira Rêgo • Tesoro Elena Del Carpio Huayllas

Prefácio de
André Pepitone da Nóbrega

Empresas Executoras



Empresas Patrocinadoras



Copyright © 2019 Mauricio Tiomno Tolmasquim & Marciano Morozowski Filho
Todos os direitos desta edição reservados à Synergia Editora

FICHA TÉCNICA

Objeto do Contrato Projeto de Modernização das Tarifas de Distribuição de Energia Elétrica (P&D Tarifa Moderna) Subprojeto 1

Data de Assinatura do Contrato 2 de abril de 2018

Prazo de Execução 15 (quinze) meses

Contratante iAbradee e associadas da Abradee

Contratadas COPPETEC, TECHNE-GESEL, MRTS e NTJ TEC

Coordenador Mauricio Tiomno Tolmasquim

Editor Jorge Gama

Editora assistente Isabelle Assumpção

Capa Equipe Synergia

Diagramação Flávio Meneghesso

Revisão Elaine Batista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Elaborado por Vagner Rodolfo da Silva - CRB-8/9410

R311 Recursos energéticos distribuídos e suas potencialidades / coordenado por Mauricio Tiomno Tomalsquim, Marciano Morozowski Filho. – Rio de Janeiro: Synergia, 2019.
212 p. ; 16cm x 23cm.

ISBN: 978-85-68483-94-7

1. Recursos energéticos. 2. Política energética. 3. Comercialização de energia elétrica. 4. Potencialidades. I. Tomalsquim, Mauricio Tiomno. II. Morozowski Filho, Marciano. III. Título.

2019-1552

CDD 333.794
CDU 620.92

Índice para catálogo sistemático

1. Recursos energéticos 333.794
2. Recursos energéticos 620.92



Livros técnicos, científicos e profissionais

Tel.: (21) 3259-9374

www.synergiaeditora.com.br / comercial@synergiaeditora.com.br

EQUIPE TÉCNICA DO PROJETO DE P&D

Coordenador

Mauricio Tiomno Tolmasquim

Equipe Técnica

Adriana Ribeiro Gouvêa
Amaro Olímpio Pereira Jr
Arthur Felipe Tavares
Djalma Mosqueira Falcão
Dorel Soares Ramos
Guilherme Dantas
José Roberto de Andrade Chaves
Leander de Oliveira Rêgo
Lorrane Câmara
Luiz de Magalhães Ozorio
Marcelo Maestrini
Marciano Morozowski Filho
Maurício Moszkowicz
Nivalde José Castro
Paulo Mauricio A. Senra
Roberto Brandão
Tesoro Elena Del Carpio Huayllas

Equipe de Apoio

Ana Carolina Chaves
André Alves
Daniel Ferreira
Diogo Salles
Guillermo Ivan Pereira

COMITÊ GESTOR – PROJETO DE P&D COOPERADO

CEB

Adriano Guedes Martins
Ana Carolina Aires Cerqueira Prata
Elias Barbosa de Alvarenga

CEEE-D

Christian Velloso Kuhn
Lucas Malheiros Nunes

CELESC

Fabiane Horongoso
Luis Bernardo Timboni Baran

CEMIG

Frederico Bruno Ribas Soares
Giordano Bruno Braz

COPEL

Gisele Monteiro
Yara Maria Romero da Silva

CPFL

Jairo Eduardo de Barros Alvares
Rafael de Oliveira Gomes
Roger dos Reis Alves

DME

João Paulo dos Reis

EDP

Alexandre Dominice
Solange Kileber

ENEL

Carlos Eduardo Malagoni
Carlos Ximenes
Cristine Juste
Rafael Nielson

ENEL SP

Amadeu Fernandes de Macedo
Rafael Kenji

ENERGISA

Amanda Lacerda Prado
Dayanni Rossi Grassano
Felipe Tenório Vicente
Samuel José de Castro Vieira

EQUATORIAL

Ênio Cunha Leal

LIGHT

Diego Andrade
Gustavo Timponi Campos

NEOENERGIA

Beatriz Peixoto
Ricardo Pimentel
Saulo de Tarso Castilho Júnior
Talita Darwiche



Agradecimentos

Este livro é um produto de pesquisa realizada no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), instituição esta fundamental para o fomento da pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico brasileiro.

Nossos agradecimentos às empresas patrocinadoras deste projeto, aqui representadas pela Abradee, EDP, CEB Distribuição, Celesc, Cemig, Copel Distribuição, CPFL Energia, DME Distribuição, Enel, Eletropaulo, Equatorial Energia, Grupo CEEE, Grupo Energisa, Light e Neoenergia, que propiciaram os investimentos necessários para o desenvolvimento dos trabalhos aqui apresentados.

Agradecemos ao Comitê Gestor do Projeto, que acompanhou o desenvolvimento técnico das atividades propostas, avaliando e contribuindo de forma diferenciada para a melhoria contínua dos produtos e relatórios.

Agradecemos ao Sr. Marcos Aurélio Madureira da Silva, atual Presidente da Abradee. Os nossos sinceros agradecimentos também ao Sr. Nelson Fonseca Leite, grande incentivador do projeto, e ao Sr. Marco Antônio de Paiva Delgado, respectivamente Presidente e Diretor da Abradee na época em que o projeto foi contratado.

Especial agradecimento à Sra. Lavinia Hollanda, representante do Instituto Abradee de Energia, que coordenou o projeto de “Modernização das Tarifas de Distribuição de Energia Elétrica”, e à Sra. Solange Maria Kileber Barbosa, gerente do projeto e representante da empresa proponente EDP.

O desenvolvimento técnico do projeto foi realizado de forma colaborativa com uma equipe multidisciplinar composta por pesquisadores das Instituições COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia) e GESEL (Grupo de Estudos do Setor Elétrico), ambas da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), USP (Universidade de São Paulo), MRTS Consultoria e Engenharia e NTJ TEC Consultoria em Engenharia, que trabalharam intensamente na construção e reunião de conhecimentos fundamentais para a elaboração deste livro.

Agradecimento e destaque especial aos coautores do livro, Prof. Dr. Djalma Falcão, Prof. Dr. Dorel Soares Ramos, Prof. Dr. Mauricio Moszkowicz, Leander O. Rêgo e Tesoro Elena Del Carpio Huayllas, cujas contribuições foram determinantes para a elaboração desta obra.

Agradecemos o especial apoio recebido nas seções 7.1 e 7.2, de autoria de Guilherme Dantas, Lorrane Câmara, Adriana Ribeiro Gouvêa, Paulo Mauricio A. Senra e Prof. Dr. Amaro Olímpio Pereira Jr., cujas contribuições foram fundamentais para uma melhor contextualização das atividades de distribuição de energia elétrica no Brasil.

Finalizamos agradecendo a todos que direta ou indiretamente contribuíram nas diferentes etapas aqui envolvidas, ajudando-nos a disponibilizar de forma organizada e ampla os resultados desta pesquisa sobre os recursos energéticos distribuídos e suas potencialidades.

**Prof Dr. Mauricio Tiomno Tolmasquim e
Prof. Dr. Marciano Morozowski Filho**

Coordenadores do Livro



Sumário

Prefácio	XIII
Lista De Figuras	XVII
Lista De Tabelas.....	XIX
Lista De Abreviações	XIX
Apresentação.....	XXI
Introdução	1
1 – O Estado da Arte dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED)	7
1.1. Geração Distribuída	7
1.2. Armazenamento Distribuído.....	12
1.3. Veículos Elétricos.....	19
1.4. Resposta da Demanda	21
2 – Análise dos Impactos dos Recursos Energéticos	
 Distribuídos nas Redes de Distribuição.....	41

2.1.	Impactos da Geração Distribuída	41
2.1.1.	Impactos técnicos da MicroGD	44
2.1.2.	Impactos da MicroGD e MiniGD no Brasil	46
2.2.	Impactos do Armazenamento Distribuído	47
2.3.	Impactos dos Veículos Elétricos	49
2.4.	Impactos da Resposta da Demanda	52
3 – Modelos e Propostas:		
	Visão Prospectiva dos Recursos Energéticos Distribuídos.....	57
3.1.	Geração Distribuída	58
3.2.	Armazenamento Distribuído	67
3.3.	Veículos Elétricos.....	71
3.4.	Resposta da Demanda	82
3.4.1.	Programas de resposta da demanda no Brasil.....	84
3.4.1.1.	Atendimento da Demanda de Ponta.....	86
3.4.1.2.	Licitação do Lado da Demanda.....	87
3.4.1.3.	Provisionamento de Serviços Ancilares	88
3.4.1.4.	Programas Emergenciais	89
3.4.1.5.	Tarifas que Incentivam a Resposta da Demanda	90
3.4.2.	Programa piloto de resposta da demanda no Brasil.....	91
4 – Fontes Renováveis – Requisitos, Desafios,		
	Diretrizes Operativas e o Papel dos Prosumidores.....	95
4.1.	Ciclo Evolutivo da Participação das Fontes Renováveis na Matriz Energética	95
4.2.	Problemas e Desafios a Serem Enfrentados em Decorrencia das Novas Fontes de Geração.....	97
4.3.	Sugestões de Diretrizes Operativas Frente às Fontes Renováveis de Energia	98
4.3.1.	Armazenamento de energia	99
4.3.2.	Estrutura do mercado.....	99
4.3.3.	Demanda com consumo flexível	100
4.4.	Conceito de Prosumidores e suas Contribuições Frente às Fontes Renováveis de Energia	101
4.4.1.	Conceituação e tipologia de prosumidores.....	101
4.4.2.	Conceitos e limitações de Programas de Resposta da Demanda (PRD)	101
5 – Diferentes Possibilidades de Prosumidores no Ambiente de Distribuição		
5.1.	Consumidores de Pequeno Porte.....	106
5.1.1.	Consumidores Individuais	106
5.1.2.	Condomínio Solar e Condomínio Eólico.....	108
5.1.3.	Edifícios Inteligentes	110

5.2. Comercializadores Agregadores.....	113
5.3. Microrredes Eléctricas.....	113
5.4. Plantas Eléctricas Virtuais	115
6 – Oportunidades de Negócios para os Prosumidores	119
6.1. Consumidores de Pequeno Porte.....	119
6.2. Condomínio Solar e Condomínio Eólico	120
6.2.1. 1ª Variante Negocial – Risco de geração alocado ao consumidor (sem securitização)	120
6.2.2. 2ª Variante Negocial – Cláusula contratual para hedge do risco de geração.....	121
6.2.3. 3ª Variante Negocial – Risco de geração rateado	122
6.3. Edifícios Inteligentes.....	123
6.4. Comercializadores Agregadores.....	125
6.5. Modelos de Negócio para VPP	128
6.5.1. VPP atuando no Sistema Interligado	129
6.5.2. Modelo de Negócio para VPP em Sistemas Isolados	132
7 – Oportunidades e Desafios para Concessionárias de Distribuição.....	135
7.1. Concessionárias de Distribuição de Energia e seus impactos decorrentes dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED)	138
7.1.1. Crescente Incerteza sobre a Trajetória de Custos das Distribuidoras	142
7.1.2. Necessidade de Mudanças nos Modelos de Remuneração das Distribuidoras	145
7.1.3. Propriedade dos Novos Ativos	147
7.1.4. Mudanças nos Protocolos de Operação	149
7.1.5. Segurança da Informação da Rede	153
7.1.6. Arcabouço Comercial para Participação dos REDs nos Mercados de Serviços Energéticos e Ancilares	153
7.2. Perspectivas para o Setor de Distribuição para Convivência Virtuosa com as FREs.....	155
7.2.1. Novos Arranjos Comerciais e Modelos de Negócios.....	159
Conclusões.....	171
Referências	179



Prefácio

A ruptura de paradigmas trazida pela evolução tecnológica, aliada ao avanço de uma sociedade ávida pelo protagonismo de opções individuais, permite que o consumidor passe a exercer papel mais ativo também no Setor Elétrico.

O fundador do Fórum Econômico Mundial, professor Klaus Schwab, contextualizou bem o momento em que vivemos: “Estamos a bordo de uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em sua escala, alcance e complexidade, a transformação será diferente de qualquer coisa que o ser humano tenha experimentado antes”, disse no livro “A Quarta Revolução Industrial”, publicado em 2016. Penso que de fato ele tem razão.

As transformações na sociedade e na tecnologia acontecem todos os dias ao nosso redor. E o Setor Elétrico brasileiro deve estar preparado para recepcionar essas mudanças. Corroborando a mesma expectativa que irá impulsionar o futuro, o primeiro-ministro da China, Li Keqiang, pontuou, em março de 2017, na 12ª Assembleia Popular Nacional da província de Shandong, em Beijing, que “mudanças demandam inovação, e a inovação leva ao progresso”.

De fato, o avanço das tecnologias disruptivas emerge com mais força diariamente e pode tornar obsoletas as tecnologias e os regulamentos que hoje

são atuais e funcionais. Exigirá o aprimoramento da regulação para acompanhar o avanço das novas tecnologias e introduzir novos modelos de negócios.

Na Declaração de Punta Cana, carta resultante do 23º encontro anual dos reguladores que integram a Associação Ibero-Americana de Entidades Reguladoras de Energia (ARIAE) e que ocorreu entre 7 e 9 de maio de 2019 na República Dominicana, os 26 reguladores ibero-americanos deixaram consignado que “a regulação deve ser dinâmica, mas ao mesmo tempo, segura: dinâmica para adaptar-se às mudanças e segura para promover um ambiente regulatório transparente, previsível e estável, para que os investimentos possam ocorrer, assegurando a qualidade e a continuidade do serviço e gerando o progresso de nossas economias e a prosperidade de nossos países”. A carta de Punta Cana será apresentada em novembro de 2020 na XXVII Cúpula Ibero-Americana de Chefes de Estado e de Governo, evento organizado pela Secretaria-Geral Ibero-Americana (SEGIB), fundada em 2005, que apoia os 22 países que compõem a Comunidade Ibero-Americana de Nações.

Nesse ambiente de tamanhas inovações, que vai alterar completamente a maneira como nos relacionamos com o Setor Elétrico, emerge o novo consumidor: empoderado, com interação muito mais participativa diante das informações em tempo real, do acompanhamento do consumo de energia e da qualidade do serviço prestado, ou até mesmo do fato de gerar a própria energia. O empoderamento do consumidor desafia a nós, reguladores, a inovar, ousar, ser criativos.

O marco regulatório precisa ser dinâmico para apoiar essas inovações, sempre com foco na liberdade de empreender, na modicidade tarifária, na melhoria da qualidade do serviço prestado, no equilíbrio entre as partes envolvidas e na geração de riqueza, tanto para empresas quanto para consumidores.

Uma das maneiras de nos preparamos – regulador e sociedade – para recepcionar a inovação e, por meio dela, promover a eficiência, facilitar a evolução do setor e eliminar barreiras para o desenvolvimento tecnológico e para as demandas sociais e ambientais, permitindo também o empoderamento do consumidor, é por meio de reflexões e análises como as apresentadas neste Livro.

Esta Publicação surgiu como proposta de abordar a inovação e é fruto de projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e realizado pelo Instituto ABRADDEE da Energia, com coordenação da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE).

O projeto “Modernização das Tarifas de Distribuição de Energia Elétrica” (PD-00391-0032/2017) foi iniciado em abril de 2018 e objetiva promover estudos envolvendo a avaliação de sinalização locacional, horária e dinâmica e a tarifa não volumétrica.

Esta Obra traz conceitos e perspectivas importantes sobre recursos energéticos distribuídos, permitindo conhecer ainda mais as novas tecnologias de geração distribuída, veículos elétricos, armazenamento e resposta da demanda, bem como as respectivas consequências nas redes de distribuição. Apresenta, também, de maneira didática, as fontes renováveis de energia, seus requisitos, desafios e diretrizes operativas. Consequentemente, anuncia a conceituação, as dificuldades e as possibilidades da figura que surge nesse contexto da inovação: o consumidor que gera a sua própria energia por meio de fontes renováveis, o *prosumidor*. Oportunidades inovadoras, como condomínios solares e eólicos, edifícios inteligentes, consumidores agregadores, microrredes elétricas e plantas elétricas virtuais (VPP) são apresentadas como o futuro da geração distribuída.

Por antecipar tudo isso, considero o livro “Recursos Energéticos Distribuídos e suas Potencialidades”, assim como o projeto “Modernização das Tarifas de Distribuição de Energia Elétrica”, realizações da maior relevância, bem como exemplos de reversão dos recursos de projetos de P&D, geridos pela ANEEL, em benefício da sociedade.

Mesmo o leitor que conhece o Setor Elétrico e o segmento de distribuição de energia vai se surpreender com esta obra coordenada pelos professores Dr. Mauricio Tiomno Tolmasquim e Dr. Marciano Morozoski Filho. Este é um livro que relata não o histórico do Setor, mas o que está por vir com esse pacote de inovações que irá mudar as relações convencionais do Setor Elétrico.

A atuação da ANEEL ao regular, fiscalizar, mediar, coordenar e também incentivar os programas de P&D abre caminho para elevar os níveis de eficiência e qualidade dos serviços prestados e transformar a rede de distribuição em verdadeira “Internet de energia”, aliando o transporte de elétrons e de informação. Cito a patriótica e sempre atual advertência de Celso Furtado, ilustre conterrâneo da cidade de Pombal, situada no alto sertão paraibano, que contextualiza muito bem o momento em que estamos vivendo: “O futuro deve ser uma fronteira aberta à invenção do homem.”

Boa leitura.

André Pepitone da Nóbrega

Diretor-Geral da ANEEL



Apresentação

O século 21 está sendo caracterizado pela elevada velocidade das mudanças, associadas ainda ao papel protagonista que pessoas físicas e instituições jurídicas estão conquistando nas mais diversas áreas da sociedade. No setor elétrico, isso não está sendo diferente. Hoje, consumidores residenciais, comerciais e industriais já podem ser também geradores de sua própria energia e de terceiros. Isso graças ao desenvolvimento tecnológico, disseminação das boas práticas internacionais e acesso ao capital. Essas gerações distribuídas de energia geralmente são na forma de energias renováveis intermitentes, como energia solar e eólica, que, associadas ao armazenamento distribuído e ao carro elétrico, representam novos negócios e também novos desafios ao setor elétrico mundial.

Enquanto isso, as distribuidoras de energia elétrica, tradicionalmente no Brasil, têm a capacidade e a obrigação de servir a todos os consumidores, independentemente de renda, localização geográfica ou classe de consumo. Isto diferencia as distribuidoras dos novos provedores que têm surgido nos países desenvolvidos, que não têm a obrigação de servir.

As distribuidoras do futuro estão avaliando adicionar o provimento de serviços de “valor-adicionado” à sua missão tradicional, tais como:

serviços de energia atrás do medidor (como o gerenciamento da energia das residências), financiamento para a geração distribuída, propriedade e operação de postos de carregamento de veículos elétricos, operação e manutenção de geração distribuída pertencente a terceiras partes, solar comunitária, entre outras práticas inovadoras.

Os reguladores, por seu lado, terão de repensar a regulação para permitir um desenvolvimento mais eficiente dos modelos de negócio das empresas distribuidoras. Esta regulação deve, igualmente, induzir consumidores e geradores de serviços de eletricidade a fazerem escolhas eficientes, baseadas em incentivos que reflitam o valor econômico destes serviços.

Neste contexto, o Instituto ABRADÉE de Energia, uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIPI), idealizou o projeto “Modernização das Tarifas de Distribuição de Energia Elétrica (P&D Tarifa Moderna)”, coordenado pela Abradee (Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica), no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, regulado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Este livro é um dos produtos deste projeto, para o qual foram elaborados sete relatórios: (1) Perspectivas do Setor de Distribuição de Energia Elétrica para o Futuro, (2) Novos Arranjos Comerciais e Modelos de Negócio, (3) Repensando a Regulação das Distribuidoras, (4) Diagnóstico do Setor de Distribuição no Brasil e Análise de Oportunidades e Ameaças, (5) Amostragem com Entidades sobre Riscos e Oportunidades da Difusão de Recursos Energéticos Distribuídos, (6) Visão Estratégica Frente à Difusão dos Recursos Energéticos Distribuídos e (7) Relatório Final: Visão Estratégica Setorial.

O Subprojeto 1 deste projeto teve como objetivo apresentar o quadro geral de mudanças na visão de negócio do setor de distribuição e do processo de regulação, frente aos desafios regulatórios, tecnológicos, econômicos e sociais que se colocam perante as distribuidoras em futuro próximo, levando em consideração o efeito de causalidade e da adoção de uma regulação por incentivos e não mais apenas pelo custo.

Este livro busca fornecer uma visão panorâmica do novo ambiente setorial que está sendo consolidado, com novos requisitos, frente aos desafios decorrentes da disseminação das fontes renováveis intermitentes nos sistemas de distribuição. Para isso, o livro sintetiza os resultados principais das atividades relacionadas aos recursos energéticos distribuídos (RED) e suas potencialidades.

Para tanto, este livro é composto por 7 capítulos, além da introdução e da conclusões. Os 3 primeiros capítulos abordam especificamente quatro recursos energéticos distribuídos, quais sejam:

1. Geração distribuída;
2. Armazenamento distribuído;
3. Veículos elétricos;
4. Resposta da demanda.

No capítulo 1, apresenta-se o estado da arte dessas quatro tecnologias; no capítulo 2, analisam-se os impactos das mesmas e, no capítulo 3, aborda-se uma visão prospectiva de cada um dos recursos analisados.

O capítulo 4 deste livro trata do ciclo evolutivo da participação das fontes renováveis intermitentes, os problemas e os desafios que elas acarretam. Ainda neste capítulo, são apresentadas sugestões de diretrizes operativas frente a essa nova realidade. Este capítulo se encerra com uma apresentação do conceito de “prosumidor”, bem como suas contribuições para as fontes renováveis de energia.

O capítulo 5 aborda as diferentes possibilidades de atuação de prosumidores no ambiente de distribuição, com destaque para consumidores de pequeno porte e comercializadores agregadores. As microrredes elétricas e as plantas elétricas virtuais, novos atores com relevância no segmento da distribuição, também são tratados neste capítulo.

No capítulo 6, são apresentadas as oportunidades para prosumidores de distintas tipologias, incluindo consumidores de pequeno porte, condomínios solar e eólico, edifícios inteligentes, comercializadores agregadores e modelos de negócio para uma planta geradora virtual.

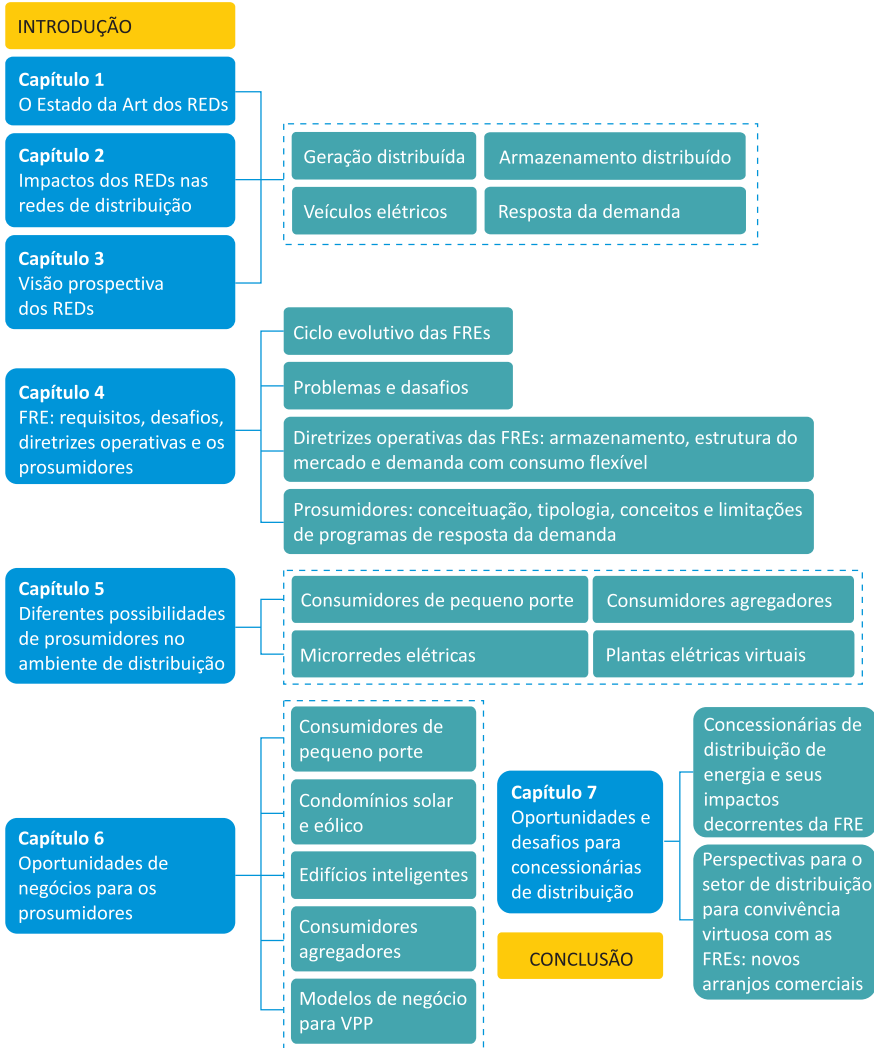
No capítulo 7, é apresentado o agente distribuidor de energia e seus impactos, desafios e oportunidades frente às fontes renováveis intermitentes. São também apresentadas perspectivas de convivência harmoniosa das distribuidoras nesse novo cenário de presença cada vez maior de recursos energéticos distribuídos. Algumas práticas são sugeridas e avaliadas à luz da legislação vigente no Brasil.

O capítulo de conclusão encerra este livro, que visa atender a públicos diversos, com diferentes níveis de familiaridade com os assuntos aqui tratados. Para facilitar seu uso e o pleno entendimento de seu conteúdo, este livro tem, além das tradicionais listas de siglas, tabelas e figuras, uma estrutura modular, que visa permitir sua leitura de modo sequencial ou por capítulos.

O esquema a seguir permite visualizar o encaminhamento lógico do livro, bem como suas múltiplas possibilidades de leituras, dependendo dos temas de maior interesse do leitor.

Boa leitura a todos!

Recursos Energéticos Distribuídos e suas Potencialidades – Modelo esquamático





Introdução

Em todos os países onde a sociedade optou pela introdução, em larga escala, de energia renovável, o sistema de produção e transporte de energia elétrica atravessa um período de mudanças profundas na dinâmica de oferta e de uso da eletricidade, marcadas pela geração de energia com características distintas da tradicional.

Os Sistemas de Energia Elétrica (SEE), com uma existência de pouco mais de cento e trinta anos, sofreram relativamente poucas mudanças em sua evolução. Inicialmente constituídos por pequenas usinas localizadas próximas aos pontos de consumo, evoluindo para usinas de maior porte, localizadas a distâncias relativamente longas dos centros de consumo. Em seguida, esses sistemas passaram a se interligar, formando grandes e complexos sistemas elétricos, com dimensões de país ou mesmo continental.

Nessa evolução, poucas mudanças conceituais foram introduzidas em sua estrutura. Destaca-se o processo de reestruturação, iniciado na década de 1980, que vem ocorrendo até o presente, o qual afetou a forma de organização das empresas de energia elétrica. Tais empresas passaram de uma estrutura verticalizada, na qual geração, transmissão e distribuição conviviam numa mesma organização, para o modelo atualmente

adotado em muitos países, no qual foram desmembradas as atividades de produção e consumo das voltadas ao transporte de energia. Essa mudança afetou o desenho organizacional dos sistemas de energia elétrica, mas pouco mudou em sua concepção física.

Atualmente, em vários países, observa-se um processo de transformação na estrutura física dos SEE causado, principalmente, pelo deslocamento da geração centralizada de grande porte, realizada por meio de centrais hidrelétricas, termelétricas e nucleares, para a geração de pequeno porte distribuída pelo sistema e próxima à carga. Outra modificação importante em andamento, a qual está associada diretamente à tendência pela geração descentralizada, é o crescimento da utilização de fontes de energia eólica e solar, as quais apresentam uma característica de intermitência. Essas duas alterações na forma de gerar energia tem o potencial de revolucionar o modo de operar os SEE, tanto no aspecto técnico como no econômico. A multiplicidade de fontes e sua intermitência exigem formas avançadas de monitoração, controle e proteção, assim como novos modelos de comercialização da energia elétrica (GridWise, 2015).

Nesse cenário, o segmento de distribuição dos SEE em vários países tem sido uma parte do sistema fortemente afetada pelas transformações acima mencionadas, as quais, geralmente, são enquadradas em duas categorias gerais:

1. **Recursos Energéticos Distribuídos (RED):** constituídos por dispositivos de geração ou armazenamento de energia localizados nas instalações dos consumidores (*behind-the-meter*) ou no sistema de distribuição, capazes de suprir parcial ou totalmente a demanda local e, em determinadas condições, injetar potência na rede de transmissão. Os REDs, atualmente em uso, são a geração distribuída, o armazenamento distribuído, os veículos elétricos e a resposta da demanda.
2. **Tecnologias Digitais (*Smart Grid*):** utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações digitais para monitoração e controle da rede elétrica. Tais tecnologias estão baseadas na instalação de medidores inteligentes (*smart meters*) e redes de comunicação bidirecionais entre os medidores e os centros de controle, além da disponibilização de outros tipos de sensores e dispositivos de controle que permitam a automação da operação da rede

de distribuição. Incluem também as tecnologias de *Data Analytics* e *Big Data* para o processamento de grandes volumes de informação provenientes dos sistemas avançados de medição.

Os REDs têm o potencial de produzir profundas alterações na forma como as empresas de distribuição são operadas, por alterarem o padrão de consumo, a intensidade e a direção do fluxo de potência na rede, os processos de controle de tensão, entre outros. As tecnologias digitais, por outro lado, oferecem a possibilidade de uma operação mais segura e eficiente em uma rede com tantas novas possibilidades, como estas que se vislumbram para um futuro próximo.

Em GridWise (2015), as transformações em andamento nos sistemas de distribuição, categorizadas como transformações no *Grid Edge*,¹ são agrupadas em três categorias: *descentralização* (em que os clientes tornam-se participantes ativos no sistema e são incluídos os REDs), *digitalização* (em que a comunicação e a operação do sistema são abertas, automatizadas e em tempo real e inclui as tecnologias associadas ao conceito de *Smart Grid*) e *eletrificação* (incluindo os veículos elétricos e sistemas de aquecimento e resfriamento de ambientes). A integração entre essas tecnologias, de acordo com GridWise (2015), é enfatizada e caracterizada como o grande elemento transformador dos SEE, em particular, das redes de distribuição.

Os recursos energéticos distribuídos e as tecnologias digitais, atualmente em implantação nas redes de distribuição, são complementares e sinérgicos. Não existe a possibilidade da implantação de um conjunto de tecnologias sem que o outro não esteja presente. O incremento dos REDs na rede de distribuição exige uma tecnologia muito mais elaborada de monitoração, controle, proteção e otimização, em comparação com os recursos atualmente disponíveis. Em níveis iniciais de difusão dessas novas tecnologias, ainda é possível gerenciar a rede com a combinação de ações manuais ou semiautomáticas, atualmente em uso. Quando o grau de penetração de tais tecnologias atinge níveis superiores, algo como 20% ou 30% da demanda, isto se tornará impossível sem os recursos da digi-

¹ *Grid Edge Technology* diz respeito às diversas inovações de *hardware*, *software* e negócios que estão sendo instalados na *borda (edge)* ou próximos à borda da rede elétrica. A borda, neste caso, significa a proximidade com os clientes finais (em suas residências, empresas ou nos sistemas de distribuição, muito próximos de ambos) e não em centrais geradoras ou no sistema de transmissão.

talização completa da rede. Por outro lado, a implantação da tecnologia de *Smart Grid* se justificará plenamente apenas quando se computar os ganhos de eficiência e a redução do impacto ambiental produzidos pela implantação dos REDs.

No Brasil, que sempre buscou a expansão sustentável do sistema elétrico, observa-se, além da adição massiva e diversificada de fontes renováveis, a crescente participação de consumidores na expansão da oferta. Em consequência, por imposição de *stakeholders* incumbentes e entrantes, a evolução prevista no setor elétrico vem se caracterizando por alta complexidade, em função da inserção massiva de fontes distribuídas, dos requisitos de comunicação, controle, automação e eletrônica de potência, além de novos paradigmas na regulação, no financiamento e incentivos para P&D+I (pesquisa, desenvolvimento e inovação).

Soma-se a esses fatores a necessidade de manter um atendimento confiável e seguro, com modicidade tarifária e eficiência operacional, atributos imprescindíveis para que o setor elétrico mantenha a segurança de fornecimento em nível adequado, dada a crescente dependência da sociedade em relação à energia elétrica.

Para atender a esses objetivos e acompanhar essa evolução, o mercado de eletricidade exige maior integração, traduzida em um *design* de mercado apropriado, acompanhado de inovações tecnológicas e operacionais, com soluções para armazenamento de eletricidade e capacidade de rede suficiente que, em conjunto, desempenham papel relevante para equilibrar a oferta e a demanda, preservando a eficiência econômica do setor elétrico.

Neste livro, são apresentados os conceitos, a tipologia e as principais barreiras ao desenvolvimento dos recursos energéticos distribuídos – geração distribuída, armazenamento distribuído, veículos elétricos e resposta da demanda – no setor elétrico mundial, com destaque para o Brasil. Além disso, são abordados os principais impactos, positivos e negativos, dessas tecnologias nas redes de distribuição. O livro traz ainda uma visão prospectiva dos REDs no Brasil e no mundo, a trajetória de custos e sua maturidade tecnológica. No caso do Brasil, em especial, os resultados de dois estudos prospectivos recentes Nota Técnica *Demanda de Energia 2050 e Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico Brasileiro*, realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), em 2016 e 2017, respectivamente,

nortearam as análises realizadas por este livro. Tais estudos apresentam os cenários de difusão dos REDs no país, no horizonte 2050.

No livro, apresentam-se também alternativas de negócios em um ambiente de redes inteligentes e de penetração intensiva de geração distribuída nas redes de distribuição, buscando visualizar as oportunidades que surgem em decorrência da evolução tecnológica e do aprimoramento da regulação. Da mesma forma, busca-se visualizar os impactos que essas tecnologias tendem a provocar nas concessionárias que fornecem o serviço de distribuição, fato que impõe a busca antecipada de soluções para garantir a convivência harmoniosa e a excelência nos serviços prestados.

Neste sentido, analisam-se arranjos negociais alternativos para o setor de distribuição, com o objetivo de potencializar as oportunidades e mitigar os riscos decorrentes das características emergentes do sistema elétrico, no Brasil e no mundo. Em particular, é dado destaque aos programas de incentivo à resposta da demanda e à expansão da geração distribuída, que vêm apresentando resultados importantes nos mercados de energia elétrica, nos quais esses programas de incentivo vêm sendo implementados.

Mais especificamente, são explorados, juntamente com a análise de riscos e oportunidades de expansão da Geração Distribuída (GD), novos arranjos comerciais envolvendo consumidores de média e baixa tensão, por meio de Mecanismos de Resposta da Demanda (MRD), que contribuem para mitigar os riscos comerciais e superar os desafios operacionais decorrentes da integração massiva de GD, em particular, a proveniente de fontes renováveis variáveis (sazonais e/ou intermitentes).