

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Taís Oliveira da Silva Alfonso

**ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA**

Porto Alegre

2021

Taís Oliveira da Silva Alfonso

Análise Sistêmica do Impacto da Geração Distribuída no Sistema de Distribuição de Energia

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Ricardo Augusto Cassel, Dr.

Coorientador: Júlio César Mairesse Siluk, Dr.

Porto Alegre

2021

Taís Oliveira da Silva Alfonso

Análise Sistêmica do Impacto da Geração Distribuída no Sistema de Distribuição de Energia

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Ricardo Augusto Cassel, Dr.

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. Júlio César Mairesse Siluk, Dr.

Coorientador PPGEP/UFSM

Prof. Alejandro Germán Frank

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professora Carmen Brum Rosa, Dra. (DPS/UFSM)

Professor Daniel Pacheco Lacerda, Dr. (PPGEPS/UNISINOS)

Professor Enoque Dutra Garcia, Dr. (UNIPAMPA)

*Aos meus pais,
Luiz Guarani da Silva e
Ione Oliveira da Silva,
pela confiança e apoio incondicionais.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, pelo ensino dos valores que guiam minha vida pessoal e profissional. Ao Ariel, pelo apoio emocional ao longo dessa jornada e por confiar que eu conseguiria.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel, por ter compartilhado seu conhecimento e seu tempo, me aconselhando ao longo desse trabalho. Ao Prof. Dr. Júlio César Mairesse Siluk, agradeço por ter aceitado o desafio de me coorientar.

Agradeço aos professores do PPG que contribuíram para a minha formação, bem como aos colegas e amigos, pelos conselhos e companhia ao longo da minha trajetória. Obrigada Bibiana Porto da Silva e Simone Ferigolo por compartilharem orientações e informações que auxiliaram no desenvolvimento dessa pesquisa. Obrigada Josiane Ramos, pela escuta e compreensão em todas as diversas vezes que mencionei esse trabalho.

Agradeço ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Geração Distribuída (INCT-GD), que por meio das agências CNPq e CAPES financiou parte desta pesquisa.

RESUMO

A participação da geração distribuída nos sistemas de distribuição tem crescido ao longo dos anos. Assim, essa pesquisa se propõe a responder qual o impacto desse tipo de geração no sistema de distribuição. Especificamente, considerou-se geração distribuída como aquelas unidades conectadas à rede e limitadas a micro e minigeração. Visto que o sistema de distribuição é um sistema complexo, o objetivo desse trabalho é analisar de forma sistêmica o impacto da geração distribuída na rede de distribuição de energia elétrica brasileira. Para isso, foram identificadas as variáveis chave que impactam o modelo, explicitando suas relações de causalidade. Em termos metodológicos, essa pesquisa enquadrou-se como um estudo de caso. Primeiramente, realizou-se a estrutura conceitual e o planejamento do caso, a qual envolveu uma revisão sistemática de literatura visando mapear os fatores envolvendo a geração distribuída que impactam no sistema de distribuição. A coleta de dados foi realizada por meio de análise documento e entrevistas com atores do sistema de distribuição. Após, partiu-se para a análise dos dados, que teve como etapas a definição da situação complexa de interesse, a apresentação da história por meio de eventos, a identificação das variáveis chave e o desenho do mapa sistêmico. Como resultado, essa pesquisa aponta que avanço tecnológico derivado da maior capacidade de realização de pesquisas deve reduzir o preço dos equipamentos e aumentar a quantidade de dispositivos de armazenamento conectados aos sistemas de geração distribuída. Além disso, a geração distribuída pode contribuir para a preservação dos equipamentos da rede de distribuição. Essa análise permitiu entender que o número de conexões de geração distribuída afeta a capacidade de investimentos das distribuidoras, o que pode fomentar mudanças na legislação e por consequência no sistema de compensação vigente.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Sistema de Distribuição de Energia. Pensamento Sistêmico.

ABSTRACT

The share of distributed generation in distribution systems has grown over the years. Thus, this research aims to answer what is the impact of this type of generation on the distribution system. Specifically, we considered distributed generation as those units connected to the network and limited to micro and mini generation. Since the distribution system is a complex system, the aim of this study is to analyze in a systematic way the impact of distributed generation in the Brazilian electricity distribution network. For this, the key variables that impact the model were identified, explaining their causal relationships. In methodological terms, this research was framed as a case study. First, the conceptual framework and case planning was carried out, which involved a systematic literature review to map the factors involving distributed generation that impact the distribution system. Data collection was carried out through document analysis and interviews with actors in the distribution system. Afterwards, the analysis of the data started, which had as stages the definition of the complex situation of interest, the presentation of history through events, the identification of key variables and the design of the systemic map. As a result, this research points out that derived technological advances should reduce the price of equipment and increase the number of storage devices connected to distributed generation systems. In addition, distributed generation can contribute to the preservation of equipment in the distribution network. This analysis allowed us to understand that the number of distributed generation connections affects the investment capacity of the distributors, which can foster changes in legislation and, consequently, in the current compensation system.

Key words: Distributed generation. Energy Distribution System. Systemic Thinking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Análise de citações por documento.....	15
Figura 2: Matriz energética mundial e brasileira.....	20
Figura 3: Matriz elétrica mundial e brasileira.....	21
Figura 4: Composição da matriz elétrica brasileira entre 2011 e 2019.....	22
Figura 5: Geração centralizada e distribuída.....	24
Figura 6: Localidades com maior potência instalada de micro e minigeração distribuída no Brasil.....	30
Figura 7: Classe e modalidade das instalações de micro e minigeração distribuída no Brasil..	31
Figura 8: Atributos de Sistemas Sociotécnicos complexos.....	32
Figura 9: Níveis de compreensão da realidade.....	34
Figura 10: Exemplo de estrutura sistêmica.....	35
Figura 11: Método Pensamento Sistêmico e Planejamento por Cenários.....	36
Figura 12: Pêndulo para realização de pesquisas científicas.....	38
Figura 13: Método de Trabalho.....	40
Figura 14: Método para Condução de Revisões Sistemáticas de Literatura.....	41
Figura 15: Fluxo de seleção e estudos elegíveis da Revisão Sistemática de Literatura.....	43
Figura 16: Metodologia para desenvolvimento da estrutura sistêmica.....	45
Figura 17: Análise de coautoria por país.....	47
Figura 18: Fatores encontrados na literatura responsáveis pelo impacto da geração distribuída nos sistemas de distribuição.....	48
Figura 19: Estrutura sistêmica do impacto da geração distribuída no sistema de distribuição.	64
Figura 20: Variáveis chave na estrutura sistêmica.....	65
Figura 21: Agrupamentos temáticos da estrutura sistêmica.....	71
Figura 22: Enlace manutenção de equipamentos.....	74
Figura 23: Enlace preço dos equipamentos.....	75
Figura 24: Comportamento do consumidor GD.....	75
Figura 25: Enlaces aumento de conexões de GD e mudanças no sistema de compensação.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Protocolo da Revisão de Literatura.....	42
Quadro 2: Formação e área de atuação dos entrevistados selecionados nesta pesquisa.....	44
Quadro 3: Formação e área de atuação dos especialistas selecionados.....	46
Quadro 4: Resoluções da ANEEL utilizadas para pesquisa documental.....	53
Quadro 5: Extratos das entrevistas considerando a perspectiva ambiental.....	54
Quadro 6: Extratos das entrevistas considerando a perspectiva econômica.....	55
Quadro 7: Extratos das entrevistas considerando a perspectiva social.....	56
Quadro 8: Extratos das entrevistas considerando a perspectiva técnica.....	57
Quadro 9: Lista de Eventos da inserção da geração distribuída no sistema de distribuição de energia.....	58
Quadro 10: Variáveis chave.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. <i>PROBLEMA DE PESQUISA</i>	12
1.2. <i>OBJETIVOS</i>	13
1.3. <i>JUSTIFICATIVA</i>	13
1.4. <i>DELIMITAÇÕES DA PESQUISA</i>	17
1.5. <i>ESTRUTURA DO TRABALHO</i>	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1. <i>FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA</i>	19
2.2. <i>GERAÇÃO DISTRIBUÍDA</i>	23
2.3. <i>PENSAMENTO SISTÊMICO</i>	31
3. METODOLOGIA.....	39
3.1. <i>DELINEAMENTO DA PESQUISA</i>	39
3.2. <i>MÉTODO DE TRABALHO</i>	41
4. RESULTADOS.....	48
4.1. <i>ESTRUTURA CONCEITUAL E PLANEJAMENTO DO CASO</i>	48
4.2. <i>COLETA DE DADOS</i>	54
4.3. <i>ANÁLISE DE DADOS</i>	59
4.4. <i>DISCUSSÃO</i>	66
5. CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE A: Análise Bibliométrica.....	97
APÊNDICE B: Rastreabilidade da Revisão Sistemática de Literatura.....	101
APÊNDICE C: Roteiro das Entrevistas.....	105
APÊNDICE D: Termos de Consentimento.....	107
APÊNDICE E: Transcrição das Entrevistas.....	115

1. INTRODUÇÃO

O aumento da participação de fontes renováveis de energia na matriz energética global tem sido alvo de políticas e discussões em órgãos governamentais visando à redução do impacto ambiental causado pelo crescimento no consumo de energia e o desenvolvimento sustentável (ONU, 2020). Além disso, visto que o desenvolvimento econômico e tecnológico está vinculado ao consumo de energia, muitos países se comprometeram a diversificar sua matriz energética (EPE, 2007).

A matriz elétrica brasileira já é composta em sua maioria por fontes renováveis de energia – a geração por meio de hidroelétricas representa cerca de 62% da matriz elétrica, enquanto os combustíveis fósseis representam em torno de 17% (ANEEL, 2020b). Contudo, apesar da participação das fontes renováveis de energia na matriz do Brasil, outros aspectos precisam ser observados. Por exemplo, a dependência dos recursos hídricos para gerar energia pode ser um problema em termos de segurança energética, uma vez que a segurança energética está vinculada aos estoques de energia (ONS, 2019). Assim, são necessárias estratégias que reduzam a dependência desse recurso, sem, entretanto, recorrer a fontes não renováveis para geração de energia.

Entre as fontes renováveis que se destacam como potenciais alternativas para redução da dependência hídrica estão as fontes de geração fotovoltaica, eólica e biomassa (CARTELLE BARROS *et al.*, 2017). Essas fontes, em especial a fotovoltaica, podem auxiliar a diversificação da matriz energética brasileira por meio da geração distribuída. Entende-se “geração distribuída” como um sistema, com fonte de geração de energia própria e equipamentos de medição e controle, conectado a uma rede de distribuição (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001; PEPERMANS *et al.*, 2005).

Para a ANEEL, a geração distribuída é definida como “sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa” (ANEEL, 2015c). Além disso, no Brasil, o conceito de geração distribuída especifica que a geração de energia deve se dar por meio de fontes renováveis e a rede de distribuição deve ser próxima ao consumidor, possibilitando o consumo local (CAMILO *et al.*, 2017).

Um dos benefícios da geração distribuída pode ser a redução de perdas energéticas inerentes aos sistemas de distribuição. Essas perdas se devem à distância entre o local onde a

energia é gerada e consumida e ocorrem no trajeto da energia pelas linhas de transmissão, distribuição e subestações. Estima-se que a perda energética no Brasil, considerando furtos de energia, seja de 14% (ANEEL, 2019a). O caráter local da energia que a geração distribuída possibilita também contribui na segurança da matriz energética, visto que, quando a opção de ilhamento é possível, a geração descentralizada diminui a probabilidade de falhas generalizadas (PINTO, 2019).

Especificamente em relação a geração distribuída utilizando-se como fonte a energia solar fotovoltaica, podem existir benefícios envolvendo o pico de demanda de energia e a autossuficiência energética em áreas remotas. O ápice da demanda por energia ocorre durante o verão, no turno diurno. Este também é o momento “em que os produtores de energia solar injetam seus excedentes na rede de distribuição”, o que diminui a quantidade de energia que precisa ser disponibilizada pelas distribuidoras (EPE, 2007; PINTO, 2019). Em relação a autossuficiência energética em áreas remotas, o benefício está na possibilidade de redução de custos para a distribuidora, uma vez que os investimentos em linhas de transmissão para essas áreas seriam evitados ou postergados devido a geração distribuída (REN21, 2020).

A geração distribuída no Brasil vem crescendo ao longo dos anos, chegando a 3.877 megawatts de potência instalada em setembro de 2020 (ABGD, 2020). A geração distribuída foi regulamentada pela ANEEL em 2012 por meio da Resolução 482, que trata do regime de compensação da energia elétrica e também da geração em pequena escala – microgeração e minigeração distribuída (ANEEL, 2012b). Esse cenário de crescimento levou a discussões sobre um novo regime de compensação de energia (ÍTALO, 2019). Em 2019 iniciou-se um processo formal de revisão que prevê a cobrança de tarifas para os geradores de energia participantes desse regime.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A geração distribuída é uma tendência mundial e sua participação na matriz energética traz benefícios como a redução de perdas energéticas inerentes ao sistema de distribuição e a segurança energética (PINTO, 2019; REN21, 2020). Entretanto, a possibilidade de um novo regime de compensação por meio da revisão da Resolução 482 da ANEEL levanta a hipótese de que, apesar dos benefícios, a conexão da geração distribuída aos sistemas de energia elétrica pode ter efeitos indesejados.

A integração da geração distribuída às redes de distribuição pode trazer alguns problemas relativos à operação da rede. Por exemplo, pode haver alterações no fluxo de

potência reverso e aumento ou flutuação dos níveis de tensão (AGÜERO; STEFFEL, 2011). Além disso, caso a proporção de geração distribuída conectada à rede atinja um determinado ponto, é possível que haja interferência nos controles de conservação de energia (RIZY *et al.*, 2011). A introdução da geração distribuída na rede pode implicar também no planejamento da expansão da rede e na qualidade do sistema, visto que conexões inadequadas podem afetar tanto a unidade consumidora quanto a rede de distribuição (REN21, 2020).

Além disso, o sistema de distribuição de energia elétrica é um sistema complexo (FERNÁNDEZ; PIRES; BUENO, 2006; FLOOD, 2010; GARCÍA; CARO, 2009), pois possui muitos elementos que interagem de forma dinâmica e não linear (SAURIN; GONZALEZ, 2013). As redes de distribuição estão conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), que permite que a energia gerada em um determinado subsistema possa ser consumida em outras regiões do país (ONS, 2019). O SIN e o Sistema Elétrico Brasileiro visam fornecer energia de modo seguro, garantindo tarifas econômicas e promovendo a inserção social (CEEE, 2020).

A geração distribuída aumenta a complexidade do sistema, visto que a conexão de outras fontes de energia pode sobrecarregar o sistema e interferir no balanço entre a oferta e a demanda dos serviços das distribuidoras. Além disso, devido aos elementos do sistema interagirem de forma não linear, os atores podem se reorganizar de forma descentralizada, aumentando a variabilidade (DERBYSHIRE, 2016). Dessa forma, torna-se difícil entender as relações do sistema e seus efeitos. Visto que o entendimento do sistema como um todo é essencial para a tomada de decisão, surge a seguinte questão: **como a geração distribuída afeta o sistema de distribuição de energia?**

1.2. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem por objetivo analisar de forma sistêmica o impacto da geração distribuída na rede de distribuição de energia elétrica brasileira. Especificamente, espera-se:

- a) Identificar as variáveis relacionadas à geração distribuída que impactam o segmento de distribuição de energia;
- b) Explicitar as relações de causalidade entre as variáveis chave identificadas;
- c) Avaliar os enlaces críticos para a sustentabilidade do sistema de distribuição.

1.3. JUSTIFICATIVA

A justificativa para realização desta pesquisa considera fatores mercadológicos e acadêmicos. Os fatores mercadológicos abordam aspectos sobre o planejamento do setor energético e as tendências para a geração distribuída. Os fatores acadêmicos foram levantados por meio de análise bibliométrica.

A importância da energia elétrica para a sociedade torna o planejamento do setor energético uma tarefa estratégica para os formuladores de políticas. O planejamento deve priorizar o fornecimento de energia elétrica a partir de um balanço entre custos, risco de desabastecimento e impactos socioambientais. Além disso, os instrumentos formais de planejamento são importantes para reduzir as incertezas inerentes ao sistema de energia (ONS, 2019).

As previsões de demanda para o sistema elétrico brasileiro fornecem elementos para estudos de capacidade, que tem por objetivo avaliar se o sistema atual é capaz de suprir a demanda prevista ou se é necessário planejar a expansão desse sistema. Esses estudos de capacidade levam em conta as condições de armazenamento atuais e futuras dos reservatórios de água e utilizam como métricas o risco de déficit, o valor esperado da energia não suprida e os custos marginais de operação (ONS, 2019).

Outro aspecto que impacta no planejamento energético é o dimensionamento da reserva energética do Sistema Interligado Nacional (SIN), o qual contribui para os planos de expansão do sistema. Dentre as ações de planejamento da expansão do sistema está a avaliação de novas fontes de geração, que podem aumentar a flexibilidade do sistema e garantir a manutenção das tarifas cobradas dos consumidores (ONS, 2019).

Os estudos de planejamento brasileiros também apontam para a expansão do uso da geração distribuída, sobretudo com a redução dos custos das tecnologias para geração fotovoltaica (EPE, 2007; ONS, 2019). Até 2050, estima-se que a potência instalada de micro e minigeração distribuída será suficiente para suprir 5,7% do consumo nacional (EPE, 2015). Além disso, espera-se que 18% das unidades consumidoras residenciais gerem energia por meio da geração fotovoltaica até 2050 (EPE, 2015).

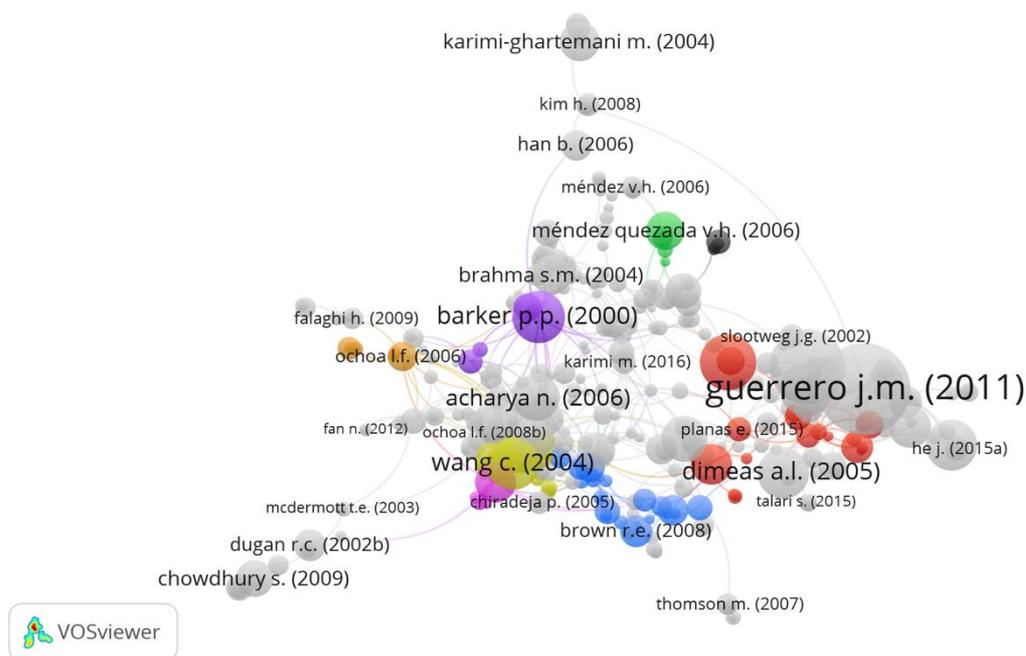
Esse cenário aumenta o nível de complexidade do planejamento do setor energético, visto que a geração distribuída permite que os consumidores tenham acesso a mais de uma fonte de geração de energia (EPE, 2007; ONS, 2019). Essa sobreposição de recursos impacta a operação e o planejamento das distribuidoras, visto que, em determinados momentos do dia, a rede pode se encontrar sobrecarregada. Já em outros momentos, a rede pode encontrar-se em

um estado em que a demanda seja maior que a oferta, visto que o acesso a uma fonte de energia alternativa de energia não garante a sua disponibilidade. Isto ocorre pois, no caso da geração fotovoltaica, a produção de energia varia ao longo do tempo (ONS, 2019). Assim, verifica-se que é necessário estudar os impactos que a geração distribuída pode causar às redes de distribuição de energia.

A justificativa acadêmica desta pesquisa levou em conta os estudos já publicados sobre o tema. Para isso, uma análise bibliométrica foi realizada e seus resultados são apresentados no **Apêndice A**. Observou-se que os estudos neste tema estão consolidados em escala mundial e estão crescendo no Brasil.

Uma das análises bibliométricas realizadas foi a análise de rede das citações por documento. Essa análise retornou como resultado que 393 documentos estão conectados entre si. Esses documentos foram agrupados em 32 *clusters*, dos quais 8 são de interesse para esta pesquisa, conforme destacado na Figura 1.

Figura 1 – Análise de citações por documento.



Fonte: Elaborado pela autora.

Entre os estudos analisados, estão aqueles que buscaram avaliar o impacto da geração distribuída por meio de métodos como análise de fluxo e índice multiobjetivo, destacados no *cluster* em laranja (KAYAL; CHANDA, 2015; KHUSHALANI; SOLANKI; SCHULZ, 2007; OCHOA; PADILHA-FELTRIN; HARRISON, 2008). Kayal e Chanda (2015), propõem uma abordagem para dimensionar de forma ideal a quantidade de unidades de geração distribuída

solares e eólicas em uma rede de distribuição da Índia. Os autores priorizaram a minimização da perda energética na rede elétrica, a estabilidade da tensão e a segurança da rede. Modelos probabilísticos foram utilizados para simular a irradiância solar e a velocidade do vento. O impacto da geração distribuída e sua alocação nos sistemas de distribuição também são tratados pelos *clusters* destacados em roxo e preto (BARKER; DE MELLO, 2000; CELLI; PILO, 2001).

O próximo cluster, destacado em verde, concentra estudos que buscam avaliar perdas energéticas e mitigar problemas de qualidade provenientes da conexão das unidades de geração distribuída às redes de distribuição (MAREI; EL-SAADANY; SALAMA, 2004; MÉNDEZ QUEZADA; RIVIER ABBAD; GÓMEZ SAN ROMÁN, 2006). Nessa linha, o *cluster* destacado em azul traz temáticas como a alocação e gerenciamento de unidades de geração distribuída, métodos para aumentar a confiabilidade dos sistemas de distribuição e pesquisas envolvendo a geração distribuída com fontes de energia renováveis (BORGES, 2012; BROWN, 2008; HADDADIAN; NOROOZIAN, 2017; LIU *et al.*, 2018; REZAEI JORDEHI, 2016; WANG, Z. *et al.*, 2014, 2015; WOLSINK, 2012; ZAME *et al.*, 2018). Liu *et al.* (2018) sugerem a cooperação entre múltiplas micro-redes para compatibilizar a geração distribuída às redes de distribuição. Em seu modelo, os autores consideram as restrições operacionais das redes com o objetivo de minimizar o custo total de energia em uma rede de distribuição com múltiplas micro-redes.

O planejamento dos sistemas de distribuição considerando a geração distribuída é tratado no *cluster* destacado em amarelo (EL-KHATTAM *et al.*, 2004; EL-KHATTAM; HEGAZY; SALAMA, 2005; KEANE *et al.*, 2013; WANG, C.; NEHRIR, 2004). Esse *cluster* também inclui o estudo de Haffner (2008), que traz um modelo para expansão da geração distribuída nos sistemas de distribuição (HAFFNER *et al.*, 2008).

O controle e gestão da energia é tratado no *cluster* destacado em vermelho (EGHTEDARPOUR; FARJAH, 2014; KROPOSKI *et al.*, 2008). Esses estudos incluem uma análise das tendências da gestão e entrega de energia de fontes renováveis (HUANG *et al.*, 2011). O último *cluster*, destacado em rosa, traz um estudo que estima os benefícios técnicos da geração distribuída (CHIRADEJA; RAMAKUMAR, 2004).

Apesar dos estudos analisados serem relevantes para esta pesquisa, observa-se que há lacunas a serem estudadas. Embora alguns estudos tenham buscado entender os impactos da geração distribuída nas redes de distribuição, ainda são necessários estudos que busquem entender esses impactos de uma forma sistêmica (AMELI *et al.*, 2014; BARKER; DE MELLO, 2000; HAFFNER *et al.*, 2008; LEVENDA *et al.*, 2019; OCHOA; PADILHA-FELTRIN;

HARRISON, 2006). O estudo de Levenda et al. (2019), discute sobre como diferentes contextos socioculturais e político-econômicos interferem nos projetos de inovação energética. Isto se dá pois o sistema de energia elétrica pode ser considerado um sistema complexo, onde a mudança em uma variável pode gerar mudanças significativas em todo o conjunto (SAURIN; GONZALEZ, 2013).

1.4. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta seção apresenta as delimitações da pesquisa, ou seja, os limites de aplicação e conclusão deste estudo. Primeiramente, não são analisados os impactos nos sistemas de geração e transmissão de energia, visto que esse trabalho se limita a analisar o impacto da geração distribuída no segmento de distribuição de energia e as consequências para as distribuidoras.

Este trabalho se refere a geração distribuída considerando apenas as instalações conectadas à rede e mais especificamente à micro e minigeração. Desse modo, os sistemas off-grid – aqueles não conectados à rede e que não fazem parte do sistemas de compensação de energia – não são objeto de estudo nesta pesquisa. Este estudo também não adentrou nas particularidades do mercado livre de energia, onde é possível comprar energia elétrica diretamente de geradores.

Outra limitação dessa pesquisa se refere a estrutura sistêmica apresentada, a qual representa os impactos da geração distribuída no sistema de distribuição. A estrutura sistêmica foi elaborada a partir de entrevistas e análise documental, de modo que representa a visão do grupo que produziu os dados analisados. Esta pesquisa também não contempla a modelagem da estrutura sistêmica em um projeto de dinâmica de sistemas.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos. No capítulo 1, apresenta-se o problema de pesquisa a partir de uma contextualização sobre a matriz energética brasileira, a geração distribuída, sistemas complexos e o segmento de distribuição de energia. Após, são declarados os objetivos da pesquisa, visando analisar o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição. Uma análise bibliométrica é apresentada para justificar este estudo. Por fim, são apresentadas as delimitações da pesquisa e a presente seção, com a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico desta pesquisa. A primeira seção traz informações sobre fontes renováveis de energia e sua influência nas matrizes energéticas e elétricas, tanto a mundial quanto a brasileira. A segunda seção define geração distribuída e seu

papel no contexto do sistema de distribuição de energia. A última seção traz conceitos de sistemas complexos e o pensamento sistêmico, abordagem utilizada para a modelagem do fenômeno estudado.

A metodologia deste trabalho é apresentada no capítulo 3. Inicialmente, apresenta-se o delineamento desta pesquisa, identificando-a como um estudo de caso. A segunda seção apresenta o método de trabalho utilizado, o qual foi dividido em quatro etapas, envolvendo o planejamento do caso, coleta e análise de dados para modelagem da estrutura sistêmica e desenvolvimento do relatório e discussão.

No capítulo 4 são apresentados os resultados desta pesquisa. A primeira seção apresenta a revisão de literatura utilizada para a definição da estrutura conceitual. Na seção seguinte, são apresentados os resultados da análise documental e das entrevistas. A terceira seção apresenta a modelagem da estrutura sistêmica. A discussão do aprendizado é apresentada na quarta seção.

As conclusões deste trabalho são apresentadas no capítulo 5. Inicialmente, podem ser observadas as considerações finais da pesquisa, incluindo o mapeamento de suas contribuições. Após, as limitações do estudo são apresentadas e sugere-se elementos para trabalhos futuros a esta pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a base teórica construída para a condução desta pesquisa e está dividido em três seções. A primeira seção traz informações sobre fontes renováveis de energia e sua influência nas matrizes energéticas e elétricas, tanto a mundial quanto a brasileira. A segunda seção define geração distribuída e seu papel no contexto do sistema de distribuição de energia. A última seção traz conceitos de sistemas complexos e o pensamento sistêmico, abordagem utilizada para a modelagem do fenômeno estudado.

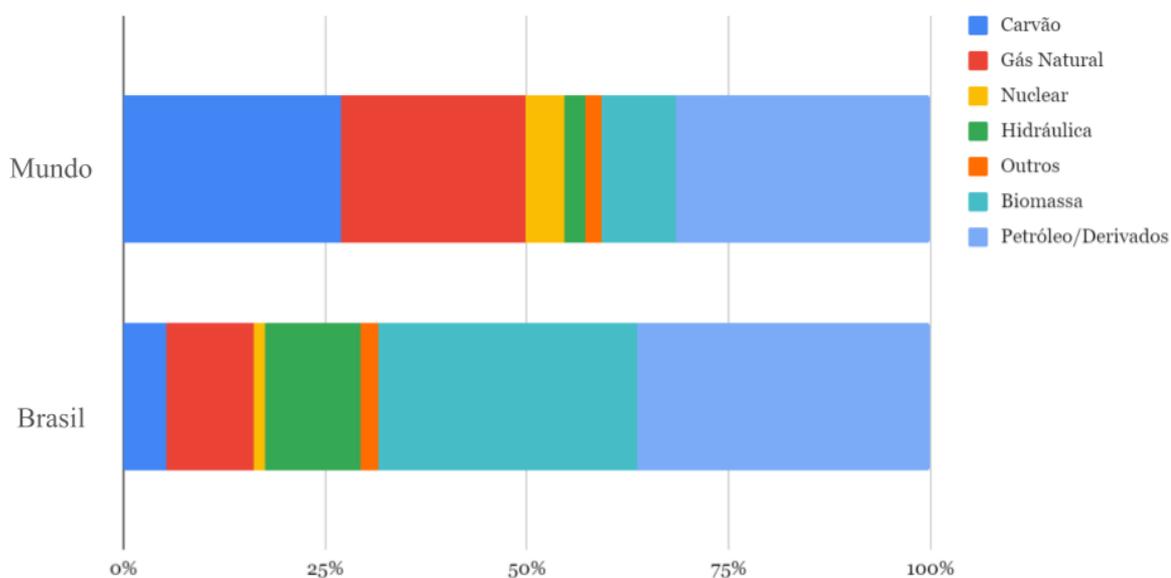
2.1. FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A crescente demanda por energia reforça a necessidade de os gestores governamentais avaliarem continuamente os recursos disponíveis em escala nacional, visto que existe o compromisso de tornar as matrizes energéticas mundiais cada vez mais limpas (EPE, 2020a). As fontes de energia que compõem as matrizes energéticas podem ser divididas em dois tipos: renováveis e não renováveis. As fontes não renováveis, por exemplo, petróleo, gás natural e carvão mineral, existem em uma quantidade limitada na natureza e não retomam seus estoques na mesma velocidade em que são utilizadas (EIA, 2020b). Por outro lado, as fontes renováveis são capazes de sustentar seus estoques, visto que se renovam a uma taxa superior à sua utilização. Essas fontes podem ser subdivididas em duas categorias: biomassa tradicional e renováveis modernas (REN21, 2019).

As fontes renováveis do tipo biomassa tradicional são aquelas em que ocorre a combustão direta da fonte utilizada e é utilizada especialmente em áreas rurais ou em países em desenvolvimento (REN21, 2019). A conversão desse tipo de fonte em energia geralmente está atrelada ao uso de dispositivos ineficientes, que podem aumentar a poluição e a degradação ambiental (REN21, 2019). Entretanto, a biomassa também pode compor o grupo das fontes renováveis modernas. Nesse caso, a combustão da biomassa ocorre em sistemas eficientes que permitem um melhor controle ambiental e a cogeração (REN21, 2019). Na cogeração, o calor produzido durante a geração de energia também é utilizado no processo sob a forma de vapor (INEE, 2020). Outras fontes que também são consideradas como renováveis modernas são hidroelétrica, biocombustível, geotérmica, eólica e solar (REN21, 2019). Em relação à sustentabilidade, o grupo das fontes de energia renováveis modernas é o que mais possui potencial benéfico para o meio ambiente, embora todas as fontes causem algum tipo de impacto ambiental (REN21, 2019).

O conjunto das fontes utilizadas para geração de energia compõem o que é chamado de matriz energética (EPE, 2020b). A matriz energética mundial é composta em sua maioria por fontes não renováveis, como carvão, petróleo e gás natural, sendo que as fontes renováveis correspondem a cerca de 14% da matriz (EIA, 2020a). Por outro lado, cerca de 45% do total da matriz energética brasileira é composta por fontes renováveis (EPE, 2020b). Esse número se deve às características do país e também a alguns incentivos, como o incremento da geração hidráulica e eólica, aumento da oferta de biomassa de cana e biodiesel e redução da oferta de carvão mineral (EPE, 2020a). A Figura 2 apresenta a composição das matrizes energéticas mundial e brasileira. Percebe-se que, apesar da matriz energética brasileira ser mais renovável quando comparada à mundial, a fonte de energia predominante em ambas é a proveniente de petróleo e derivados.

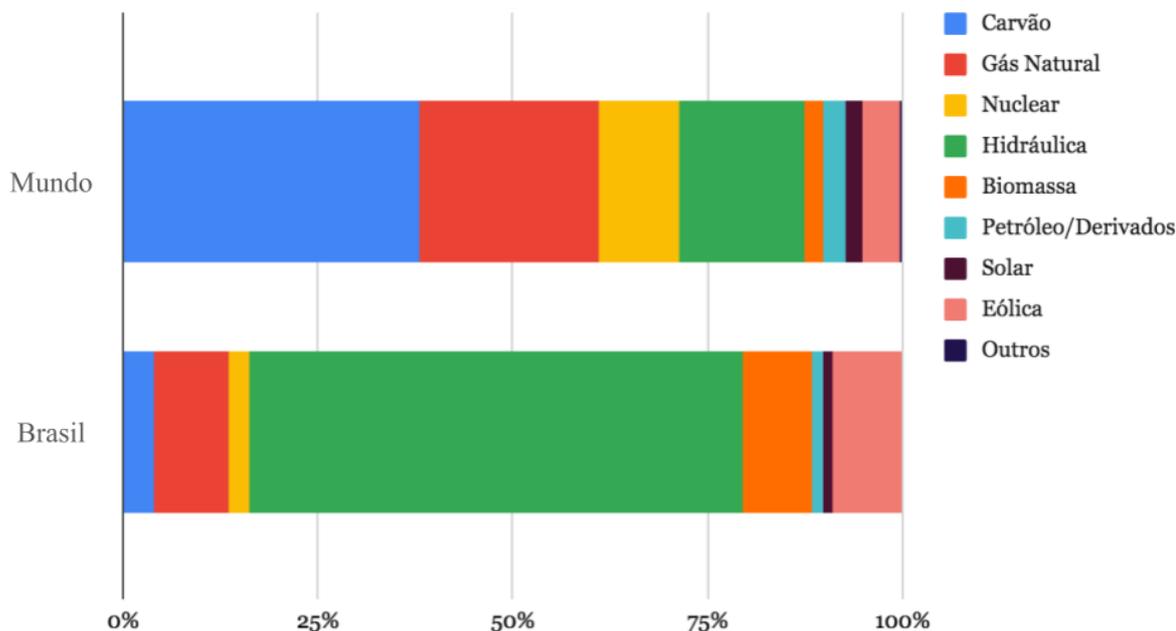
Figura 2 – Matriz energética mundial e brasileira



Fonte: EIA, 2020.

As fontes de geração de energia também podem ser analisadas no contexto da geração de eletricidade. Nesse caso, utiliza-se a chamada matriz elétrica (EPE, 2020b). A matriz elétrica mundial é composta principalmente por combustíveis fósseis (EIA, 2020a). Já no caso da matriz elétrica brasileira as fontes renováveis prevalecem, representando cerca de 82% da matriz (EPE, 2020a). Contudo, boa parte dessa parcela se deve ao uso de uma única fonte de geração, a hidráulica (65,2% da matriz). O percentual de fontes de geração de energia presentes nas matrizes elétricas mundial e brasileira pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Matriz elétrica mundial e brasileira



Fonte: EIA, 2020.

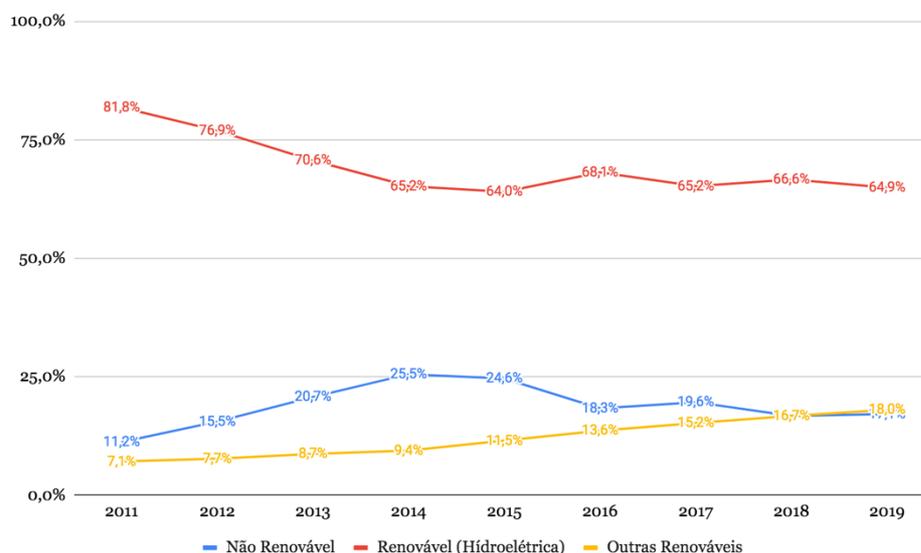
Observa-se que a matriz elétrica brasileira, diferentemente da mundial, é composta principalmente por fontes renováveis de energia. Entretanto, visto que a maior parte da energia é proveniente de uma única fonte de geração, a hidráulica, a matriz elétrica brasileira pode ser considerada como pouco diversificada. Essa baixa diversificação a torna dependente dos fatores climáticos, sobretudo a quantidade de precipitação. Assim, um dos fatores que aumenta a segurança energética de uma determinada matriz é o seu grau de diversificação, visto que a indisponibilidade de uma determinada fonte devido à falta de precipitação, por exemplo, pode ser compensada pela disponibilidade de outra fonte de geração (PAIVA; DE CASTRO; LIMA, 2017).

No Brasil, a sazonalidade da geração hídrica é compensada pela geração térmica. Uma das características da geração térmica é o alto fator de disponibilidade, visto que as usinas termelétricas podem ser acionadas ao longo do ano sem depender de fatores sazonais ou climáticos. Contudo, essa é uma fonte considerada poluente e com o custo elevado quando comparada a outras fontes de geração (PAIVA; DE CASTRO; LIMA, 2017).

A relação de compensação entre as fontes de geração hídrica e térmica na matriz elétrica brasileira pode ser observada na Figura 4. Nota-se uma diminuição da participação das fontes renováveis entre os anos 2011 e 2017. Essa diminuição se deve em grande parte pelas condições hidrológicas desfavoráveis sofridas pelo país nesse período. Vale ressaltar que o

aumento observado entre os anos de 2015 e 2016 não se devem a melhora dessas condições hidrológicas, mas sim a uma diminuição na demanda energética do país devido a retração da economia nesse intervalo de tempo (EPE, 2018).

Figura 4 – Composição da matriz elétrica brasileira entre 2011 e 2019



Fonte: Relatórios do Balanço Energético Nacional de 2012 a 2020.

Os dados apresentados na Figura 4 também mostram que a geração por meio de fontes não renováveis foi contida pelas fontes renováveis não provenientes da fonte hidráulica. De fato, em 2016 e 2017, houve um aumento da participação da geração eólica na matriz elétrica brasileira (EPE, 2018). Além disso, observa-se que a participação das fontes renováveis não provenientes da fonte hidráulica está aumentando ao longo dos anos, visto que passou de 7,1% em 2011 para 18% em 2019 (EPE, 2020a). Esse aumento demonstra que a participação das fontes renováveis não hídricas está aumentando, o que contribui para a diversificação da matriz elétrica brasileira. Esse crescimento é notado também a nível mundial, visto que o aumento da participação das fontes renováveis não hídricas na matriz elétrica brasileira é o maior considerando o cenário mundial no mesmo período de tempo (EPE, 2018; REN21, 2018).

O aumento da participação das fontes renováveis nas matrizes elétricas está alinhado aos objetivos da agenda política global acerca da energia, os quais são: segurança econômica, energética e ambiental (GOMES, 2013; TESKE, 2013). A segurança econômica pode ser entendida como gerar energia elétrica a custo competitivo. Já a segurança energética está relacionada a confiabilidade no fornecimento da energia gerada. Complementando os objetivos dessa agenda está a segurança ambiental, que se refere a minimizar os impactos ambientais decorrentes da geração de energia elétrica (GOMES, 2013; TESKE, 2013).

Devido a contribuição das fontes renováveis de energia para os objetivos da agenda política acerca da energia elétrica, pode-se esperar que essas fontes sejam utilizadas visando a substituição dos combustíveis fósseis, desde que elas possuam viabilidade técnica e econômica. De fato, essa mudança no setor energético, decorrente do maior uso de fontes renováveis, já pode ser observada (CONNOLLY; LUND; MATHIESEN, 2016; KUANG *et al.*, 2016). Por exemplo, em 2016, o Brasil assumiu junto à Organização das Nações Unidas (ONU) o compromisso de aumentar a participação das fontes renováveis na sua matriz energética. O objetivo é que até 2030, cerca de 45% da matriz energética brasileira seja composta por fontes renováveis. Além disso, o país também se comprometeu a aumentar para pelo menos 23% a oferta de fontes renováveis não hídricas, como eólica, biomassa e solar, no mercado doméstico (BRASIL, 2015).

A dependência dos recursos hídricos na matriz elétrica brasileira também pode ser observada nas ações tomadas pelo país quando ocorre uma crise hídrica. O Plano Nacional de Expansão de Energia (PNE) ressalta que uma alternativa para quando os índices dos reservatórios hídricos estiverem críticos é o uso de energia térmica (EPE, 2007). Assim, a energia térmica possui potencial para se destacar no cenário nacional e prover energia elétrica nos momentos de picos do sistema.

Os dados observados nas matrizes energética e elétrica podem servir de insumo para instrumentos de planejamento energético. Um planejamento energético deve procurar formas de assegurar a disponibilidade energética a custos competitivos, observando o conceito da sustentabilidade. De fato, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, os três pilares de referência para o planejamento energético brasileiro são segurança, economicidade e sustentabilidade (BUENO, 2013). Tendo em vista esses pilares e que a geração térmica possui custos elevados quando comparada a gerações alternativas, é necessário que as políticas públicas de planejamento atentem para novas tecnologias. Uma dessas tecnologias é a geração distribuída, apresentada na próxima seção.

2.2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

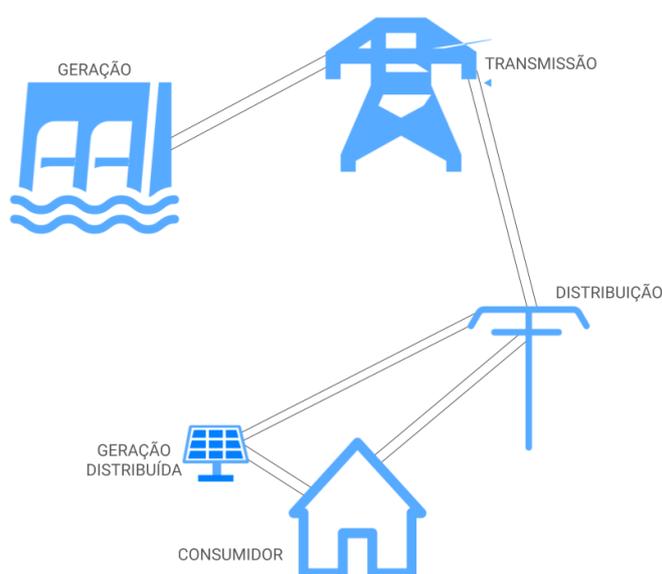
A geração de energia pode ser classificada como centralizada ou distribuída. A geração de energia é centralizada quando possui uma grande fonte geradora. Nesse caso, o fluxo de energia ocorre em uma única direção, da fonte geradora ao consumidor, sendo necessário linhas de transmissão e distribuição. Por outro lado, a geração distribuída ocorre quando há fontes de geração de energia conectadas junto à rede de distribuição de alguma concessionária ou junto

ao consumidor (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001). Complementando essa definição, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) conceitua geração distribuída como:

Centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas - ou não - pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Terminologia usada para um conjunto de tecnologias de geração elétrica eficiente e de porte reduzido, de equipamentos de controle e de armazenamento de eletricidade que aproximam a geração elétrica do consumidor (ANEEL, 2015b, p. 157).

Tradicionalmente, o fornecimento de energia ocorre por meio da geração centralizada. A geração distribuída surgiu na Europa e Estados Unidos há algumas décadas como uma resposta ao crescimento da demanda energética mundial (CAMILO *et al.*, 2017). Além disso, essa nova modalidade de fornecimento é capaz de auxiliar nas variações entre geração e consumo (EHSAN; YANG, 2018). A Figura 5 ilustra as diferenças entre a geração centralizada e a distribuída. Observa-se que, na geração centralizada, uma grande fonte fornece energia para os consumidores por meio de linhas de transmissão e distribuição. Por outro lado, a geração distribuída representada na figura está conectada diretamente ao consumidor, além de compartilhar a energia excedente gerada com a rede de distribuição.

Figura 5 – Geração centralizada e distribuída



Fonte: Elaborado pela autora

A geração distribuída a partir de fontes renováveis tem crescido de forma constante no cenário da geração de eletricidade, tanto em termos de desenvolvimento tecnológico quanto de

investimentos (LORA; HADDAD, 2006; REN21, 2020). Um país sul-americano que se destaca no uso de energias de fontes renováveis é o Chile. A transformação da matriz energética chilena se deu principalmente devido as restrições de abastecimento de gás natural por parte da Argentina. Nesse cenário, duas leis foram desenvolvidas, a Lei Curta I e a Lei Curta II. Essas leis têm por objeto a isenção dos custos de transmissão para geradores de energia inferiores a 9 megawatts de capacidade e a criação de um sistema de licitações, o qual estabelece a compra de energia de pequenas empresas geradoras por parte das empresas distribuidoras. Somando-se a esse cenário legislativo, em 2008 o Chile estabeleceu a Lei 20.257, que trata das fontes renováveis de energia não convencionais. De acordo com essa lei, um percentual da energia negociada por empresas com capacidade superior a 20 megawatts deve ser de fontes renováveis não convencionais (CEMIG, 2012).

A geração distribuída a partir de fontes renováveis corresponde atualmente por cerca de 1% da geração mundial de eletricidade (REN21, 2020). Suas instalações, geralmente dispersas e em pequena escala, estão aumentando ao redor do mundo (IRENA, 2019). Esse aumento traz oportunidades e desafios. Em termos de oportunidades, há a possibilidade de consumidores individuais e empresas gerarem sua própria energia. Essa prática, atrelada a sistemas de armazenamento, diminui a dependência desses consumidores da rede de distribuição, o que pode gerar maior confiabilidade no fornecimento de energia e redução de custos. Outro benefício da geração distribuída por meio de fontes renováveis de energia é o aumento da flexibilidade da rede e uma menor restrição durante os horários de pico de demanda (REN21, 2020). Como contraponto, há o desafio da integração dessas novas fontes de geração junto à rede de distribuição, bem como a sua operação e a necessidade de gerenciar o impacto de novas instalações nas redes existentes (IEA, 2020).

As políticas de incentivo à geração distribuída possuem diferentes objetivos dependendo da maturidade do mercado em que se encontram. Em mercados maduros, ou seja, onde há uma parcela significativa de fontes renováveis de energia instaladas, as políticas versam sobre a integração da geração distribuída em termos técnicos e mercadológicos. Essas políticas têm por objetivo mitigar os impactos do aumento da parcela de energia variável renovável junto à rede de distribuição, o que inclui a geração distribuída em pequena escala. Por outro lado, em mercados onde as instalações com fontes renováveis ainda são insipientes, o cerne das políticas está na promoção do aumento da capacidade e geração de fontes renováveis de energia, visando o atendimento da demanda por energia básica, bem como a geração de empregos e a segurança energética (REN21, 2020).

Entre as políticas utilizadas para promover o aumento da implantação de tecnologias voltadas à geração distribuída estão os mandatos solares, o *net metering* e a tarifa *feed-in*, bem como políticas solares comunitárias e políticas de comissão de serviços públicos, as quais têm por objetivo a modernização das redes de transmissão e distribuição (IRENA, 2019). Em 2019, o estado da Califórnia, nos Estados Unidos, implementou um novo mandato solar. Esse mandato estabelece que a energia solar fotovoltaica de telhado deve estar presente na maioria das novas casas (MOENCH, 2019; REN21, 2020). Essa política também foi replicada na cidade de Nova York, que adotou um mandato solar fotovoltaico para novos empreendimentos e construções submetidas a certos tipos reformas (REN21, 2020).

Os Estados Unidos também possuem uma lei federal que regulamenta a atividade de consumidores conectados à rede de distribuição que também geram energia para consumo próprio. De acordo com essa lei, as empresas distribuidoras devem comprar o excedente de energia gerado por esses consumidores (CEMIG, 2012). Esse sistema de compensação de energia, também chamado de *net metering*, foi adaptado para a realidade do Brasil. O conceito do sistema de compensação de energia é apresentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na Resolução Normativa 517/2012:

Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda (ANEEL, 2012, p. 1).

A política do *net metering* beneficia muitas instalações residenciais e comerciais de pequena escala. No final de 2019, 70 países tinham políticas de *net metering* em nível nacional e várias províncias nos Estados Unidos e Canadá também tinham políticas em nível subnacional (REN21, 2020). Na Europa, a Albânia introduziu seu primeiro programa de *net metering*, enquanto a Turquia iniciou um programa de *net metering* para sistemas solares com menos de 10 quilowatts de capacidade (BELLINI, 2019a, 2019c). Outro país que introduziu políticas sobre o tema foi o Quênia, na África. A legislação criada versa sobre distribuidores e varejistas disponibilizarem a possibilidade do *net metering* para os clientes (REN21, 2020). Além disso, o estado indiano de Goa concluiu sua legislação sobre o *net metering* (PRATEEK, 2019). Apesar desses resultados a favor da política do *net metering*, algumas localidades cancelaram

seus programas, como o estado de Michigan, nos Estados Unidos e a província de Saskatchewan, no Canadá (PASIUK, 2019; SYLVIA, 2019).

Um mecanismo que vem crescendo é o *virtual net metering*, visto que essa prática contribui para a gestão de projetos de energia compartilhada, onde mais de um cliente pode receber créditos vinculados a um mesmo sistema distribuído (NREL, 2020; REN21, 2020). O *virtual net metering* utiliza o mesmo mecanismo de compensação e de faturamento que o *net metering* tradicional, porém, sem exigir que o sistema geral distribuído de um cliente esteja localizado diretamente no local (REN21, 2020). Nos Estados Unidos, pelo menos 16 estados desenvolveram legislações para esse novo mecanismo, incluindo o Novo México, que aprovou uma lei que permite o desenvolvimento de projetos solares comunitários (GOLDEN, 2019). Além disso, a Espanha aprovou uma nova regulamentação que permite que vários consumidores sejam associados a uma única instalação, independentemente de onde a eletricidade é gerada (MOLINA, 2019).

A Espanha é um dos países europeus que se destaca pela geração de energia a partir de sistemas fotovoltaicos. Entre as leis criadas para a viabilização e crescimento da geração distribuída, destacam-se os Decretos 661/2007 e 1578/2008, os quais incentivam as fontes de energia renováveis. Especificamente, o Decreto 1578/2008 regulamenta a tarifação dos sistemas fotovoltaicos residenciais (CEMIG, 2012). Além do sistema de compensação de energia, a Espanha também conta com o procedimento da tarifa *feed-in*. Nesse caso, os produtores têm a possibilidade de vender a energia gerada por uma determinada tarifa, que varia conforme o tipo de energia utilizado. Os produtores que utilizam fontes renováveis de energia possuem uma tarifa mais vantajosa, assegurada por um determinado período de tempo (ANEEL, 2010).

As políticas envolvendo a tarifa *feed-in* também foram testadas em outros países. Por exemplo, o Japão oferece esse tipo de benefício para geração renovável em pequena escala, bem como para empreendimentos que utilizam fontes geotérmicas e de biomassa (RICHTER, 2019). Já o Reino Unido criou uma política para garantir que usinas de fontes renováveis de energia de pequena escala sejam pagas pela exportação de eletricidade para a rede (RACK, 2019). Também, o país europeu Luxemburgo aumentou suas tarifas *feed-in* para a maioria dos geradores de energia solar fotovoltaica, sendo que os sistemas solares fotovoltaicos de pequena escala foram os principais beneficiários da nova legislação (ROLLET, 2019). Recentemente, a cidade de Los Angeles, no estado da Califórnia, Estados Unidos, também se comprometeu em

expandir sua política para a tarifa *feed-in* com o objetivo de incluir empreendimentos que acoplem baterias aos seus sistemas de geração solar fotovoltaica (ROSELUND, 2019).

Outros aspectos que podem estimular o investimento na geração distribuída a partir de fontes renováveis de energia são os incentivos financeiros e a compra de eletricidade por parte das concessionárias (REN21, 2020). Em relação aos incentivos financeiros, em 2019 a Polônia lançou um programa de descontos para energia solar fotovoltaica residencial que concederá descontos para projetos fotovoltaicos residenciais variando de 2 a 10 kilowatts de capacidade (BELLINI, 2019b). Já em relação a compra de eletricidade por parte das concessionárias, recentemente o Canadá e os Estados Unidos divulgaram políticas exigindo que as concessionárias considerassem a geração distribuída a partir de fontes renováveis em seus planos de investimento. Essas políticas têm por objetivo incentivar as concessionárias a aproveitar as vantagens da geração distribuída renovável e reduzir os custos do cliente (REN21, 2020).

Diante do cenário exposto, percebe-se que a geração distribuída transformou a configuração do sistema de energia, de modo que houve uma mudança nos atores desse sistema e o desenvolvimento de novos procedimentos. Com a geração distribuída, o consumidor também assume o papel de gerador de eletricidade, contribuindo de forma ativa no mercado de energia em aspectos técnicos e comerciais (CAMILO *et al.*, 2017). No Brasil, a inserção desses consumidores no mercado de energia se dá principalmente por meio da micro e minigeração distribuída. Para a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a microgeração distribuída se refere a centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada até 75kW, que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis e que estejam conectadas à rede por meio de unidades consumidoras. Já a minigeração distribuída se refere a centrais geradoras com potência instalada entre 75 kilowatts e 5 megawatts (ANEEL, 2015c, 2017). No Brasil, há cerca de 310 mil usinas de micro e minigeração distribuída instaladas, as quais representam um potencial instalado de 3.895 megawatts (ANEEL, 2020c). Cabe destacar que a responsabilidade pelos aspectos técnicos e financeiros dos sistemas de medição de microgeração distribuída cabe às distribuidoras (ANEEL, 2015c).

Dentre as fontes renováveis utilizadas pelas instalações de micro e minigeração distribuída, destaca-se a energia solar fotovoltaica, responsável por 99% do total de empreendimentos instalados no Brasil (ANEEL, 2020c). Essas instalações são viabilizadas tecnologicamente a partir de um ou mais módulos fotovoltaicos, também chamados de placa solar fotovoltaica e de um equipamento chamado inversor, responsável pela conversão da

energia elétrica e sua integração com a rede de distribuição. Atualmente, o Brasil precisa importar esses equipamentos, visto que a produção nacional não é capaz de suprir totalmente a demanda desses itens (GREENER, 2019).

Outro aspecto importante na viabilidade da geração distribuída fotovoltaica é a radiação solar. No caso do Brasil, há uma alta incidência de radiação solar ao longo de todo o ano, além de uma grande área geográfica favorável para este tipo de empreendimento (DE AZEVEDO DIAS *et al.*, 2017; ECHEGARAY, 2014). A geração solar fotovoltaica oferece alguns benefícios, tais como um curto período para implementação das instalações, incentivos fiscais e condições sociais e ambientais favoráveis (DE FARIA JR; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017). Além disso, esse tipo de fonte é capaz de equilibrar a geração de energia no Brasil, visto que a maior parte da matriz elétrica brasileira é composta pela fonte hidráulica e o período de escassez de precipitação usualmente culmina com os maiores períodos de radiação solar (FERREIRA *et al.*, 2018).

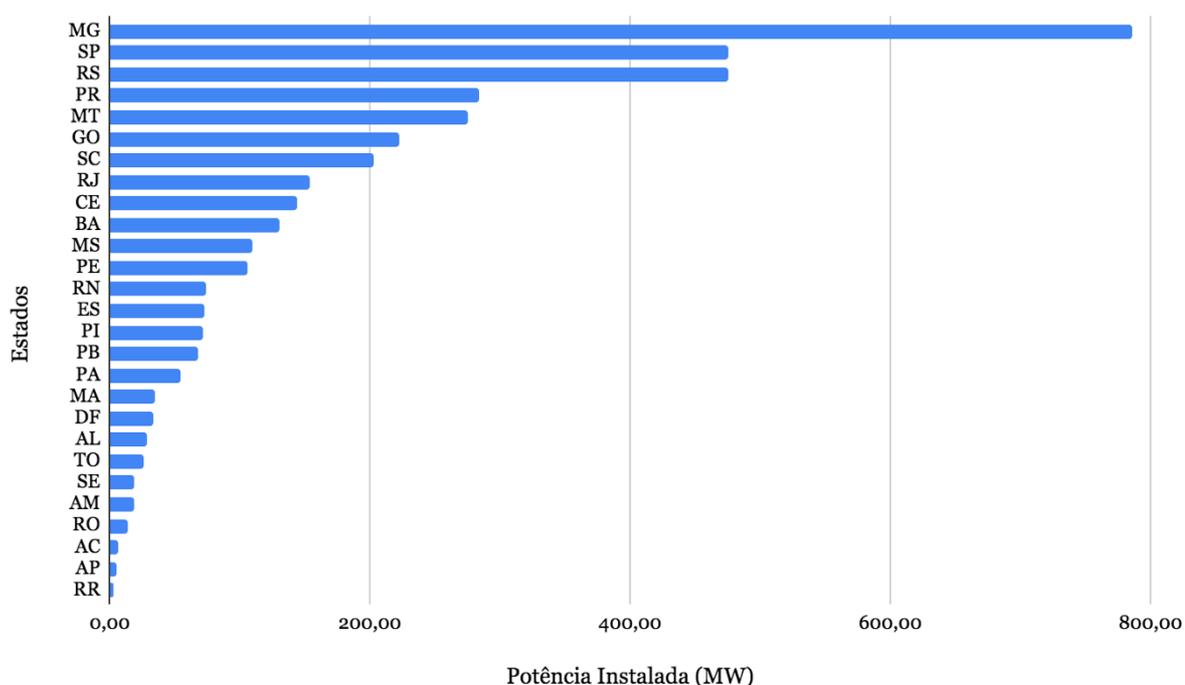
Em relação aos aspectos regulatórios, o Brasil possui políticas específicas para a geração distribuída. Analisar o cenário político e regulatório do país é essencial, visto que incentivos e regulamentações podem afetar o crescimento da geração distribuída no território (EPE, 2013). Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução 482/2012 com o objetivo de regulamentar o acesso à micro e minigeração distribuída no país (ANEEL, 2012b). Posteriormente essa resolução foi revisada, dando origem as Resoluções 687/2015 e 786/2017. Essas resoluções apresentam os conceitos de micro e minigeração distribuída e sistema de compensação, já apresentados neste capítulo. Acerca do sistema de compensação, que permite que o excedente da energia gerada seja descontado da cobrança de energia elétrica executada pela distribuidora por meio de créditos, cabe destacar que o prazo de validade desses créditos é de 60 meses e que a fatura de energia contempla impostos a parte desse desconto (ANEEL, 2015c; CAMILO *et al.*, 2017).

A Resolução 687/2015 apresenta definições para empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto. No empreendimento com múltiplas unidades consumidoras cada fração com uso individualizado constitui uma unidade consumidora. Além disso, as instalações para atendimento das áreas de uso comum formam uma unidade consumidora distinta, sob responsabilidade do proprietário do empreendimento. Nesse tipo de arranjo, as unidades consumidoras devem estar localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas (ANEEL, 2015c).

Na geração compartilhada, os consumidores estão reunidos dentro de uma mesma área de concessão ou permissão, por meio de um consórcio ou cooperativa. Nesse arranjo, a unidade de micro ou minigeração distribuída encontra-se em um local distinto das unidades consumidoras onde a energia excedente será compensada. Já o sistema de autoconsumo remoto é caracterizado por unidades consumidoras de uma mesma titularidade, localizadas dentro de uma mesma área de concessão ou permissão (ANEEL, 2015c).

Em relação às características das instalações de micro e minigeração distribuída, podem ser destacados aspectos relativos às localidades com a maior potência instalada, bem como a classe de consumo e modalidade de geração dessas instalações. A Figura 6 apresenta os dados relativos às localidades com maior potência instalada.

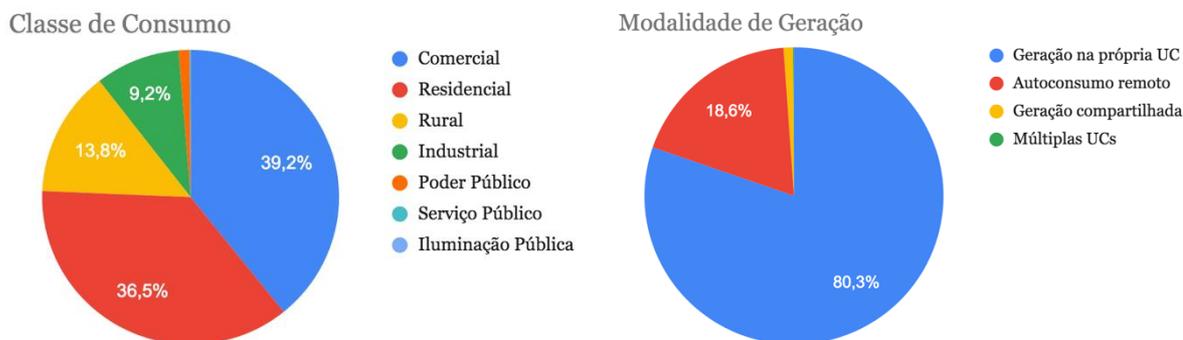
Figura 6 – Localidades com maior potência instalada de micro e minigeração distribuída no Brasil



Fonte: ANEEL, 2020b.

Percebe-se que os estados que somam a maior concentração em termos de potência instalada são Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul. Por outro lado, os estados com menor a menor potência instalada são Acre, Amapá e Roraima. Complementando essas informações, a Figura 7 apresenta os dados relativos à classe e modalidade das instalações de micro e minigeração distribuída.

Figura 7 – Classe e modalidade das instalações de micro e minigeração distribuída no Brasil



Fonte: ANEEL, 2020b.

Em relação a classe de consumo das instalações, destacam-se a classe comercial e a residencial, com 1.527 e 1.419 megawatts de potência instalada, respectivamente. Já em relação a modalidade de geração das instalações, ressalta-se a geração na própria unidade consumidora, correspondendo a 80,3% do total da potência instalada no país (ANEEL, 2020c).

Observa-se que a geração distribuída elevou a complexidade da distribuição de energia elétrica, visto que aumentou a quantidade de atores e elementos legislatórios no sistema. Além disso, o papel dos atores também foi modificado, uma vez que os consumidores passaram a atuar como geradores de energia. Dado esse cenário, cabe analisar essa situação sob uma perspectiva sistêmica. Para isso, a próxima seção irá apresentar os conceitos e métodos necessários para essa análise.

2.3. PENSAMENTO SISTÊMICO

As estruturas que compõem a realidade são complexas e interligadas. Compreender o funcionamento desse sistema é essencial para construir políticas e realizar mudança efetivas (STERMAN, J D, 2000). Em um sistema complexo, observa-se que o comportamento da estrutura como um todo é maior e distinto da soma do desempenho individual de cada um de seus elementos (FLOOD, 2010; GARCÍA; CARO, 2009).

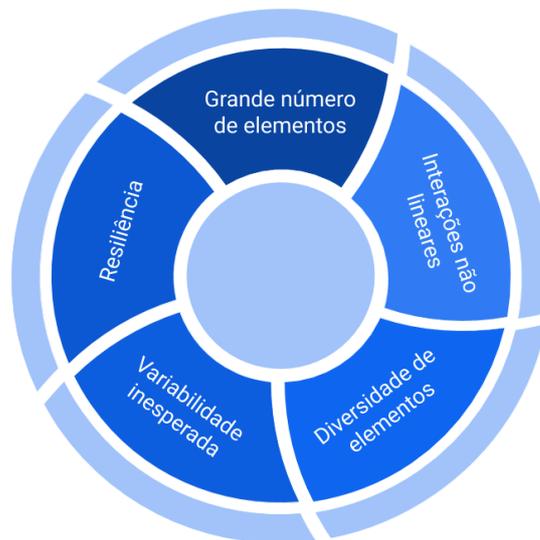
É provável que a totalidade de um sistema complexo não possa ser totalmente conhecida (CILLIERS; SPURRETT, 1999). Devido à complexidade da rede de interações de causalidade nesses sistemas, observa-se que, isoladamente, os atores possuem pouco controle sobre ele, entretanto, suas ações podem influenciar boa parte do sistema (DEKKER *et al.*, 2013).

A modelagem dos sistemas organizacionais e seus processos sociais requer uma abordagem sistêmica, visto que este tipo de perspectiva oferece meios para responder a complexidade desse tipo de sistema (DEMCZUK; PADULA, 2017; FORRESTER JAY, 1961). Nos sistemas complexos, o foco do estudo deve ser nos sintomas dos problemas, visto que há um intervalo de tempo entre a causa ou decisão tomada e seu respectivo efeito no sistema (GARCÍA; CARO, 2009; STERMAN, John D, 2002).

O termo “teoria da complexidade” pode ser entendido como um conceito abrangente, que abarca os princípios do pensamento sistêmico, da teoria dos sistemas sociotécnicos, entre outras teorias (BRAINARD; HUNTER, 2015). Assim, a teoria da complexidade não se trata de um conceito único, mas sim de uma abordagem para modelagem e compreensão de sistemas (MOREL; RAMANUJAM, 1999).

Os sistemas complexos que possuem interação com o meio ambiente e com pessoas podem ser considerados como sistemas sociotécnicos complexos. Esses sistemas podem ser descritos a partir de atributos. A Figura 8 apresenta os atributos definidos por Saurin, Rooke e Koskela (2013), a partir de uma compilação de outros autores, como (CILLIERS; SPURRETT, 1999; DEKKER, 2003).

Figura 8 – Atributos de Sistemas Sociotécnicos complexos



Fonte: Adaptado de Saurin, Rooke e Koskela (2013).

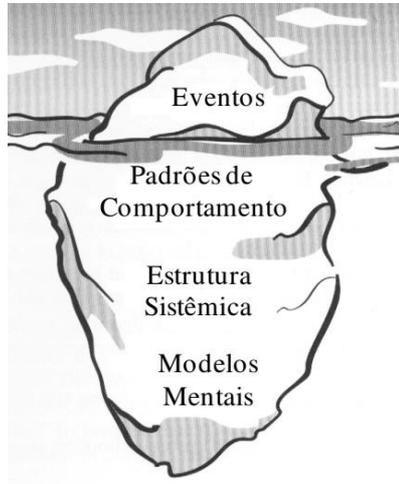
O primeiro atributo citado é o grande número de elementos. Esse atributo se deve ao fato de que sistemas sociotécnicos complexos possuem uma série de elementos, tais como equipamentos, tecnologia, pessoas, procedimentos e legislações. Devido as interações nesses

sistemas serem não lineares, pequenas mudanças podem alterar o comportamento do sistema de forma considerável. A diversidade dos elementos se refere a variedade com que esses elementos podem ser categorizados, por exemplo, níveis hierárquicos, divisão de tarefas e entradas e saídas. O atributo variabilidade inesperada ocorre pois os sistemas complexos são sistemas abertos. Dessa forma, esses sistemas interagem com o seu ambiente, aumentando a variabilidade. O último atributo é a resiliência, que se refere a capacidade do sistema do sistema se adaptar em caso de falhas ou adversidade (SAURIN; ROOKE; KOSKELA, 2013).

Uma das abordagens que pode ser utilizada para a compreensão dos sistemas complexos é o pensamento sistêmico (CABRERA; COLOSI; LOBDELL, 2008; MORANDI, 2017). O pensamento sistêmico pode ser entendido como uma ferramenta de diagnóstico que procura analisar as variáveis que influenciam determinado problema ou fenômeno (GOODMAN, Michel, 1997). O pensamento sistêmico proporciona aprendizado sobre o problema estudado e permite a proposição de soluções a partir da interpretação dos acontecimentos pela ótica do investigador (CABRERA; COLOSI; LOBDELL, 2008; MORECROFT, 2015). Ao contrário do reducionismo que procura compreender o problema estudado por meio da sua divisão em partes menores, o pensamento sistêmico busca analisar a inter-relação do todo, incluindo a hierarquia de sistemas e *feedbacks* (FLOOD, 2010; MINGERS; WHITE, 2010).

Uma das premissas do pensamento sistêmico é que a realidade é compreendida a partir de níveis de percepção ou camadas (KEMENY; GOODMAN; KARASH, 1997). Os níveis de percepção da realidade são apresentados na Figura 9 por meio da comparação com a metáfora do iceberg, conforme proposto por Andrade (2006). Observa-se que, no nível visível, estão os chamados eventos. Os eventos são acontecimentos percebidos pelas pessoas envolvidas na situação. Abaixo da linha visível, temos os níveis do padrão de comportamento, estrutura sistêmica e modelos mentais. Esses quatro níveis de percepção estão relacionados, visto que os eventos podem ser entendidos como variações nos padrões de comportamento, os quais são explicados pela estrutura sistêmica, cuja construção é realizada por meio dos modelos mentais (KEMENY; GOODMAN; KARASH, 2000). Ao aprofundar o conhecimento sobre determinado fenômeno por meio dos níveis de percepção da realidade, pode-se compreender o sistema como um todo, priorizando a perspectiva dos inter-relacionamentos ao invés dos eventos (ANDRADE, 2006; SENGE, 2006).

Figura 9 – Níveis de compreensão da realidade



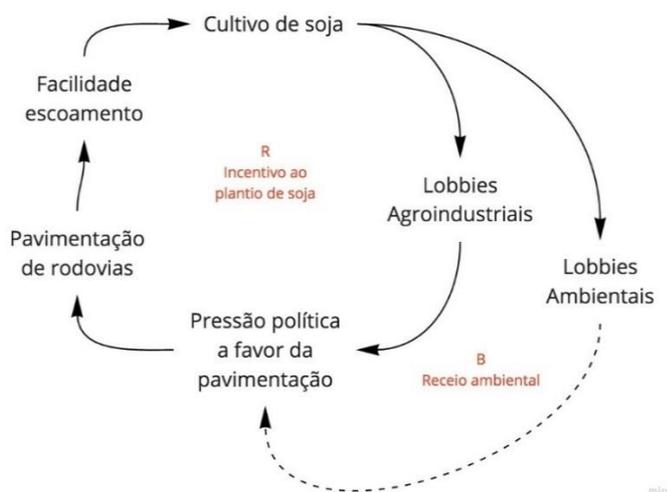
Fonte: Andrade (2006).

Para que o pensamento sistêmico possa ser aplicado em determinada investigação, é necessário compreender o que é conhecimento como linguagem sistêmica. A linguagem sistêmica utiliza atributos ou símbolos para representar o relacionamento entre as variáveis presentes no sistema, de modo que as relações de causalidade são representadas por setas (ANDRADE, 2006; SENGE, 2006). As variáveis presentes do sistema podem ser classificadas como dependentes, quando correspondem ao efeito ou independentes, quando causam o efeito. As setas partem da variável dependente para a variável independente, de modo a formar uma relação de causalidade. As variáveis podem ser conectadas por meio de setas contínuas, que representam relações diretamente proporcionais ou setas tracejadas que representam relações inversamente proporcionais (ANDRADE, 2006). Um exemplo de relação direta ou proporcional é: *quando aumenta A (causa do efeito), aumenta B (efeito)*. Por outro lado, as relações inversamente proporcionais são lidas da seguinte forma: *quando aumenta A (causa do efeito), diminui B (efeito)*. Além disso, o relacionamento entre duas variáveis também pode ser analisado em termos da sua instantaneidade. Assim, para representar relações que geram variações com atraso, adiciona-se dois traços perpendiculares à seta que conecta as duas variáveis em questão (ANDRADE, 2006).

Embora as relações de causa e efeito sejam lineares quando vistas de forma isolada, o conjunto das relações do sistema é representado de forma circular, sendo possível observar os padrões que melhoram ou pioram as situações (SENGE, 2006). Existem dois tipos de relação circular: as relações de reforço e as de balanceamento. Nas relações de reforço observa-se um

processo de crescimento ou diminuição, enquanto nas relações de balanceamento observa-se processos que levam ao equilíbrio ou ao limite de crescimento das variáveis (ANDRADE, 2006). Um exemplo de um diagrama de enlace causal, ou estrutura sistêmica, que representa a estrutura do sistema estudado, é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Exemplo de estrutura sistêmica



Fonte: Adaptado de Andrade (2006)

O diagrama apresentado na Figura 10 representa o desafio da sustentabilidade vinculado a pavimentação de uma rodovia visando o melhor escoamento da produção de soja (ALENCAR, 2005). Podem ser observados duas relações circulares, ou enlaces (ANDRADE, 2006). O primeiro enlace é do tipo reforçador, e foi nomeado como “incentivo ao plantio de soja”. Nesse enlace, o cultivo de soja incentiva os *lobbies* agroindustriais, o que por sua vez aumenta a pressão política a favor da pavimentação da rodovia. A pressão a favor pavimentação aumenta as rodovias pavimentadas, crescendo a facilidade de escoamento. Fechando o enlace, observa-se que a facilidade de escoamento induz a um maior cultivo de soja. Por outro lado, o segundo enlace apresentado no diagrama é do tipo balanceador e traz equilíbrio ao sistema por meio da variável *lobbies* ambientais. Essa variável, que pode representar o estresse causado ao sistema devido ao aumento do desmatamento e emissões de dióxido de carbono (CO₂), limita o crescimento das demais variáveis presentes no sistema.

O uso de diagramas de enlaces causais possibilita que diferentes temas dentro de um mesmo sistema sejam conectados, além de proporcionar uma imagem compartilhada do fenômeno estudado (GOODMAN, Michel, 1997; STROH, 2000). Após compreender a linguagem sistêmica por trás do pensamento sistêmico, faz-se necessário compreender o método para sua operacionalização. O conjunto de passos necessários para a operação do

pensamento sistêmico se chama Método Sistêmico (GOODMAN, Michael; KARASH, 1995). Nesse método, o resultado de cada etapa serve de insumo para a etapa seguinte, de modo que sua execução possibilita o entendimento dos fluxos que definem a realidade. O método proposto por Andrade (2006), chamado de Pensamento Sistêmico e Planejamento por Cenários possui nove etapas, representadas na Figura 11.

Figura 11 – Método Pensamento Sistêmico e Planejamento por Cenários

1	Definir uma Situação Complexa de Interesse		Nível de percepção da realidade
2	Apresentar a História Através de Eventos	Eventos	
3	Identificar as Variáveis-chave	Padrões de Comportamento	
4	Traçar os Padrões de Comportamento		
5	Desenhar o Mapa Sistêmico	Estrutura Sistêmica	
6	Identificar Modelos Mentais	Modelos Mentais	
7	Realizar Cenários		
8	Modelar em Computador		
9	Definir Direcionadores Estratégicos, Planejar Ações e Reprojeter o Sistema		

Fonte: Adaptado de Andrade (2006)

Na primeira etapa, **definir uma situação complexa de interesse**, um fenômeno deve ser escolhido para investigação. Deve-se obter uma definição clara de uma situação de interesse, ou seja, um problema relevante para a organização ou para o contexto em que o investigador está inserido (ANDRADE, 2006). Cabe ao investigador delimitar o sistema de modo que esse corresponda aos objetivos da pesquisa (CHECKLAND, 1985). Vale ressaltar que o pensamento sistêmico não é adequado a todas as situações. Esse método deve ser aplicado especialmente em situações complexas, onde o sistema possui mais de uma dimensão, há um número elevado de variáveis interconectadas de forma circular ou intervalos de tempo entre uma determinada causa e seu efeito (ANDRADE, 2006). Na segunda etapa deve-se **apresentar a história através de eventos**. Devem ser listados eventos relevantes que possam explicar o fenômeno estudado, de modo que a história da situação possa ser construída e compartilhada (ANDRADE, 2006).

Na terceira etapa, **identificar as variáveis chave**, o nível de percepção da realidade passa dos eventos para os padrões de comportamento. Conforme explica Andrade (2006), um

evento pode ser entendido como uma mudança de comportamento em pelo menos uma variável relevante para a situação estudada. A quarta etapa se refere a **traçar os padrões de comportamento**. Para atingir esse objetivo, devem ser coletados dados que componham séries históricas das variáveis escolhidas. A análise de séries históricas contribui para uma maior compreensão do problema, uma vez que é possível observar tendências e projeções que podem levar a causa dos comportamentos observados (ANDRADE, 2006).

A quinta etapa, **desenhar o mapa sistêmico**, as relações de causalidade são identificadas. Conforme Andrade (2006), essa identificação se dá a partir da análise dos dados coletados, hipóteses preliminares e conhecimento do investigador, podendo-se fazer uso de ferramentas como diagrama de *Ishikawa*, 5 porquês, mapa cognitivo, entre outras. Uma vez que as relações de causalidade foram identificadas, elas podem ser modeladas por meio linguagem sistêmica, formando o diagrama de enlace causal.

A sexta etapa, **identificar modelos mentais**, tem por objetivo identificar os pressupostos dos atores do sistema que afetam a situação estudada (ANDRADE, 2006). Para isso, é necessário identificar os atores chave e seus modelos mentais, os quais podem ser adicionados ao diagrama de enlace causal. Na sétima etapa, **realizar cenários**, são construídos cenários alternativos de futuro a partir de forças identificadas no momento presente (ANDRADE, 2006). A construção de cenários tem por objetivo definir estratégias de atuação para as possibilidades identificadas e gerar aprendizado (SARITAS; NUGROHO, 2012).

A oitava etapa, **modelar em computador**, se trata de projetar a estrutura sistêmica e os cenários em *softwares* de dinâmica de sistemas. Dessa forma, é possível simular diferentes estratégias e seu efeito ao longo do tempo, minimizando os riscos e custos envolvidos (ANDRADE, 2006). Na nona etapa, deve-se **definir direcionadores estratégicos, planejar ações e reprojetar o sistema**. Conforme Andrade (2006), os direcionadores estratégicos são orientações que podem ser aproveitadas para fins de planejamento. O ato de planejar ações permite que atividades e programas sejam definidos a fim de atingir o objetivo definido para o sistema. Já a ação de reprojetar o sistema consiste em alterar a estrutura a fim de obter um resultado desejado, considerando-se o impacto sistêmico dessa alteração.

A utilização do método sistêmico permite que os esforços sejam direcionados ao objetivo desejado ao final do processo de investigação, promovendo a aprendizagem (ANDRADE, 2006). Entretanto, o método deve ser adaptado ao contexto da investigação, sendo possível incluir ou suprimir suas etapas em conformidade com o fenômeno estudado (DE LIMA; LACERDA; SELLITTO, 2017). Além disso, outros métodos podem ser incorporados

ao processo a fim de enriquecer o desenvolvimento da investigação (MINGERS; WHITE, 2010).

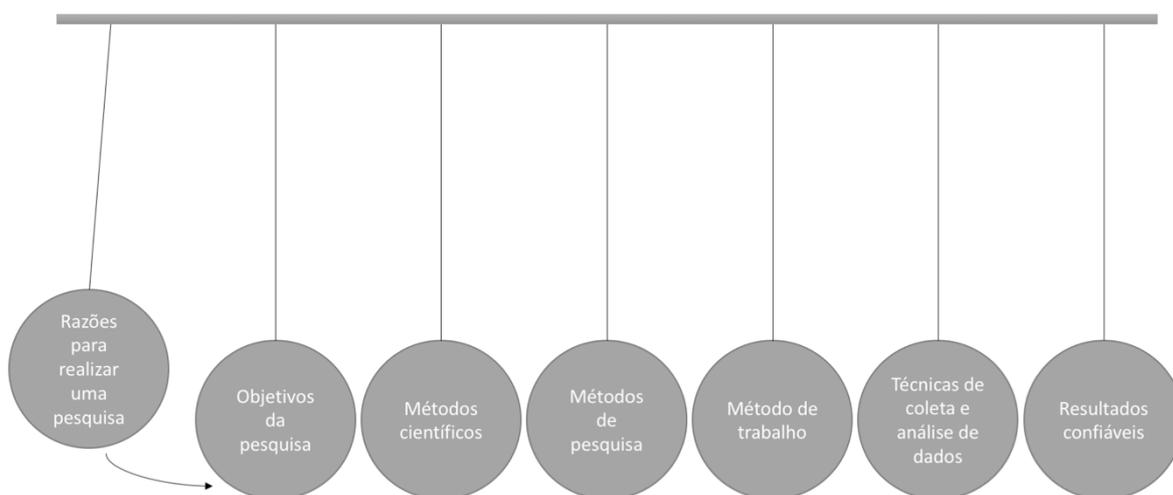
3. METODOLOGIA

As pesquisas científicas têm por objetivo o refinamento de teorias ou a resolução de problemas, utilizando para isso uma investigação sistemática (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). Este capítulo está dividido em duas seções. A primeira apresenta o delineamento desta pesquisa, ou seja, seu enquadramento metodológico. A segunda seção apresenta o método de trabalho e suas etapas.

3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para viabilizar a produção de conhecimento científico, o pesquisador deve explicitar as decisões metodológicas tomadas para a condução do estudo. As decisões metodológicas definidas em cada etapa da pesquisa possuem uma relação de dependência entre si, como pode ser ilustrado pelo modelo proposto por Dresch, Lacerda e Júnior (2015). Esse modelo, apresentado na Figura 12, utiliza o pêndulo de Newton para ilustrar o encadeamento e a necessidade de coerência nas decisões tomadas.

Figura 12 – Pêndulo para realização de pesquisas científicas.



Fonte: Dresch, Lacerda e Júnior (2015).

A realização de pesquisas científicas pode ser motivada por diferentes fatores, por exemplo: divulgar uma solução encontrada para uma questão importante ou o estudo profundo de algum fenômeno (BOOTH; COLOMB; WILLIAMS, 2008). A razão para a realização desta pesquisa baseia-se no interesse de entender sistemicamente o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição brasileiro. Para isso, esta pesquisa possui uma abordagem qualitativa, visto que se propõe estudar em profundidade uma situação específica. A pesquisa qualitativa estuda fenômenos que não podem ser quantificados e procura compreender a dinâmica das

relações do objeto pesquisado (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Assim, entre as características da pesquisa qualitativa estão a objetivação dos fenômenos e o respeito ao caráter interativo dos objetos analisados.

Os objetivos deste estudo podem ser enquadrados como exploratório e descritivo, uma vez que esta pesquisa procura explicitar o tema estudado e descrever suas relações (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; JOSÉ, 2016). Em relação à natureza, esta pesquisa enquadra-se como aplicada, visto que procura soluções para um problema real (GIL, 2017). Para isso, o método científico que orienta essa pesquisa é o indutivo, visto que faz uso da observação e coleta de dados de casos concretos a fim de estruturá-los em um modelo (CERVO; BERVIAN, 2011).

O método de pesquisa adotado nesta investigação é o estudo de caso, uma vez que se espera estudar uma determinada situação em profundidade (DA FONSECA, 2002). O estudo de caso é um método de pesquisa empírico, baseado em múltiplas fontes de evidência e utilizado para investigações de fenômenos contemporâneos, principalmente quando os limites entre esse fenômeno e o seu contexto não estão claramente definidos (EISENHARDT; GRAEBNER, 2007; YIN, 2015). Além disso, os fenômenos estudados por meio do estudo de caso normalmente são de natureza complexa e estão dentro de um contexto real (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

O projeto de estudo de caso empregado nesta pesquisa é o caso único holístico, em razão do fenômeno estudado ser representativo e a investigação se concentrar em examinar a sua natureza global (YIN, 2015). Nesta pesquisa, o caso estudado é o impacto da geração distribuída no contexto do sistema de distribuição de energia.

As técnicas de coleta de dados selecionadas neste estudo são a pesquisa bibliográfica e entrevistas. A pesquisa bibliográfica permite que o pesquisador examine o que já foi discutido sobre o tema e avalie estes resultados sob uma nova ótica (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). Já as entrevistas são utilizadas para investigar uma determinada situação e podem ser classificadas como estruturadas ou não estruturadas (DICICCO-BLOOM; CRABTREE, 2006). As entrevistas complementam os resultados encontrados na pesquisa bibliográfica, visto que os sujeitos entrevistados podem prover informações que usualmente não são encontradas em revisões de literatura (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

As informações coletadas devem ser avaliadas por meio de técnicas de análise de dados, sendo que, neste estudo, a técnica escolhida foi a análise de conteúdo. A análise de

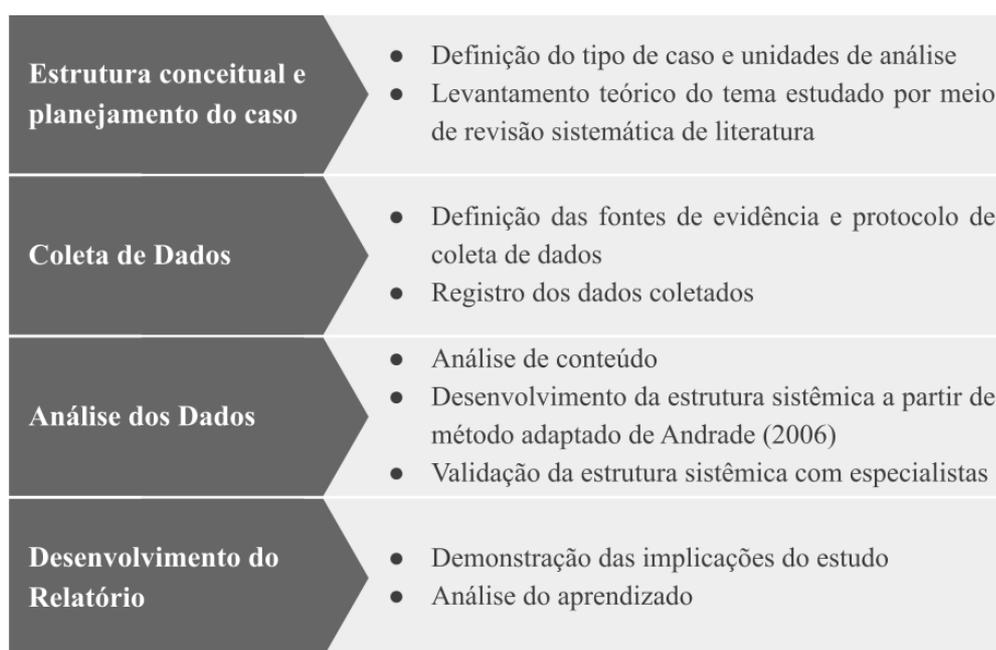
conteúdo permite descrever o conteúdo da mensagem, seja ela de fonte bibliográfica ou entrevista, de forma sistemática (BARDIN, 2011). Por meio da análise de conteúdo, as informações coletadas são organizadas em categorias e indicadores quantitativos, que permitem inferir resultados sobre o fenômeno estudado (CAPPELLE; MELO; GONÇALVES, 2003).

A estratégia de pesquisa apresentada por meio do pêndulo de Newton tem por objetivo viabilizar a produção de conhecimento científico, destacando a relação de dependência entre as etapas da pesquisa e fornecendo insumos para resultados confiáveis. Após a definição dos objetivos, abordagem e método científico, cabe ao pesquisador adaptar o método de pesquisa escolhido para a investigação específica que será conduzida (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). Nesse sentido, a próxima seção apresenta o método de trabalho utilizado nesse estudo.

3.2. MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho de uma pesquisa científica destaca as etapas utilizadas para o seu desenvolvimento (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), sendo que a definição adequada do método de trabalho propicia que a pesquisa seja conduzida de forma clara e transparente, facilitando o reconhecimento de sua validade (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). O método de trabalho desta pesquisa foi dividido em quatro etapas: estrutura conceitual e planejamento do caso, coleta de dados, análise dos dados e desenvolvimento do relatório. O detalhamento dessas etapas é apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Método de Trabalho.

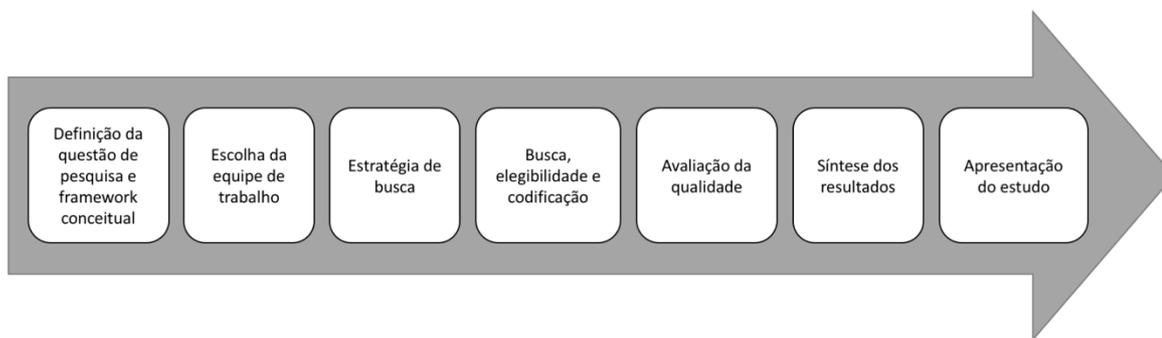


Fonte: Elaborado pela autora.

A primeira etapa do método se refere a **definição da estrutura conceitual e planejamento do caso a ser estudado**. Nesta etapa há duas macroatividades: definição do tipo de caso e unidades de análise e levantamento teórico do tema estudado por meio de revisão sistemática de literatura. Em relação a definição do tipo de caso e unidades de análise, esta pesquisa se define como um estudo de caso único e holístico, visto que a investigação do fenômeno estudado se concentra em avaliar sua natureza sistêmica. Além disso, o estudo de caso é holístico pois apresenta apenas uma unidade de análise: o impacto da geração distribuída.

Para contribuir na compreensão do fenômeno estudado, a primeira etapa do método contempla a realização de uma revisão sistemática de literatura, que tem por objetivo realizar o levantamento teórico sobre o tema estudado. A revisão sistemática de literatura permite localizar as informações desejadas em um grande volume de publicações, visando a consolidação dos estudos primários relevantes para a pesquisa (WILDING *et al.*, 2012). Essa revisão deve seguir um método explícito que assegure sua auditoria, replicação e atualização (MORANDI; CAMARGO, 2015). O método escolhido para executar a revisão sistemática de literatura desta pesquisa é o proposto por Morandi e Camargo (2015), conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Método para Condução de Revisões Sistemáticas de Literatura.



Fonte: Morandi e Camargo (2015).

A revisão sistemática de literatura conduzida nesta pesquisa tem por objetivo encontrar fatores que contribuam para compreender sistemicamente o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição. Assim, a questão de pesquisa da revisão de literatura é: qual o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição de energia? O framework conceitual pode ser entendido como a estrutura que irá conduzir a pesquisa (MORANDI; CAMARGO, 2015). Esta revisão possui uma estrutura configurativa, ou seja, a questão de pesquisa é uma questão aberta, que tende a ser respondida a partir de dados qualitativos obtidos dos estudos primários,

geralmente heterogêneos (GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2017; MORANDI; CAMARGO, 2015).

A consolidação das estratégias de pesquisa reduz a chance de viés no estudo realizado. Nesse sentido, uma boa prática é consolidar essas estratégias em um protocolo de pesquisa (MORANDI; CAMARGO, 2015). O protocolo de pesquisa deste estudo é apresentado na Quadro 1.

Quadro 1 – Protocolo da Revisão de Literatura.

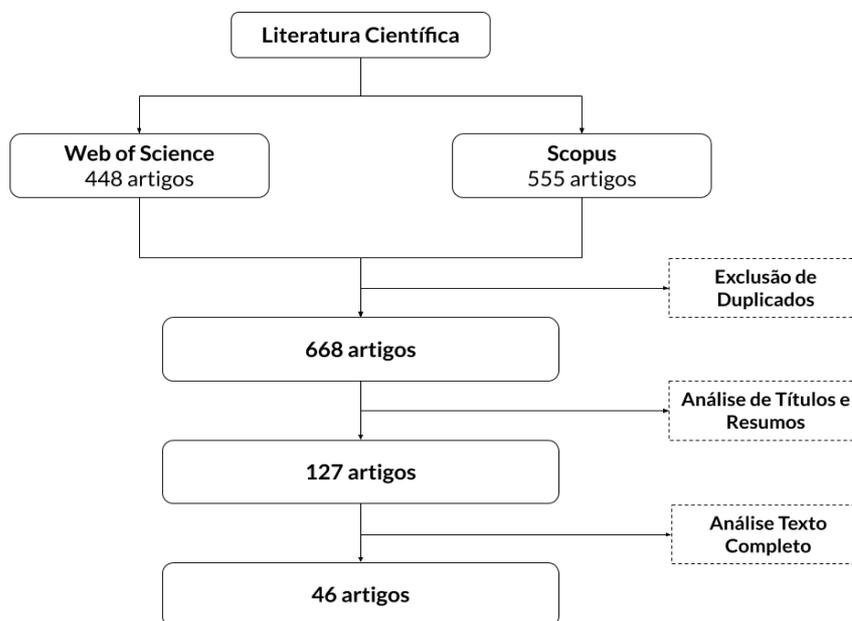
Questão de Pesquisa	Qual o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição de energia?
Horizonte	Sem horizonte de tempo definido
Idioma	Inglês
Critérios de Inclusão	Artigos que estudam o impacto da geração distribuída nos sistemas de distribuição publicados em periódicos científicos em língua inglesa
Critérios de Exclusão	Artigos que não apresentam os impactos da geração distribuída nos sistemas de distribuição ou que não trazem nenhuma avaliação, qualitativa ou quantitativa, desses impactos.
Termos de Busca	Geração Distribuída ("distributed generation*" OR "decentralized generation*" OR "disperse generation*" OR "distributed power generation") <u>combinado com:</u> Sistema de Distribuição ("energy grid*" OR "electric* grid*" OR "energy distribution system*" OR "electric* distribution system*" OR "energy distribution network*" OR "electric* distribution network*" OR "energy power distribution" OR "electric* power distribution")
Bases de Dados	Bases Scopus e Web of Science
Índices de Busca	Título, resumo e palavras-chave
Janela de Busca	Setembro/2020

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a definição da estratégia de pesquisa, a condução da revisão sistemática de literatura segue para a etapa de pesquisa, elegibilidade e codificação. Os estudos encontrados nas bases selecionadas são inspecionados por meio de uma triagem de títulos e resumos, a fim de separar os trabalhos úteis para a pesquisa que está sendo realizada (MORANDI; CAMARGO, 2015). Foram excluídos artigos sobre avaliação de investimentos e tecnologias, estudos envolvendo a geração distribuída em edificações, pesquisas sobre legislações de países específicos e previsão de demanda. Os estudos remanescentes passam para a etapa de elegibilidade, onde são lidos em profundidade. Nesta etapa, alguns estudos ainda podem ser

descartados. Por outro lado, novos estudos podem ser incorporados a partir das referências citadas pelos estudos remanescentes. A Figura 15 apresenta os resultados dessa etapa da revisão.

Figura 15 – Fluxo de seleção e estudos elegíveis da Revisão Sistemática de Literatura.



Fonte: Elaborado pela autora.

A etapa seguinte se trata da codificação. Neste estudo, optou-se por utilizar o método de codificação aberto, visto que a estratégia de pesquisa é configurativa. Assim, a identificação das categorias ocorre ao longo da leitura dos estudos selecionados (MORANDI; CAMARGO, 2015). O produto da revisão sistemática de literatura é um inventário dos impactos que a geração distribuída causa às redes de distribuição, apresentados na seção 4.1. Uma tabela com as expressões originais utilizadas pelos autores dos estudos analisados pode ser observada no **Apêndice B**.

A segunda etapa do método se refere a **coleta de dados**, conforme destacado na Figura 13. Nesta etapa, são definidas as fontes de evidência e protocolo de coleta de dados, além do registro dos dados coletados. As fontes de evidência escolhidas para esta pesquisa foram documentação e entrevistas. Dentre os pontos fortes da fonte documentação, podem ser citados a estabilidade, uma vez que essa fonte pode ser consultada mais de uma vez; e a geração independente, visto que essa fonte não foi criada como resultado do estudo de caso (YIN, 2015). A documentação coletada nesta pesquisa se refere aos documentos oficiais produzidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Em relação a fonte de evidência do tipo entrevista, uma das vantagens é a possibilidade de direcionamento, pois possuem como foco

direto o fenômeno investigado no estudo de caso (YIN, 2015). As diferentes vantagens presentes nessas fontes de evidência mostram que elas podem ser complementares, sendo que o seu uso conjunto pode tornar a pesquisa mais robusta (YIN, 2015).

As entrevistas foram conduzidas com atores do sistema e especialistas. Optou-se pela realização de entrevistas semiestruturadas com questões abertas, visto que a natureza explicativa desse tipo de entrevista é adequada para esta etapa da pesquisa (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2009). O roteiro utilizado nas entrevistas foi elaborado a partir dos achados na Revisão Sistemática de Literatura e é apresentado no **Apêndice C**.

As entrevistas foram conduzidas com o objetivo de ampliar o entendimento sobre o contexto do problema estudado. Buscou-se entrevistar diferentes atores do segmento de distribuição de energia, para que diferentes percepções fossem incorporadas à estrutura sistêmica (ANDRADE, 2006). O Quadro 2 apresenta os entrevistados selecionados.

Quadro 2 – Formação e área de atuação dos entrevistados selecionados nesta pesquisa.

#	Formação	Área de Atuação
1	Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais	Professor no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
2	Pós-Doutorado em Sistemas Solares Fotovoltaicos	Pesquisador no Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
3	Mestrado em Direito econômico internacional, com ênfase em contabilidade e tributação de créditos de carbono	Advogado e Diretor Regional da Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD)
4	Mestrando em Engenharia de Produção	Consultor de Negócios na Rio Grande Energia (RGE)
5	Doutorado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência	Pesquisador no Grupo de Modelagem e Análise de Sistemas de Potência
6	Graduação em Administração e Negócios	Diretor Comercial da Avant Solar
7	MBA em Gestão de Negócios de Energia Elétrica	Diretor Técnico da Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD)
8	Mestrado em Engenharia Mecânica	Consultor na HCC Energia Solar
9	Graduação em Engenharia Elétrica	Chefe do Departamento de Planejamento e Engenharia na Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE)
10	MBA em Finanças	Chefe da Divisão de Regulação e Mercado na Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE)
11	Graduação em Engenharia de Energia	Consultor na Greener
12	Graduação em Engenharia Elétrica	Analista Técnico Regulatório na Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR)
13	Doutorado em Instaladores Elétricos e de Transmissão de Energia	Técnico Especialista na Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR)
14	Doutoranda em Engenharia Elétrica	Pesquisador no Grupo de Modelagem e Análise de Sistemas de Potência
15	Doutorado em Engenharia Elétrica	Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

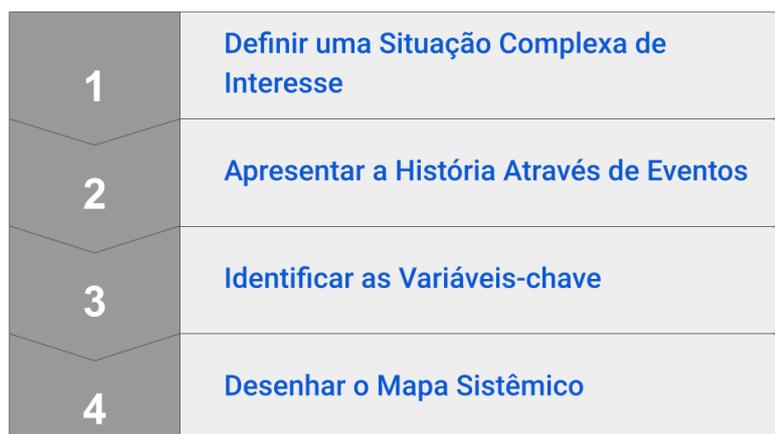
Quadro 2 - Continuação		
16	Mestrado em Administração	Coordenador Administrativo de uma escola no Vale dos Sinos que possui uma unidade de geração distribuída instalada

Fonte: Elaborado pela autora.

As entrevistas foram realizadas por meio de ferramentas para videoconferências. Excepcionalmente, para aqueles atores que não tinham disponibilidade para realização da entrevista por meio de videoconferência, foram disponibilizados questionários baseados no roteiro de entrevistas. Um dos especialistas foi entrevistado como piloto, validando o roteiro construído. As entrevistas tiveram duração média de 30 minutos. Os termos de consentimento para realização das entrevistas e suas transcrições são apresentados nos **Apêndice D e E**, respectivamente.

Na etapa seguinte, realizou-se a **análise dos dados** coletados, conforme indicado na Figura 13. Dentre as atividades dessa etapa, estão a análise de conteúdo dos dados coletados, o desenvolvimento da estrutura sistêmica a partir de método adaptado de Andrade (2006) e a validação da estrutura sistêmica com especialistas. Para a análise de conteúdo, utilizou-se a técnica de contagem de frequência (BARDIN, 2011). Para a modelagem da estrutura sistêmica, o método de Andrade (2006), apresentado na seção 2.3, foi adaptado conforme Figura 16.

Figura 16 – Metodologia para desenvolvimento da estrutura sistêmica



Fonte: Elaborado pela autora.

A estrutura sistêmica foi validada por um grupo de especialistas na área de energia e/ou na modelagem sistêmica, sendo realizado em uma sessão, por meio de uma ferramenta para videoconferências. A relação dos participantes é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 – Formação e área de atuação dos especialistas selecionados.

#	Formação	Área de Atuação
1	Doutorado em Management Science	Professor no Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
2	Doutorado em Engenharia de Produção	Professor no Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
3	Doutorado em Engenharia Elétrica	Professor no Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
4	Mestrado em Engenharia de Produção	Pesquisadora no Núcleo de Inovação e Competitividade (NIC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Fonte: Elaborado pela autora.

A última etapa do método se refere ao **desenvolvimento do relatório** (YIN, 2015), conforme destacado na Figura 13. Nesta etapa, há uma discussão sobre o que a estrutura sistêmica ensinou acerca do fenômeno estudado, de modo a gerar uma análise do aprendizado construído. Essa discussão é importante para consolidar o conhecimento produzido e explicitar o fenômeno. Dessa forma, destacou-se as variáveis presentes no modelo do sistema de distribuição de energia brasileiro e da geração distribuída.

4. RESULTADOS

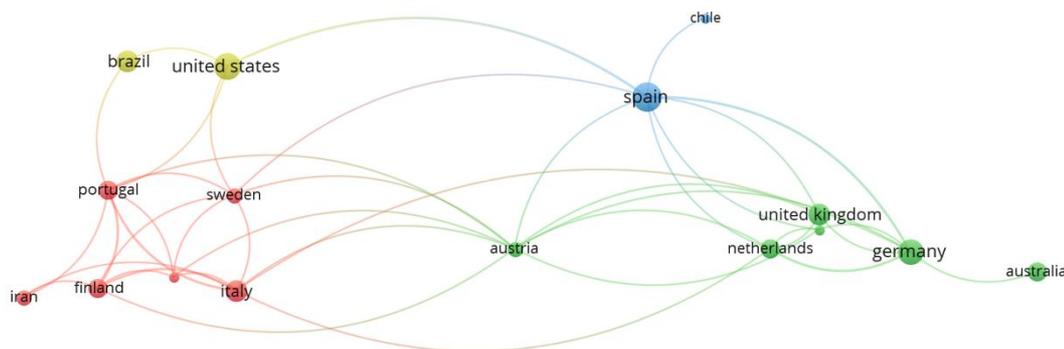
Este capítulo apresenta os resultados obtidos nesse estudo e está dividido em quatro seções. A primeira seção apresenta a revisão de literatura utilizada para a definição da estrutura conceitual. Na seção seguinte, são apresentados os resultados da análise documental e das entrevistas. A terceira seção apresenta a modelagem da estrutura sistêmica. A discussão do aprendizado é apresentada na quarta seção.

4.1. ESTRUTURA CONCEITUAL E PLANEJAMENTO DO CASO

Esta etapa apresenta as decisões metodológicas tomadas no planejamento do caso estudado e o levantamento teórico realizado. Em relação ao planejamento do caso, optou-se pelo projeto de estudo de caso único holístico, uma vez que o fenômeno estudado é representativo e esta pesquisa se propõe a estudá-lo por meio de uma perspectiva sistêmica (ANDRADE, 2006; YIN, 2015). Nesse estudo, o caso estudado é o impacto da geração distribuída no contexto do sistema de distribuição de energia, tendo por unidade de análise o impacto da geração distribuída nesse sistema.

O levantamento teórico se deu por meio de uma revisão sistemática de literatura baseada no método proposto por Morandi e Camargo (2015). Dos estudos analisados, 46 foram considerados elegíveis para esta pesquisa. Os artigos selecionados foram publicados entre os anos de 2004 e 2020, sendo que 60% deles foram publicados nos últimos 5 anos. Os artigos estão agrupados em 30 periódicos. Destacam-se os periódicos *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, com sete artigos, e *Energy Policy*, com quatro artigos. A fim de compreender a colaboração entre países, realizou-se uma análise de rede considerando a coautoria por país. Os resultados da análise são apresentados na Figura 17.

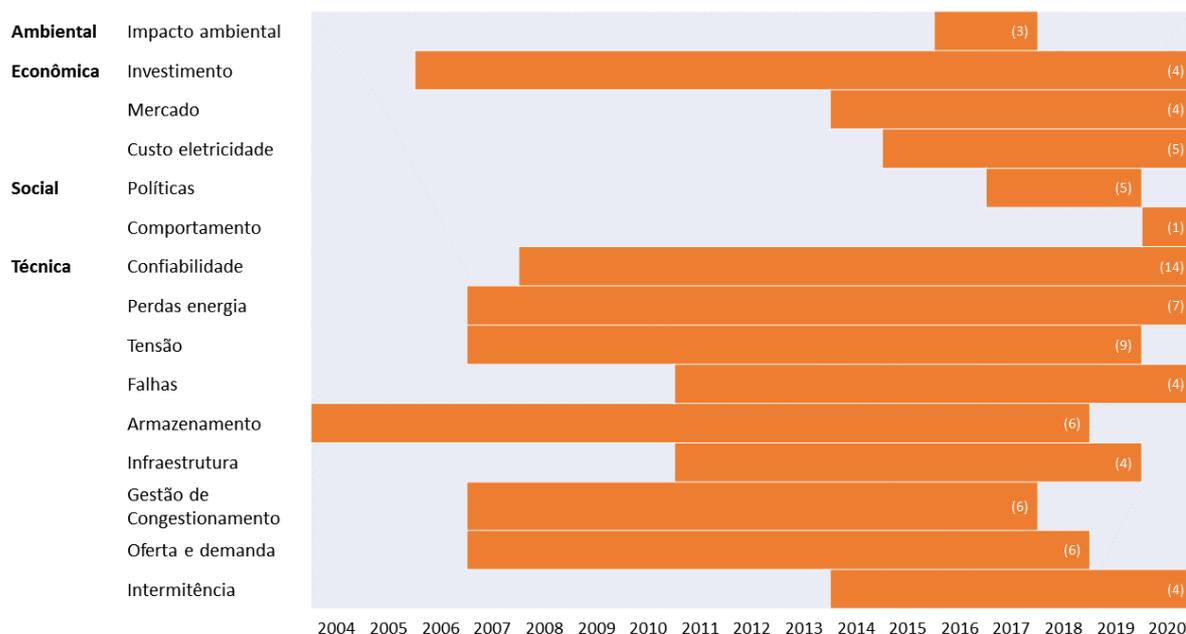
Figura 17 – Análise de coautoria por país.



Fonte: Elaborado pela autora.

A revisão realizada utilizou-se da codificação aberta, considerando que a estratégia de pesquisa é configurativa. Assim, a identificação das categorias ocorreu ao longo da leitura dos estudos selecionados. Ao longo da análise dos artigos, verificou-se que os fatores poderiam ser divididos nas dimensões: ambiental, social, econômica e técnica. Os fatores encontrados foram agrupados dentro dessas dimensões, sendo que se manteve a expressão original utilizada pelos autores a fim de permitir a rastreabilidade e aumentar a confiabilidade da revisão. Uma tabela com as expressões originais utilizadas pelos autores dos estudos analisados pode ser observada no **Apêndice B**. A Figura 18 apresenta os fatores responsáveis pelo impacto da geração distribuída nos sistemas de distribuição.

Figura 18 – Fatores encontrados na literatura responsáveis pelo impacto da geração distribuída nos sistemas de distribuição.



Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que os fatores responsáveis pelo impacto da geração distribuída nos sistemas de distribuição foram agrupados em dimensões. Para cada fator, há uma linha do tempo que destaca o período em que esse item foi mencionado nos estudos analisados. Por exemplo, o fator Investimento foi observado em estudos publicados entre os anos de 2006 e 2020. O número entre parênteses ao final da linha do tempo representa a quantidade de estudos que mencionaram esse fator. Nesse caso, o fator Investimento foi destacado por 4 dos 46 estudos analisados.

O impacto da geração distribuída a partir da perspectiva da **dimensão ambiental** traz um fator: o Impacto Ambiental. Os estudos analisados apontaram que a geração distribuída é capaz de reduzir as emissões de gases do efeito estufa no meio ambiente (REVESZ; UNEL, 2017; SINGH; MUKHERJEE; TIWARI, 2016). Além disso, a geração distribuída acarreta um menor impacto ambiental e melhora a qualidade do ar da região em que foi instalada (AMAN *et al.*, 2017; REVESZ; UNEL, 2017).

A **dimensão econômica** agrupou três fatores: Investimento, Mercado e Custo de Eletricidade. O fator Investimento envolve os gastos necessários para implantação de redes de transmissão e distribuição. Os estudos analisados indicaram que a inserção da geração distribuída nos sistemas de distribuição pode ser uma vantagem nesse aspecto, visto que a energia fornecida por essas novas instalações pode postergar os investimentos em linhas de transmissão e distribuição (LEÃO *et al.*, 2011; MATEO; FRÍAS; TAPIA-AHUMADA, 2020; MÉNDEZ *et al.*, 2006; REVESZ; UNEL, 2017). Revesz e Unel (2017) ainda complementam que a geração distribuída pode reduzir os gastos com serviços públicos no que tange a novas instalações devido ao aumento da demanda por energia.

O fator Mercado agrupa algumas mudanças que podem afetar especificamente as distribuidoras. Com a entrada da geração distribuída no sistema de energia, esse ator percebe mudanças na remuneração dos seus serviços, o que pode afetar inclusive a sustentabilidade de seus negócios (MOJONERO; VILLACORTA; KUONG, 2018). Assim, os estudos apontam que é necessário modificar o mecanismo de remuneração dos operadores das redes de distribuição, o que talvez envolva mudanças na arrecadação de impostos e tarifas praticadas (DE VILLENA *et al.*, 2019; VRBA *et al.*, 2014). O estudo de Heideier *et al.* (2020) apresenta um contraponto a ser observado na tomada de decisão sobre a renúncia fiscal. Os autores discutem que a geração de empregos proveniente da difusão da geração distribuída, em especial a geração distribuída fotovoltaica, pode compensar a isenção de impostos para os investimentos (HEIDEIER *et al.*, 2020).

No fator Custo de Eletricidade os autores trazem que os usuários da rede que optam pela instalação da geração distribuída percebem uma economia nos gastos com eletricidade (MATEO; FRÍAS; TAPIA-AHUMADA, 2020; PURVINS; L'ABBATE, 2017; SINGH; MUKHERJEE; TIWARI, 2016). Essa economia pode ser especialmente percebida pelos usuários que possuem um alto consumo de energia (MOJONERO; VILLACORTA; KUONG, 2018). Contudo, essa situação pode mudar, dependendo dos valores aplicados pelos operadores das redes de distribuição nas tarifas de energia (PICCIARIELLO *et al.*, 2015).

A **dimensão social** inclui os aspectos regulatórios do sistema e agrupa dois fatores: Políticas e Comportamento. Em relação ao fator Políticas, os estudos apontam que a entrada da geração distribuída no sistema de energia exige a mudança em marcos regulatórios, a qual pode representar um desafio para os formuladores de políticas públicas (BELL; GILL, 2018; DE VILLENA *et al.*, 2019; MOJONERO; VILLACORTA; KUONG, 2018). Revesz e Unel (2017) comentam sobre a compensação de energia: há debate sobre como os clientes de uma concessionária deveriam ser compensados pela energia que excedente que é devolvida à rede de distribuição. Além disso, o mecanismo de compensação escolhido pelos tomadores de decisão pode influenciar o impacto no sistema de energia (PEREIRA DA SILVA *et al.*, 2019). Por exemplo, os países optantes pela tarifa *feed-in* enfrentam o desafio do custo de manutenção das políticas. Já os países que utilizam o *net metering* precisam lidar com a transferência de custos dos operadores das redes de distribuição para o consumidor (PEREIRA DA SILVA *et al.*, 2019).

O segundo fator da dimensão social é o Comportamento. Esse fator engloba a ideia de que o consumidor muda seu comportamento a partir do uso da geração distribuída, principalmente no que se refere a mudança do consumo de energia para os momentos em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta e o preço é menor (YANINE *et al.*, 2020).

A **dimensão técnica** é a que agrupa mais fatores, nove no total. São eles: Confiabilidade, Perdas energia, Tensão, Falhas, Armazenamento, Infraestrutura, Gestão de Congestionamento, Oferta e demanda e Intermittência.

No fator Confiabilidade, os estudos reforçam a importância de se observar o percentual que as instalações de geração distribuída representam sobre o total de energia gerada pelo sistema (AMEUR *et al.*, 2019; BORGES, 2012). Esse aspecto deve ser observado visto que até certo ponto a geração distribuída pode aumentar a confiabilidade total do sistema, mas após certa quantidade de instalações a confiabilidade total do sistema tende a diminuir (AHMAD; MEHMOOD, 2016; ARNOLD; FRIEDE; MYRZIK, 2013; CHOUDHURY, 2020). Desse modo, alguns estudos reforçam que manter a confiabilidade do sistema com geração distribuída, sobretudo no que se refere a segurança e qualidade no fornecimento de eletricidade, é um desafio (GUARDA *et al.*, 2019; PURVINS; L'ABBATE, 2017; XU *et al.*, 2011; ZAHEDI, 2011). Por outro lado, a geração distribuída pode auxiliar o sistema de energia a mitigar o risco de interrupção de fornecimento, em especial quando ocorrem crises ambientais (BIRD;

HOTALING, 2017; CANCA; ARCOS-VARGAS; NÚÑEZ, 2018; KROPOSKI *et al.*, 2008; RAZAVI *et al.*, 2019; SINGH; MUKHERJEE; TIWARI, 2016).

O fator Perdas de Energia concentra estudos que dizem que a geração distribuída pode reduzir as perdas do sistema de energia, uma vez que a demanda por energia que transita nas linhas de transmissão e distribuição é menor (PAATERO; LUND, 2007; PURVINS; L'ABBATE, 2017; RAZAVI *et al.*, 2019; SINGH; MUKHERJEE; TIWARI, 2016). Contudo, alguns estudos também alertam para a necessidade de encontrar o nível ótimo de instalações de geração distribuída conectadas à rede, visto que uma grande quantidade dessas instalações pode aumentar as perdas energéticas ao invés de diminuir (AMAN *et al.*, 2017; MATEO; FRÍAS; TAPIA-AHUMADA, 2020; SHARMA; KOPPAL, 2010).

Em relação ao fator Tensão, os estudos apresentam que a geração distribuída é capaz de melhorar a estabilidade e o perfil da tensão da rede (AMAN *et al.*, 2018; SINGH; MUKHERJEE; TIWARI, 2016). Porém, essa vantagem é contrabalançada com os desafios do controle de tensão e configurações dos dispositivos proteção (RAZAVI *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2011). Alguns estudos relatam situações em que as instalações de geração distribuída contribuíram para interrupções devido a condições de sobretensão (PAATERO; LUND, 2007; PASSEY *et al.*, 2011; WORTHMANN *et al.*, 2015). Também nesse caso puderam ser observados estudos que discutem o ponto ótimo de instalações de geração distribuída conectadas à rede visando manter a qualidade do fornecimento de energia (AMAN *et al.*, 2017; SHARMA; KOPPAL, 2010).

Outro fator técnico observado nos estudos é o que se refere a Falha. Alguns trabalhos apontam que a implantação maciça de unidades de geração distribuída pode aumentar o nível de falha do sistema (SINGH; MUKHERJEE; TIWARI, 2016; VRBA *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2011). Desse modo, esse aspecto precisa ser observado, atentando-se novamente para a quantidade de instalações que o sistema de energia suporta. Um contraponto a essa questão seria a vantagem de as unidades de geração distribuída serem capazes de operar individualmente em uma situação de falha, o que aumenta a segurança energética (CHOUDHURY, 2020).

O fator Armazenamento de Energia agrupou algumas soluções apresentadas nesse sentido (BELL; GILL, 2018; DAUD; MOHAMED; HANNAN, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2017; WORTHMANN *et al.*, 2015). Algumas tecnologias, como o armazenamento de energia utilizando hidrogênio, podem ser utilizadas para estocar energia, a qual poderá ser utilizada em um momento mais oportuno, minimizando as trocas de energia com a rede (ANDERSON;

LEACH, 2004). Outra vantagem das soluções de armazenamento são referentes a suavização das variações na produção de energia, uma vez que períodos de escassez podem ser compensados pela energia em estoque (SRIVASTAVA; KUMAR; SCHULZ, 2012).

O fator Infraestrutura corresponde as mudanças estruturais necessárias para a implantação de unidades de geração distribuída. Por exemplo, Xu et al. (2011) trazem que o fluxo de energia na geração centralizada ocorre em apenas uma direção, enquanto com a implantação da geração distribuída o fluxo de energia passa a ser bidirecional. Essa nova situação representa desafios para o gerenciamento de energia e a definição dos locais onde as unidades deveriam ser instaladas (ÇELIK; MERAL, 2019; RAZAVI *et al.*, 2019). Outro fenômeno que pode ocorrer relacionado à infraestrutura é o sobredimensionamento das grades de distribuição, a fim de garantir uma operação da rede de acordo com as especificações técnicas dadas (RESCH, 2017).

O fator Gestão de Congestionamento agrupa estudos que indicam que a geração distribuída pode ser uma alternativa para gerir a demanda de energia em horários de ponta (CAAMAÑO-MARTÍN *et al.*, 2008; KROPOSKI *et al.*, 2008; PAATERO; LUND, 2007; PURVINS; L'ABBATE, 2017; TOURETZKY *et al.*, 2016; VELDMAN *et al.*, 2013). Por exemplo, no estudo conduzido por Paatero e Lund (2007), as unidades de geração distribuída analisadas foram capazes de reduzir em 30% a demanda por energia no horário de pico. Já Kroposki et al. (2008) destacam que a carga fornecida pelas instalações de geração distribuída durante as condições de pico de energia pode beneficiar os serviços públicos locais, especialmente no que tange a estabilidade no fornecimento de energia.

O fator Oferta e Demanda concentra o aspecto da geração distribuída promover um melhor gerenciamento do mercado de energia, devido a sua flexibilidade (ARNOLD; FRIEDE; MYRZIK, 2013; BELL; GILL, 2018; VRBA *et al.*, 2014). Outro ponto é que a geração distribuída reduz a necessidade de reserva de capacidade no nível do sistema (ILIC; BLACK; PRICA, 2007; REDDY; GOSWAMI; DEV CHOUDHURY, 2017). No entanto, devido a grandes quantidades de geração durante períodos de baixa carga ou geração intermitente, o sistema pode enfrentar dificuldade em equilibrar a oferta e a demanda (WORTHMANN *et al.*, 2015).

O último fator destacado nos estudos é o da Intermitência. Essa característica das fontes renováveis utilizadas nas instalações de geração distribuída pode levar a riscos de mercado, devido à incerteza associada à geração de energia (RAMOS *et al.*, 2020; RAZAVI *et al.*, 2019). Além disso, a frequência é muito afetada pela intermitência das fontes renováveis

de energia, de modo que seus desvios devem ser limitados ao máximo para garantir um nível adequado de qualidade de energia (DELFANTI *et al.*, 2014; KARIMI-ARPANAHI *et al.*, 2020).

A análise dos fatores responsáveis pelo impacto da geração distribuída nos sistemas de distribuição permitiu a construção do roteiro de entrevistas apresentado no **Apêndice C**. Além disso, alguns aspectos foram observados. Por exemplo, a dimensão técnica é relativamente maior do que as demais, visto que agrupou nove fatores. Desse modo, é possível inferir que há oportunidades de pesquisa nas demais dimensões. Temas como impacto na comunidade e na paisagem urbana, bem como geração de empregos podem ser mais explorados.

4.2. COLETA DE DADOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados a partir da pesquisa em documentos oficiais e da realização de entrevistas semiestruturadas. Foram realizadas 16 entrevistas semiestruturadas, com duração média de 30 minutos cada. Complementando as entrevistas realizadas, a pesquisa documental se deu em 3 Resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O objetivo da pesquisa documental foi compreender o cenário regulatório da geração distribuída no Brasil. Além disso, esses dados serão utilizados para a elaboração da lista de eventos, conforme a metodologia escolhida para elaboração da estrutura sistêmica, apresentada na seção 4.3. O Quadro 4 apresenta a temática de cada uma das resoluções analisadas.

Quadro 4 – Resoluções da ANEEL utilizadas para pesquisa documental.

Resolução	Conteúdo
482/2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
687/2015	Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
786/2017	Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.

Fonte: Elaborado pela autora.

As entrevistas tiveram por objetivo entender o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição de energia. Para isso, foram feitos questionamentos considerando as perspectivas ambiental, econômica, social e técnica. O roteiro de entrevistas foi baseado em uma revisão de literatura, sendo que cada questão abordou um fator do inventário dos impactos que a geração distribuída causa ao segmento de distribuição de energia. O Quadro 5 apresenta

os relatos das entrevistas em profundidade, considerando a perspectiva ambiental. A transcrição do conteúdo pode ser observada integralmente no **Apêndice E**.

Quadro 5 – Extratos das entrevistas considerando a perspectiva ambiental.

#	Trechos da Entrevista
A	“... o momento que esses materiais comecem a ser descartados... O que vamos fazer com essas placas solares, essas estruturas, esses inversores?... a geração distribuída acaba postergando a necessidade de construção de grandes usinas de geração centralizadas... contribuir nesse sentido, para a gente não precisar acionar as térmicas com tanta frequência”
B	“os primeiros resíduos de placas estão surgindo agora, depois de 20 anos, de 25 anos instalados... em termos de reciclagem, ninguém tem a solução, ninguém recicla isso de uma forma comercial, em grande escala, de forma eficiente. O que tem é muita pesquisa”
C	“Uma tecnologia para ser instalada envolve um certo investimento energético para botar de pé. Isso se chama na literatura de payback energético...Esses números aqui no Brasil estão todos abaixo de 1 ano... a matriz energética que é a base da fabricação desse equipamento é muito importante... o ganho do fotovoltaico em relação a créditos de carbono é bastante pequeno”
D	“o impacto ambiental da criação de uma placa é brutal, bauxita, cobalto, cobre, níquel, isso tem um impacto muito severo na questão da mineração... se recicla isso [o painel solar]? Não se sabe isso nesse momento... um benefício ambiental da energia solar que ela tem uma escalabilidade e um dimensionamento bastante particular com relação a tamanho... de uma certa forma, essa redução de carga, num contexto brasileiro é obvio que vai representar uma menor necessidade entre intercâmbios energéticos entre supermercados então isso vai preservar a vida útil de todos esses equipamentos de distribuição... essa pulverização de energia vai representar talvez uma não necessidade de expansão de uma nova rede, temos o custo ambiental de rede, tu tem um custo de perda de energia que tu poderia certamente investir nas gerações locais”
E	“devemos estar conscientes também sobre a questão da vida útil dos equipamentos que estão sendo instalados. O descarte, no futuro, pode vir a ser um problema”
F	“quanto mais tiver geração distribuída numa região do país, menos consumo se terá decorrente de fontes poluentes... [a gd] reduz a necessidade de projetos de geração centralizada longe do centro de consumo, do centro de carga... também reduz a necessidade de construção de linhas de transmissão”
G	“evita o uso de geração de fonte fóssil”
H	“Existem impactos ambientais indiretos causados pela extração de insumos para as usinas termoeletricas que afetam diretamente o meio ambiente, como o desmatamento e a extração de carvão... ainda não temos a proporção do impacto sobre o descarte dos módulos fotovoltaicos devido a longa vida útil do material”
K	“utilização de espaços que já tem um uso primário e de forma geral espaços que não poderiam ser utilizados para as usinas convencionais de grande porte... evitar os impactos ambientais comumente relacionados a geração centralizada como deslocamento de população, desmatamento, alteração da fauna e flora locais, entre outros... evita-se a construção de novas linhas de transmissão... impactos negativos significativos, ainda é cedo para dizer... descarte dos módulos ao final de sua vida útil”
L	“redução de emissões de gases de efeito estufa... o uso de água muito reduzido. Ela não demanda cimento e outros materiais... Quando se olha a intensidade uso do solo em quilômetros quadrados por quilowatt gerado há diferentes tipos de geração de energia que são intensivos nesse sentido, a fotovoltaica urbana aproveita áreas ociosas... a solar também representa uma excelente solução, ela é 95% reciclável, seus componentes principais, silício, vidro, alumínio, são recicláveis e têm logística reversa em implementação”
N	“reduzir o espaço físico para a geração... pensando na energia eólica, tem o desvio de rota de pássaros... quando tu vais construir um parque eólico, um parque solar, tu vais utilizar a energia da rede para construir aquele parque e essa energia da rede é proveniente de diversas fontes... tem a questão de descarte dos materiais, de células solares...baterias”
O	“A gente acaba acreditando que reduz as emissões porque nós estamos comparando com uma matriz baseada no carvão, ou em derivado de petróleo... Na questão da reciclagem, temos os painéis, os componentes que vão ser usados para fazer os inversores... muitas vezes nós vamos ter algum dispositivo de armazenamento de energia que é bateria. E a vida útil da bateria é muito pequena, fica na faixa dos 5 anos... O que eu vejo de positivo é que a produção é perto do consumo, então isso diminui o transporte. E se houver superávit, ele provavelmente vai ser consumido pelos vizinhos... A gente evita muita perda de transporte, que beira a faixa dos 10%”

Fonte: Elaborado pela autora.

A perspectiva ambiental foi abordada na questão 1 do roteiro de entrevistas. Cabe ressaltar que nem todos os entrevistados responderam a todas as questões, visto que o roteiro de entrevistas abrangeu mais de uma área do conhecimento. O Quadro 6 apresenta os relatos das entrevistas em profundidade, considerando a perspectiva econômica.

Quadro 6 – Extratos das entrevistas considerando a perspectiva econômica.

#	Trechos da Entrevista
A	“posterga a construção dessas usinas hidrelétricas... a distribuidora não consegue se moldar ao mercado da geração distribuída de uma forma que ela fique mais sustentável, sem infringir alguma regulação... eles têm que ter um certo cuidado e não deixar que avance a geração distribuída numa velocidade muito grande... os clientes que estão com sistemas de geração instalados vão precisar ter uma diferença na sua tarifa, porque enquanto eles continuam usando os ativos da distribuidora eles não pagam igual a um cliente que não tem esse sistema de geração. Então quem está instalando acaba penalizando um pouco os clientes que não possuem geração instalada ainda e talvez nunca tenham”
C	“o benefício vai ser crescente na medida em que o armazenamento local de energia em baterias residenciais começar a acontecer... o custo do operador sempre é repassado para a tarifa. Então esse custo na verdade vai ser redistribuído entre toda a população... As distribuidoras mais progressistas [estão] partindo para a entrada nesse negócio da gd... [o consumidor que tem gd] não está pagando pelo uso da rede. Isso é dividido então entre toda população... Por outro lado, existem benefícios da gd para a rede de distribuição”
D	“diminui o ritmo das obras, mas gera um maior aumento de necessidade de reforço de infraestrutura... esse problema da devolução do crédito é um ponto que é muito pouco abordado e traz um risco para o projeto e para a saúde financeira das concessionárias”
E	“a rede vai ter que estar preparada para atender a demanda. Então, no meu ponto de vista, muitas vezes o investimento necessário é o mesmo”
F	“Sem dúvida para o usuário é uma opção de investimento interessante... A ponta acaba sendo nesse horário: entre meio-dia e 2, 3 da tarde. E o pico de geração da geração distribuída é nesse mesmo horário... Então quando o sistema está consumindo mais é o horário que a geração distribuída está entrando na geração e despachando essa energia, contribuindo para tirar a sobrecarga no sistema”
G	“Para transmitir essa energia tem as perdas elétricas, você acaba tendo essa consequência se não tem uma geração local... O prosumidor usa energia de forma diferente do consumidor. Por isso que é a gente defende cálculos com estudos de fluxo de carga”
H	“Quanto maior a distância de transmissão, maior a perda de energia”
I	“a grande maioria das conexões são de UFV (Usinas fotovoltaicas) sendo que essas acabam gerando somente durante o dia, dessa forma o sistema permanece necessitando de investimentos para atender a carga de ponta noturna... também se verifica que as grandes GDs (acima de 500 kW) localizam-se distantes dos centros de carga”
J	“o operador acaba por ter o uso da rede sub-remunerado... aqueles consumidores que não possuem GD e seus créditos gerados irão arcar com os custos da rede de distribuição... A criação de tarifas horárias para consumidores de baixa tensão seria um importante avanço”
K	“que o adiamento desses gastos posterga o impacto na conta de energia de todos os consumidores, beneficiando tanto quem já se beneficia da geração distribuída e principalmente quem não tem... Distribuidoras devem buscar remuneração através de outros serviços, além do fio... esses outros custos não arrecadados são rateados entre todos os consumidores”
L	“energia solar fotovoltaica é uma cadeia muito intensiva em empregos... representa uma postergação de investimento muito positiva para o país e para as distribuidoras também”
N	“geração distribuída consegue aliviar a sobrecarga em determinados horários... isso tudo vai impactar nos custos da concessionária, em como ela repassa os valores... Mesmo quem não tem uma geração na sua casa daqui a pouco será impactado pelo modelo de tarifa que ele vai acessar”
O	“O benefício que eu vejo é para quem faz a instalação desse tipo de equipamento”

Fonte: Elaborado pela autora.

A perspectiva econômica foi abordada nas questões 2 até 7 do roteiro de entrevistas. A seguir, o Quadro 7 apresenta os relatos das entrevistas em profundidade, considerando a perspectiva social.

Quadro 7 – Extratos das entrevistas considerando a perspectiva social.

#	Trechos da Entrevista
A	“Olhando de dentro da distribuidora me parece que ela está sempre um passo atrás [em relação a acompanhar os marcos regulatórios]. No Brasil, os clientes que possuem geração distribuída começaram a aumentar a capacidade de geração deles... ele vai ficar cada vez mais exigente, ele quer falar cada vez menos com a distribuidora, estão ficando totalmente digitalizados”
C	“acho que o que está faltando acontecer é reconhecer o papel importante que o armazenamento de energia vai ter em breve... as pessoas ficam mais conscientes do seu consumo energético e passam a tomar medidas onde elas preferem fazer o auto consumo”
D	“A regulação sempre anda atrás da tecnologia. Isso gera um problema de comunicação entre os atores: tributação, concessionárias, consumidores, investidores... se ele nem percebeu em migrar para o sistema do ouro sazonal, é difícil fazer a comparação para a gd. Os clientes inclusive colocam a gd solar e aumentam o seu consumo”
E	“Os procedimentos técnicos e padrões precisam ser atualizados para considerar essa nova topologia da rede... Quando se passa a ter uma fonte ou uma compensação que gera créditos por essa microgeração, pode ser que alguns deixem de ter um cuidado com relação ao consumo”
F	“os processos que estão andando via projeto de lei tendem a ser um pouco mais adequados, mas nenhum está 100% aderente às possibilidades, inovações e vantagens que esse sistema poderia trazer à sociedade”
G	“o consumidor brasileiro tem uma boa propensão a agir conforme uma tarifa”
H	“o consumidor acaba relaxando mais e se dando mais conforto uma vez que inconscientemente ele imagina que mesmo consumindo mais o valor da fatura de energia não trará surpresas no final do mês”
I	“o consumidor residencial permanece com seu consumo mais elevado no horário de ponta, horário em que a geração distribuída é quase zero”
K	“mesmo sem a geração distribuída, a menor utilização de energia nos horários em que ela é mais cara já é uma tendência, portanto, a GD não poderia ser apontada como um fator tão relevante por esse comportamento”
L	“A GD carece de um marco regulatório... [a gd] tem o potencial de educar o consumidor... tudo que a GD não deve ser, seria uma carta branca para aumentar o consumo”
O	“O fato de um consumidor poder instalar uma grande quantidade de produção e fazer a compensação em outros endereços, a gente acaba perdendo aquele primeiro benefício que era que a produção era perto do consumo... se [o consumidor que tem gd] for superavitário e ele começar a ver que a conta dele só aumenta, ele vai perder o interessante de usar energia de maneira racional”
P	“O que a gente também tem percebido é que há uma ampliação dessa necessidade, não necessariamente uma vontade própria de consumir mais”

Fonte: Elaborado pela autora.

A perspectiva social foi abordada nas questões 8 e 9 do roteiro de entrevistas. Essas questões tiveram por tema a mudança nos marcos regulatórios e o comportamento do consumidor. A última perspectiva abordada no roteiro de entrevistas é a perspectiva técnica, que correspondeu às questões 10 até 20. Nessa perspectiva, foram abordados temas como confiabilidade, infraestrutura da rede, dispositivos de armazenamento e riscos de mercado

relacionados à intermitência da geração a partir de fontes renováveis. O Quadro 8 apresenta os relatos das entrevistas em profundidade, considerando a perspectiva técnica.

Quadro 8 – Extratos das entrevistas considerando a perspectiva técnica.

#	Trechos da Entrevista
A	“O principal que eu vejo do ponto de vista técnico é nível de tensão... Nunca foi imaginado ou pensado desenvolver uma rede que fosse via de mão dupla... Se cada um desses consumidores instalar geração distribuída nesse circuito e todos eles começarem a injetar na rede da distribuidora, em algum momento a potência de geração de todos esses clientes somada, injetando nessa distribuição, vai ficar maior que a própria capacidade do transformador... [O dispositivo de armazenamento] diminui as oscilações de tensão ou problema dos equipamentos que a distribuidora pode sofrer por causa dessas intermitências”
C	“Existem situações ou questões técnicas relacionadas com a regulação de frequência, de tensão, mas são questões técnicas que são fáceis de resolver tecnicamente, desde que você saiba o que você está esperando... a bateria aparece como neutralizador da intermitência da disponibilidade da gd e da solar... o recorde de consumo ou de demanda de potência está acontecendo entre 2 e 3 da tarde, entre dezembro e fevereiro. Todos os anos o recorde é por esse horário e por essa época do ano, que é bem quando tem mais sol”
D	“Um dos problemas são inversores ruins, que atrapalham a rede... oscilação muito grande de energia entre o que reduz de carga e eventualmente o consumo de pico, isso acentua talvez uma demanda maior de atendimento... a gente vai falar do armazenamento químico, de bateria de íons de lítio, mas eu também gostaria de ver considerado como armazenamento, por exemplo, a acumulação de água... porque os regimes hidrológicos oscilam muito”
E	“que em alguns casos poderia se ter problemas de nível de tensão, aumento das perdas, dependendo da geração e do perfil de carga, necessidade de investimento na rede para viabilizar a conexão... sistemas independentes que se configuram como uma ilha de energia, sendo que a geração, consumo e armazenamento podem estar conectados à rede, este é um caminho interessante e pode melhorar a confiabilidade da rede... [o armazenamento de energia] tem um benefício sistêmico grande porque essas fontes são intermitentes, é positivo sim se os custos forem mais razoáveis”
F	“Com relação às baterias, eu acho que tecnicamente elas são muito vantajosas, por conseguir ajustar o fornecimento do teu sistema para o teu consumo... A única questão é que economicamente, na maioria dos casos, ela ainda é inviável em função do alto custo”
G	“uma geração distribuída de pequeno porte vai ajudar hoje. Uma geração distribuída de maior porte, acima de 1 MW, precisa ser estudada e na maioria das vezes precisa de reforço para poder ser conectada... As baterias vão ter cada vez mais um papel fundamental na inserção dos recursos energéticos distribuídos”
I	“o impacto da geração distribuída na qualidade do produto, depende muito do local em que ela está conectada... No caso de falha na rede de distribuição essas GDs devem se desconectar da rede da concessionária, para evitar a operação ilhada, colocando em risco equipes que possam estar atuando na rede ou até mesmo outras pessoas”
K	“tratando-se da energia fotovoltaica, o alívio de carga proporcionado pelos sistemas de geração distribuída funciona como um benefício à rede na maioria das situações... a grande capacidade de geração solar causa um impacto forte na curva de carga local, principalmente no período do final da tarde/início da noite, quando a geração solar se encerra e rede elétrica tem que lidar com uma rampa de fornecimento de energia muito íngreme, o que tem reflexos nos índices de confiabilidade de fornecimento... Atualmente os sistemas de geração distribuída devem operar com anti-ilhamento... A conexão de sistemas de armazenamento na rede elétrica (SIN) só permitida em alguns casos pelas distribuidoras”
L	“O preço das baterias caiu 80% dos últimos anos e tem uma série de aplicações”
M	“No futuro, o armazenamento terá um preço muito baixo e tecnologias cada vez melhores para conseguir aguentar, tanto as cargas grandes, que podem armazenar, quanto as flutuações dos momentos em que você está fazendo o armazenamento”
N	“A Duck Curve (Curva do Pato) é um dos problemas que os EUA possuem... Existem diversas tecnologias [de armazenamento], o pequeno consumidor tem a rede como um grande banco de baterias, então acaba não utilizando, justamente porque não tem essa tarifação dinâmica... O Brasil não permite o ilhamento da gd”
O	“Se a gente imaginar que a quantidade de geração distribuída que a gente tem instalada é pouca, então essa instalação provavelmente não impacta nos níveis de tensão do sistema... se houvesse uma quantidade de baterias significativa distribuída na cidade, seria muito bom para sistema elétrico”

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados coletados a partir das entrevistas e documentos oficiais permitiram que o impacto da geração distribuída no sistema de energia seja analisado de uma forma sistêmica. A seção seguinte apresenta a análise dos dados coletados, a partir dos quais foi elaborada a estrutura sistêmica que representa o cenário estudado nesta pesquisa.

4.3. ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados foi estruturada a partir da adaptação do método de Andrade (2006), apresentada na seção 3.2. A primeira etapa da análise se trata da definição da **situação complexa de interesse**. Nesse caso, a situação de interesse é o impacto da geração distribuída (GD) no sistema de distribuição de energia. O sistema de distribuição em si é um sistema complexo, visto que possui muitos elementos, os quais interagem entre si de forma dinâmica e não linear (FERNÁNDEZ; PIRES; BUENO, 2006; FLOOD, 2010; GARCÍA; CARO, 2009). Somado a isso, temos que a geração distribuída aumenta a complexidade do sistema. Isso se dá uma vez que a conexão de outras fontes de geração de energia pode sobrecarregar o sistema, além de interferir no balanço entre a oferta e a demanda dos serviços das distribuidoras (DERBYSHIRE, 2016).

Uma vez que o problema a ser estudado foi definido, a etapa seguinte se refere a **apresentar a história através de eventos** (ANDRADE, 2006). Para isso, considerou-se os marcos regulatórios implantados ao longo dos anos, as consultas públicas realizadas por órgãos reguladores, os estudos realizados por consultorias especializadas na área de energia e os eventos realizados na temática da geração distribuída. O Quadro 9 apresenta a lista de eventos relacionada a inserção da geração distribuída no sistema de distribuição de energia.

Quadro 9 – Lista de Eventos da inserção da geração distribuída no sistema de distribuição de energia.

Ano	Evento
2012	Resolução 482/2012 da Aneel
2015	Resolução 687/2015 da Aneel
2017	Resolução 786/2017 da Aneel
2019	Consulta Pública da Aneel – Revisão da Resolução Normativa 482/2012
2019	III Fórum de Geração Distribuída – Modernização e Modelos de Gestão
2020	IV Fórum de Geração Distribuída – Tecnologias e Planejamento para o Futuro da Geração Distribuída
2020	Tomada de Subsídios n° 11/2020 - Sobre Sistemas de Armazenamento, realizada pela Aneel

Fonte: Elaborado pela autora.

Em 2012, entrou em vigor a Resolução 482, que possibilitou que o consumidor gerasse sua própria energia por meio de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Além disso, foi

legislado o sistema de compensação de energia, onde o consumidor pode fornecer o excedente da energia gerada para a rede de distribuição da sua região (ANEEL, 2012b, 2015b).

A primeira revisão da Resolução 482/2012 ocorreu em 2015, por meio da Resolução 687. O objetivo da revisão envolveu a otimização do tempo e custos para a conexão da micro e minigeração distribuída, além de melhorias no sistema de compensação e nas informações da fatura de energia elétrica (ANEEL, 2015c, 2015b). Essa resolução também classifica minigeração distribuída como as centrais geradoras de energia elétrica conectadas à rede de distribuição, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW – com exceção da fonte hídrica – e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica. Já em 2017, por meio da Resolução 786, a Aneel veda o enquadramento como micro ou minigeração distribuída as centrais geradoras que já tenham tido relação com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE (ANEEL, 2017).

Em 2019, visando a revisão da Resolução 482/2012, ocorreu a Audiência Pública 01/2019, a qual foi seguida da abertura de Consulta Pública, ainda em andamento no ano de 2021. Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as alterações no sistema de compensação de energia propostas na Consulta Pública tem por objetivo equilibrar os custos referentes ao uso da rede de distribuição, de modo que os encargos sejam pelos consumidores que possuem geração distribuída (ANEEL, 2019b).

Ainda em 2019, ocorreu o III Fórum de Geração Distribuída – Modernização e Modelos de Gestão. Realizado no Rio Grande do Sul, o evento teve por objetivo “aprofundar os temas relativos às políticas de regulação, distribuição e estímulos a novos projetos, além da modernização do sistema de energia” (FIERGS, 2019). Participaram da discussão associações, entidades de representação, empresas privadas, professores e representantes de distribuidoras, os quais trataram sobre temáticas como o panorama do setor, políticas de regulação e tendências para o futuro (FIERGS, 2019).

Já em 2020 ocorreu o IV Fórum de Geração Distribuída – Tecnologias e Planejamento para o Futuro da Geração Distribuída. O evento foi realizado no Rio Grande do Sul e discutiu os impactos das mudanças no modelo de compensação de energia elétrica no sistema de distribuição. Alguns dos assuntos tratados foram: planejamento e futuro da geração distribuída, armazenamento de energia e cidades inteligentes. Participaram da discussão associações, entidades de representação, empresas privadas e professores (MERCOPAR, 2020).

O último evento da lista, também realizado em 2020, é a Tomada de Subsídios nº 11/2020 - Sobre Sistemas de Armazenamento, realizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Conforme a ANEEL, a inserção de recursos de armazenamento no sistema de energia elétrica é uma resposta aos desafios impostos pela transição energética - mudanças estruturais nas matrizes energéticas a longo e curto prazo, visando a segurança do abastecimento (ANEEL, 2020a).

Os eventos levantados nessa etapa mostram a movimentação dos atores do sistema de distribuição de energia e a evolução das regulamentações desse setor. A lista dos eventos ocorridos entre 2012 e 2020 auxiliam no entendimento do cenário estudado, ressaltando seu desenvolvimento ao longo do tempo.

A terceira etapa consistiu na **identificação as variáveis chave**. Essa etapa se relaciona com a anterior, visto que um evento pode ser entendido como uma mudança de comportamento em pelo menos uma variável relevante para a situação estudada (ANDRADE, 2006). A identificação das variáveis chave foi realizada a partir da pesquisa documental em registros oficiais e nas entrevistas realizadas, utilizando-se para isso a técnica de análise de conteúdo e contagem de frequência. A análise de conteúdo permite descrever de forma sistemática o conteúdo da mensagem, seja ela de fonte bibliográfica ou coletada por meio de entrevistas (BARDIN, 2011). O Quadro 10 apresenta as variáveis chave identificadas nessa pesquisa, categorizadas por perspectiva.

Quadro 10 – Variáveis chave.

Perspectiva	Variável	Contagem
Ambiental	01. Descarte de equipamentos	9
	02. Uso de usinas térmicas	1
	03. Uso de fontes não renováveis na fabricação de equipamentos	3
	04. Espaço físico para geração	2
	05. Preservação dos equipamentos	1
	06. Uso de fontes renováveis	2
	07. Alteração de fauna e flora	3
	08. Extração de combustíveis fósseis	1
	09. Uso de espaços ociosos em áreas urbanas e rurais	2
	10. Emissão de gases de efeito estufa	2
Econômica	11. Postergação de investimentos	6
	12. Receita das distribuidoras	3
	13. Cobrança aos consumidores	6
	14. Desenvolvimento de novos modelos de negócios pelas distribuidoras	1
	15. Necessidade de aumentar a capacidade da rede	5
	16. Passivo de créditos das distribuidoras	1

<i>Quadro 10 – Continuação</i>		
Econômica	17. Pagamento pelo uso da rede	2
	18. Geração local de empregos	2
	19. Pedidos de concessão de acesso da gd à rede/parecer de acesso	2
Social	20. Consumo de energia dos usuários com GD	7
	21. Exigência do consumidor	1
	22. Consciência do consumidor	2
	23. Necessidade de definição de políticas sobre armazenamento	1
	24. Mudanças na legislação	6
Técnica	25. Descontrole no nível de tensão da rede	4
	26. Necessidade de transitar energia na rede	1
	27. Intermitência	4
	28. Sobrecarga do sistema em horários de ponta	4
	29. Demanda de energia da rede	3
	30. Dispositivos de armazenamento	6
	31. Qualidade do produto/serviço	7
	32. Perda de energia por transporte	4
	33. Número de conexões GD	4

Fonte: Elaborado pela autora.

Na perspectiva ambiental foram identificadas 10 variáveis: Descarte de equipamentos, Uso de usinas térmicas, Uso de fontes não renováveis na fabricação de equipamentos, Espaço físico para geração, Preservação dos equipamentos, Uso de fontes renováveis, Alteração de fauna e flora, Extração de combustíveis fósseis, Uso de espaços ociosos em áreas urbanas e rurais e Emissão de gases de efeito estufa. A variável **(01) descarte de equipamentos** foi a que obteve a maior frequência, ou seja, foi mais citada nos dados analisados. Essa variável se refere ao descarte dos equipamentos envolvidos nas instalações de geração distribuída, como painéis solares, inversores, baterias, turbinas eólicas, entre outros. A variável **(02) uso de usinas térmicas** se refere ao quanto esse tipo de usina em particular precisa ser utilizado para garantir a energia demandada pelo sistema. A variável **(03) uso de fontes não renováveis** na fabricação dos equipamentos se refere as fontes utilizadas na matriz energética dos locais que fabricam os equipamentos envolvidos nas instalações de geração distribuída. A variável **(04) espaço físico para geração** se trata da quantidade de espaço necessária para gerar energia a partir de uma determinada fonte. A variável **(05) preservação dos equipamentos** se refere a preservação dos equipamentos da rede distribuição por meio de seu uso reduzido. A variável **(06) uso de fontes renováveis** se refere a utilização desse tipo de fonte para geração de energia. A variável **(07) alteração de fauna e flora** se refere as mudanças ocorridas na natureza a partir das intervenções realizadas para geração de energia. A variável **(08) extração de combustíveis fósseis** trata da quantidade de fontes não renováveis, como gás natural e carvão, que precisam ser extraídas

para garantir a energia demandada pelo sistema. A variável **(09) uso de espaços ociosos em áreas urbanas e rurais** se refere a quantidade desse tipo de espaço utilizada para gerar energia. A última variável se trata da **(10) emissão de gases de efeito estufa**, que se refere a quantidade de emissões de gases realizada pelo sistema.

A perspectiva econômica agrupou 9 variáveis: Postergação de investimentos, Receita das distribuidoras, Cobrança aos consumidores, Desenvolvimento de novos modelos de negócios pelas distribuidoras, Necessidade de aumentar a capacidade da rede, Passivo de créditos das distribuidoras, Pagamento pelo uso da rede, Geração local de empregos e Pedidos de concessão de acesso da gd à rede. As variáveis mais citadas foram **(11) postergação de investimentos**, que se refere a possibilidade das distribuidoras adiarem seus investimentos para melhorias nas redes de distribuição; e **(13) cobrança aos consumidores**, que trata dos valores cobrados aos consumidores na fatura de energia. Ambas as variáveis ocorreram 6 vezes nos dados analisados. Por sua vez, a variável **(12) receita das distribuidoras** se refere a quantidade arrecadada pelas distribuidoras, por meio do seu faturamento. A variável **(14) desenvolvimento de novos modelos de negócios pelas distribuidoras** se refere a possibilidade das distribuidoras adentrarem em mercados como o de geração distribuída, visando a diversificação de seus negócios. A variável **(15) necessidade de aumentar a capacidade da rede** se refere as ações necessárias para aumentar a quantidade de energia possível de ser transitada na rede de distribuição. A variável **(16) passivo de créditos das distribuidoras** trata dos créditos gerados a partir do sistema de compensação, que os consumidores têm o direito de usufruir. A variável **(17) pagamento pelo uso da rede** se refere ao valor pago pela utilização da rede de distribuição. A variável **(18) geração local de empregos** trata das contratações proporcionadas pelo sistema nas regiões próximas a instalações de geração distribuída. A última variável dessa perspectiva é **(19) pedidos de concessão de acesso da GD à rede/parecer de acesso**, a qual se refere aos pedidos realizados pelos consumidores para conectar suas instalações de geração distribuída à rede de distribuição e geram os pareceres de acesso pelas distribuidoras.

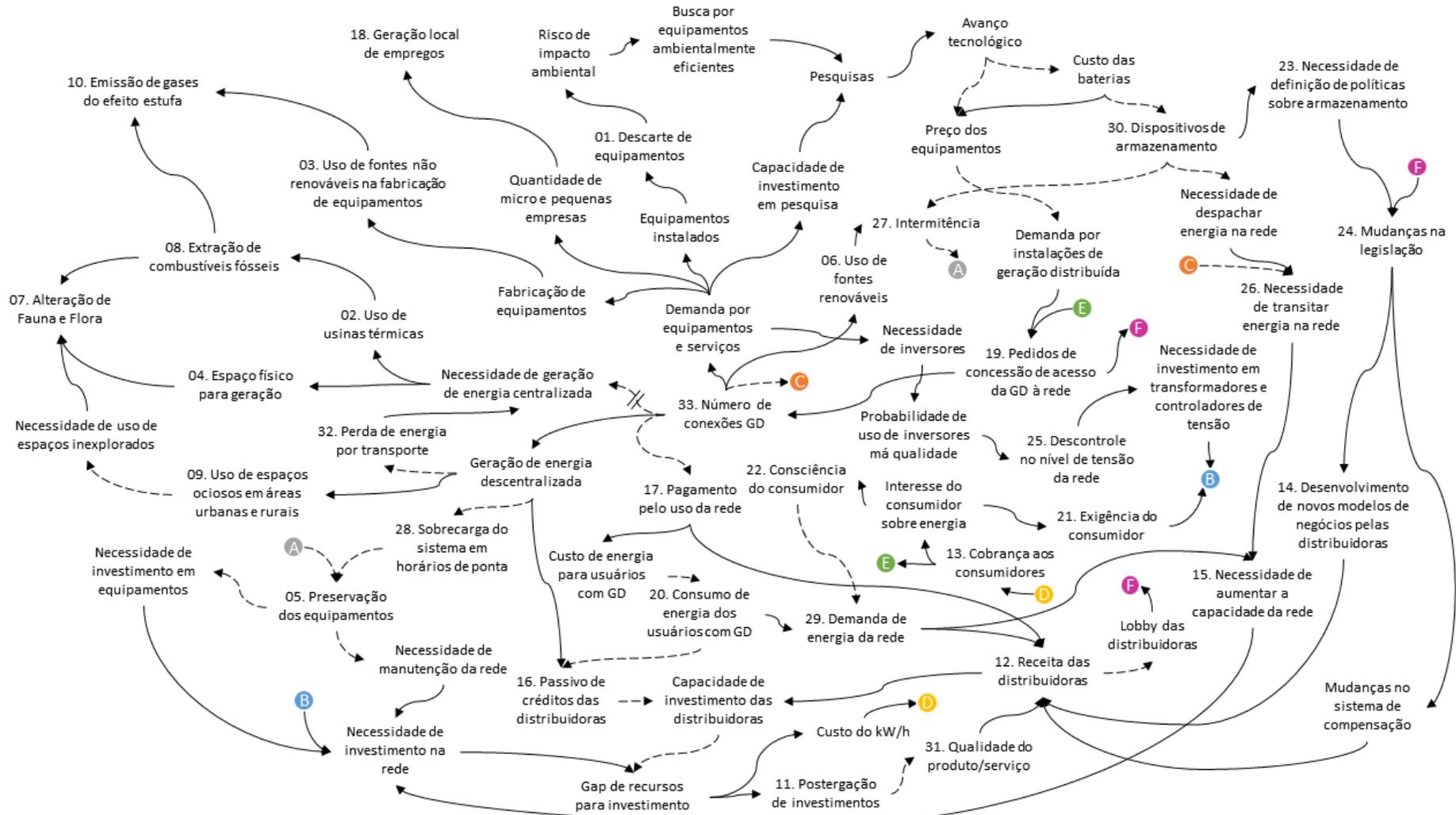
Na perspectiva social, foram identificadas 5 variáveis: Consumo de energia dos usuários com GD, Exigência do consumidor, Consciência do consumidor, Necessidade de definição de políticas sobre armazenamento e Mudanças na legislação. Desse grupo, a variável mais citada foi **(20) consumo de energia dos usuários com GD**, com 7 ocorrências. Essa variável se refere a quantidade de energia consumida pelos usuários que possuem instalações de geração distribuída. A variável **(21) exigência do consumidor** se refere ao nível de qualidade do serviço oferecido pela distribuidora que o consumidor exige. A variável **(22)**

consciência do consumidor se refere ao quanto os consumidores são conscientes acerca do seu próprio consumo de energia elétrica. A variável **(23) necessidade de definição de políticas sobre armazenamento** se refere a solicitação de novas legislações sobre o tema do armazenamento. A variável **(24) mudanças na legislação**, última desse grupo, trata das modificações realizadas nas políticas, resoluções e outros instrumentos legais que regem a relação da geração distribuída com o sistema de distribuição.

A perspectiva técnica agrupou 9 variáveis, que são: Descontrole no nível de tensão da rede, Necessidade de transitar energia na rede, Intermittência, Sobrecarga do sistema em horários de ponta, Demanda de energia da rede, Dispositivos de armazenamento, Qualidade do produto/serviço, Perda de energia por transporte e Número de conexões GD. A variável mais citada desse grupo foi **(31) qualidade do produto/serviço**, com 7 ocorrências. Essa variável se refere a qualidade do serviço realizado pela distribuidora em relação a frequência e duração das interrupções de fornecimento de energia elétrica. A variável **(25) descontrolado no nível de tensão da rede** se refere as desregulações de tensão ocorridas na rede de distribuição devido a fatores externos. A variável **(26) necessidade de transitar energia na rede** trata da quantidade de energia que deve circular na rede para garantir o fornecimento aos consumidores. A variável **(27) intermitência**, se refere a confiabilidade na geração de uma determinada fonte de energia. A variável **(28) sobrecarga do sistema em horários de ponta**, se refere aos horários críticos em que o sistema é mais demandado pela entrega de energia. A **variável (29) demanda de energia da rede** se refere ao montante de energia demandado para a rede de distribuição pelos consumidores. A variável **(30) dispositivos de armazenamento**, trata das baterias e equipamentos similares, utilizados para armazenar energia. A variável **(32) perda de energia por transporte** se refere a perda energética ocorrida quando a energia elétrica é transportada por meio das redes de transmissão e distribuição. Por sua vez, a variável **(33) número de conexões GD** está tratando da quantidade de instalações de geração distribuída conectadas à rede de distribuição.

Uma vez que as variáveis chave foram identificadas, passa-se para a etapa seguinte, **desenhar o mapa sistêmico**. Nessa etapa, são identificadas relações de causalidade utilizando-se os dados coletados e conhecimento do pesquisador (ANDRADE, 2006). Após, essas relações são modeladas no diagrama de enlace causal ou estrutura sistêmica. A Figura 19 apresenta a estrutura sistêmica desenvolvida nesta pesquisa.

Figura 19 – Estrutura sistêmica do impacto da geração distribuída no sistema de distribuição.



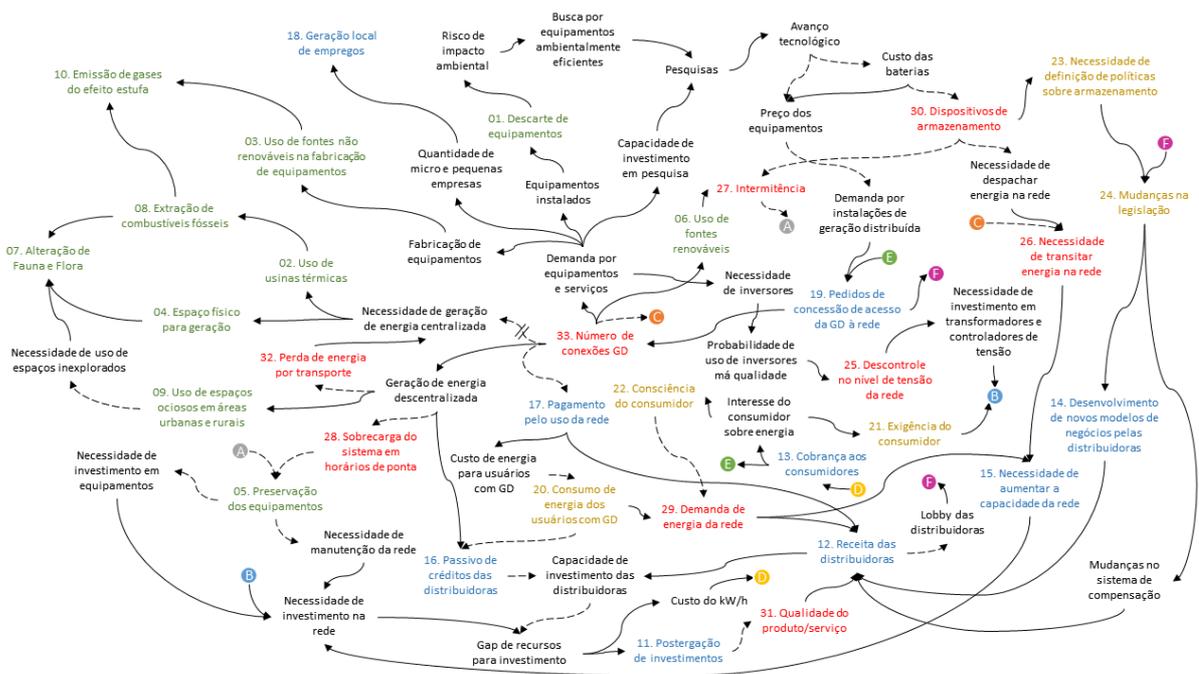
Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que além das variáveis chave, outras variáveis foram incluídas com o objetivo de explicitar as relações de causalidade. As relações de causalidade desenvolvidas também geraram os enlaces causais, que são apresentados na seção seguinte.

4.4. DISCUSSÃO

A discussão da estrutura sistêmica que representa o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição pode ser realizada por diferentes ângulos. O primeiro deles se refere ao posicionamento das variáveis chave no modelo, as quais foram divididas em quatro perspectivas: ambiental, econômica, social e técnica. A Figura 20 destaca o posicionamento das variáveis chave na estrutura sistêmica, onde cada perspectiva é apresentada com uma cor distinta.

Figura 20 – Variáveis chave na estrutura sistêmica.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação a perspectiva ambiental, destacada na cor verde, observa-se que a quantidade de equipamentos instalados impacta a variável **(01) descarte de equipamentos**, visto que quanto mais equipamentos de geração distribuída são instalados, maior é o descarte desses equipamentos. Por sua vez, o efeito do descarte de equipamentos é o risco de impacto ambiental, causado pelos equipamentos que chegaram ao fim de sua vida útil. Sobre a questão do descarte de equipamentos, foi relatado pelo entrevistado B que "em termos de reciclagem, ninguém tem a solução, ninguém recicla isso de uma forma comercial, em grande escala, de

forma eficiente. O que tem é muita pesquisa". Assim, embora existam regulamentações específicas sobre a reciclagem de equipamentos eletrônicos, ainda não há estruturas específicas para esse tipo de sistema devido a sua maturidade. Nesse sentido, há oportunidades de negócio nessa área.

A necessidade de geração centralizada impacta de forma direta na **variável (04) espaço físico para geração**. Assim, quanto menor a necessidade de geração centralizada, menos espaço precisa ser despendido para a construção de novas usinas. Outra relação de causalidade ocorre entre a variável necessidade de geração centralizada e a variável **(02) uso de usinas térmicas**. Isso ocorre, pois, quanto menor a necessidade de geração centralizada, menor é o acionamento das usinas térmicas, que por sua vez está relacionado a variável **(08) extração de combustíveis fósseis**. Assim, quanto menor o uso de usinas térmicas, menor a extração de combustíveis fósseis. Por sua vez, quanto menor a extração de combustíveis fósseis, menor a **(07) alteração na fauna e na flora** e menor a **(10) emissão de gases do efeito estufa**. A redução da emissão de gases de efeito estufa também foi objeto de análise em estudos como o de Revesz e Unel (2017).

A demanda por equipamentos e serviços de geração distribuída leva a uma maior fabricação de equipamentos. Essa fabricação dos equipamentos está conectada com a variável **(03) uso de fontes não renováveis na fabricação de equipamentos**. Isso ocorre, pois, a matriz energética que possibilitou a construção do equipamento para geração distribuída, por exemplo, painéis solares, inversores, entre outros, interfere no quanto essa fabricação pode ser considerada limpa. Visto que esse tipo de equipamento é importado e a matriz energética mundial de modo geral se baseia em fontes de energia derivadas de combustíveis fósseis, percebe-se que quanto mais equipamentos são fabricados, maior o uso de fontes não renováveis nessa fabricação. Por sua vez, quanto maior o uso de fontes não renováveis na fabricação de equipamentos, maior a **(10) emissão de gases do efeito estufa**.

Um aspecto derivado do maior número de conexões de geração distribuída é a própria geração descentralizada. Assim, quanto maior o número de conexões de geração distribuída, maior a quantidade de geração descentralizada. A geração descentralizada está conectada com a variável **(09) uso de espaços ociosos em áreas urbanas e rurais**. Isso ocorre na medida que o aumento da geração descentralizada aumenta o uso de "espaços que já tem um uso primário (no caso de telhados para a energia solar) e de forma geral espaços que não poderiam ser utilizados para as usinas convencionais de grande porte (terrenos próximos ou dentro de cidades, fazendas, fábricas, etc.)", conforme destaca o entrevistado K.

Outra variável identificada na perspectiva ambiental é o **(06) uso de fontes renováveis**. Essa variável destaca que quanto mais conexões de geração distribuída no sistema, maior o uso de fontes renováveis, o que reduz o consumo decorrente de combustíveis fósseis, mas aumenta a intermitência no sistema.

A última variável da perspectiva ambiental que cabe analisar é a **(05) preservação dos equipamentos**, que aumenta quando há uma menor sobrecarga do sistema de distribuição em horários de ponta. Por sua vez, quanto mais os equipamentos são preservados, menor a necessidade de investimento em equipamentos e menor a necessidade de manutenção da rede. Por outro lado, uma variável que pode interferir na preservação dos equipamentos é a intermitência derivada da geração a partir de fontes renováveis, visto que ela pode causar um desgaste nos equipamentos. Assim, quanto maior a intermitência, menor a preservação dos equipamentos.

Em relação a perspectiva econômica, destacada na cor azul, observa-se que uma maior demanda por equipamentos e serviços leva a uma maior quantidade de micro e pequenas empresas, criadas para atender a demanda crescente. A quantidade de micro e pequenas empresas está relacionada com a variável **(18) geração local de empregos**. Assim, quanto maior o número de micro e pequenas empresas, maior é a geração local de empregos.

A variável **(17) pagamento pelo uso da rede** deriva do número de conexões de geração distribuída. Assim, quanto maior o número de conexões, menor é o pagamento pelo uso da rede, visto que mais clientes estão gerando a sua própria energia. Além disso, quanto menor o pagamento pelo uso da rede, menor o custo de energia para os consumidores com geração distribuída e menor a **(12) receita das distribuidoras**.

A variável **(16) passivo de créditos das distribuidoras**, que se refere aos créditos gerados a partir do sistema de compensação, está conectada a geração de energia descentralizada e ao consumo de energia dos usuários com geração distribuída. Assim, quanto maior a geração de energia descentralizada, maior o passivo de créditos que as distribuidoras precisam lidar. Por outro lado, quanto maior o consumo de energia dos usuários com geração distribuída, menor o passivo de créditos. Esse passivo de créditos interfere na capacidade de investimento das distribuidoras, na medida que esse passivo financeiro diminui a possibilidade de investimento em outras áreas.

Em termos de investimento, o gap de recursos para investimento, ou seja, a diferença entre a capacidade de investimento das distribuidoras e a necessidade de investimento na rede,

leva à variável **(11) postergação de investimentos**. Dessa forma, quanto maior o gap de recursos para investimento, maior é a postergação de investimentos, visto que o gap identifica a falta de recursos em uma situação presente. Observa-se que, se por um lado a geração distribuída é capaz de postergar investimentos para o desenvolvimento de projetos de geração centralizada e para a construção de novas linhas de transmissão, por outro lado a falta de recursos para obras de reforço na rede, derivada por exemplo da variável **(15) necessidade de aumentar a capacidade da rede**, pode levar a uma menor qualidade do produto ou serviço, a qual interfere na **(12) receita das distribuidoras**.

A variável **(13) cobrança aos consumidores** está relacionada com o custo do quilowatt-hora. Assim, quanto maior o custo do quilowatt-hora, maior a cobrança. Por sua vez, a cobrança aos consumidores leva a um maior interesse do consumidor sobre energia, mas também à variável **(19) pedidos de concessão de acesso da GD à rede**, visto que a geração distribuída se torna mais atrativa quando a cobrança aos consumidores pela distribuidora é maior.

A última variável da perspectiva econômica é o **(14) desenvolvimento de novos modelos de negócios pelas distribuidoras**. Mojonero, Villacorta e Kuong (2018) destacam em seu estudo que a geração distribuída pode trazer uma redução na sustentabilidade financeira das distribuidoras. Isso posto, a variável **(14) desenvolvimento de novos modelos de negócios pelas distribuidoras** está relacionada com as mudanças de legislação, visto que são necessárias mudanças em aspectos regulatórios para que as distribuidoras possam explorar outras formas de ampliar sua receita. Desse modo, observa-se que, quanto maiores as mudanças na legislação, maior é o desenvolvimento de novos modelos de negócios pelas distribuidoras e, por consequência, maior é a receita das distribuidoras.

A perspectiva social, destacada na cor amarela, aborda dois aspectos. O primeiro está relacionado ao comportamento do consumidor, enquanto o segundo está relacionado a necessidade de mudanças no âmbito regulatório. Em relação ao comportamento do consumidor, observa-se que a variável **(20) consumo de energia dos usuários com GD** está relacionada com o custo de energia para usuários com GD. Assim, quanto menor o custo de energia para usuários com geração distribuída, maior o consumo e, por consequência, maior a demanda de energia da rede. Essa relação é reforçada pelo entrevistado H, que disse que “o consumidor acaba relaxando mais e se dando mais conforto uma vez que inconscientemente ele imagina que mesmo consumindo mais o valor da fatura de energia não trará surpresas no final do mês”. Por outro lado, o entrevistado P traz que a geração distribuída pode suprir uma necessidade que

antes não era atendida por falta de recursos, conforme destaca em sua fala: “o que a gente também tem percebido é que há uma ampliação dessa necessidade, não necessariamente uma vontade própria de consumir mais”. Esse ponto de vista sobre a necessidade pode auxiliar a entender por que, mesmo que o consumidor com geração distribuída se torne mais consciente do uso da energia, em alguns casos ele ainda aumenta seu consumo.

Acerca dos consumidores de energia de modo geral, observa-se que o interesse do consumidor sobre energia leva a uma maior **(22) consciência do consumidor** e uma maior **(21) exigência do consumidor**. Assim, quanto maior o interesse do consumidor, maior é a sua consciência e menor é a demanda de energia da rede. Além disso, quanto maior o interesse do consumidor, maior sua exigência em termos de qualidade do serviço, o que leva a uma maior necessidade de investimento na rede com o objetivo de manter ou aumentar essa qualidade.

Em relação ao segundo aspecto da perspectiva social, que seria o aspecto regulatório, observa-se que uma maior quantidade de dispositivos de armazenamento no sistema leva a uma maior **(23) necessidade de definição de políticas sobre armazenamento**. Por sua vez, essa variável leva a **(24) mudanças na legislação**. As mudanças na legislação podem ser desencadeadas pelo aumento do número de dispositivos de armazenamento, pelo aumento dos pedidos de concessão de acesso de geração distribuída à rede ou pelo *lobby* das distribuidoras, ou seja, sua influência frente aos órgãos reguladores, a qual pode ser motivada por uma redução de receita. As mudanças na legislação podem levar ao desenvolvimento de novos modelos de negócios pelas distribuidoras e a mudanças no sistema de compensação, visando o aumento de receita. O estudo sobre como a geração distribuída pode encadear mudanças nos aspectos regulatórios também é destacado na literatura (BELL; GILL, 2018; PEREIRA DA SILVA *et al.*, 2019; REVESZ; UNEL, 2017).

Na perspectiva técnica, destacada em vermelho, observa-se que quanto maior o **(33) número de conexões GD**, maior a geração descentralizada e, por consequência, menor a **(28) sobrecarga do sistema em horários de ponta**, o que aumenta a preservação dos equipamentos. Essa relação ocorre pois o pico de geração das unidades de geração distribuída, em sua maioria geração solar, ocorre no período de maior demanda energética do sistema, conforme destaca o estudo de Touretzky et al. (2016).

A geração de energia descentralizada também está relacionada a variável **(32) perda de energia por transporte**. Assim, quanto maior a geração descentralizada, menor a perda por transporte, visto que a geração ocorre próximo ao local de consumo. Por sua vez, uma menor perda por transporte gera uma menor necessidade de geração de energia centralizada.

Cabe destacar que há um atraso entre o número de conexões de geração distribuída e a necessidade de geração centralizada. Isso ocorre porque, mesmo que a geração centralizada não concorra diretamente com a geração distribuída, eventualmente a distribuidora notará um saldo positivo na quantidade de energia a ser ofertada. Uma vez que a distribuidora tenha entendido esse movimento, a quantidade de energia a ser adquirida por meio de leilões de geração centralizada será menor, visto que os consumidores também gerarão sua própria energia.

As fontes renováveis utilizadas na geração distribuída impactam no sistema no que diz respeito a **(27) intermitência**. Assim, quanto maior o uso de fontes renováveis, maior a intermitência e menor a preservação dos equipamentos. Esse impacto pode ser contrabalançado com o uso de **(30) dispositivos de armazenamento**. Nesse aspecto, podem ser destacadas as falas dos entrevistados O e F, os quais disseram, respectivamente: “se houvesse uma quantidade de baterias significativa distribuída na cidade, seria muito bom para sistema elétrico” e “com relação às baterias, eu acho que tecnicamente elas são muito vantajosas, por conseguir ajustar o fornecimento do teu sistema para o teu consumo... A única questão é que, economicamente, na maioria dos casos, ela ainda é inviável em função do alto custo”. Assim, quanto mais dispositivos de armazenamento, menor a necessidade de transitar energia na rede.

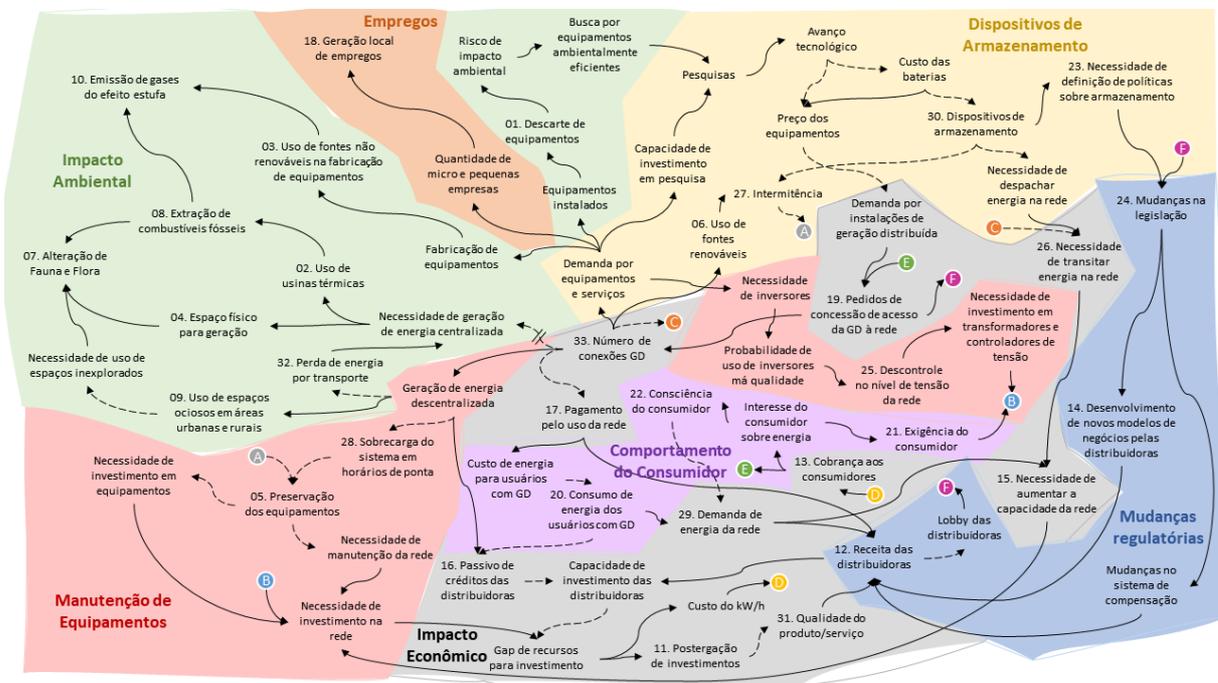
A variável **(25) descontrolo no nível de tensão da rede** está relacionada com o uso de inversores, o equipamento responsável pela conversão de energia gerada a partir da geração distribuída. Observa-se que quanto maior a probabilidade de uso de inversores má qualidade, maior o descontrolo no nível de tensão da rede. Esse foi um ponto destacado pelo entrevistado A: “o principal que eu vejo do ponto de vista técnico é nível de tensão... Nunca foi imaginado ou pensado desenvolver uma rede que fosse via de mão dupla”. Os desafios do controle de tensão também são discutidos na literatura (RAZAVI *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2011). Em contrapartida, há estudos indicando que a geração distribuída é capaz de melhorar a estabilidade e o perfil da tensão da rede (AMAN *et al.*, 2018; SINGH; MUKHERJEE; TIWARI, 2016).

As variáveis **(26) necessidade de transitar energia na rede** e **(29) demanda de energia da rede** possuem relações diretas com a necessidade de aumentar a capacidade da rede. Assim, quanto maior é a necessidade de transitar energia na rede ou quanto maior é a demanda de energia da rede, maior a necessidade de aumentar a capacidade da rede. Desse modo, percebe-se que, à medida que a geração descentralizada aumenta, ela também aumenta a sobrecarga do sistema.

A última variável da perspectiva técnica é a **(31) qualidade do produto/serviço**. Observa-se que quanto maior a postergação dos investimentos, menor é a qualidade do produto/serviço, no sentido de que, caso os investimentos não ocorram, há uma maior chance de ocorrer interrupções na entrega de energia. Por sua vez, quanto menor a qualidade do produto/serviço, menor é a receita das distribuidoras, visto que sua remuneração está atrelada a indicadores de qualidade.

Outro ângulo que pode auxiliar no entendimento da estrutura sistêmica é a análise a partir de agrupamentos, ou *clusters*. A Figura 21 destaca os agrupamentos temáticos realizados na estrutura sistêmica.

Figura 21 – Agrupamentos temáticos da estrutura sistêmica.



Fonte: Elaborado pela autora.

O primeiro *cluster*, destacado em verde, se refere ao impacto ambiental da geração distribuída no sistema de distribuição. Observa-se que, quanto mais equipamentos são inseridos no sistema, maior a quantidade de equipamentos descartados. Esse descarte leva a um risco ambiental, o que por sua vez pode aumentar a busca por equipamentos mais ambientalmente eficientes. Uma maior demanda por equipamentos também pode gerar o acionamento de matrizes energéticas baseadas em combustíveis fósseis, visto que esses equipamentos são na sua maioria importados. O que por sua vez leva a uma maior emissão de gases do efeito estufa. Por outro lado, a redução da necessidade de energia centralizada leva a uma menor emissão de gases do efeito estufa e menor alteração de fauna e flora. Além disso, a geração descentralizada

maximiza o uso de espaços ociosos em áreas urbanas e rurais, além de reduzir as perdas por transporte, visto que a geração ocorre mais próxima da carga ou consumo. Os espaços ociosos também possuem relação com as usinas híbridas.

O *cluster* “empregos”, destacado em laranja, aponta que uma maior demanda por equipamentos e serviços leva a uma maior quantidade de micro e pequenas empresas. Por consequência, essas empresas levam a um maior desenvolvimento local por meio da geração de empregos.

O *cluster* destacado em vermelho se refere a manutenção dos equipamentos da rede. Observa-se que algumas variáveis demandam uma maior manutenção desses equipamentos, enquanto outras apontam para sua preservação. Por exemplo, fatores como a intermitência e a probabilidade de uso de inversores de má qualidade levam a uma maior manutenção de equipamentos. Por outro lado, a redução da sobrecarga em horários de ponta leva a uma maior preservação dos equipamentos e, conseqüentemente, a uma menor necessidade de investimentos e manutenção.

O *cluster* “dispositivos de armazenamento”, destacado em amarelo, demonstra que a demanda por equipamentos e serviços gera uma maior capacidade de investimento em pesquisas, o que impulsiona o avanço tecnológico. Esse avanço tecnológico reduz o custo das baterias, o que aumenta a quantidade de dispositivos de armazenamento no sistema. Esses dispositivos de armazenamento atuam reduzindo a intermitência das fontes renováveis e a necessidade de despachar energia na rede.

O *cluster* destacado em lilás trata do comportamento do consumidor. Em relação aos consumidores que possuem unidades de geração distribuída instaladas, observa-se que a redução do custo de energia eleva o consumo desses usuários. Nesse sentido, a partir de uma análise pela identificação do consumidor pessoa física ou jurídica na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pode-se verificar que, após uma instalação inicial, em alguns casos há um novo pedido de instalação, visando aumentar a potência instalada na sua unidade (ANEEL, 2020c).

Já em relação aos consumidores de modo geral, é visto que o aumento do custo do quilowatt-hora eleva a cobrança aos consumidores, a qual possui dois efeitos: primeiro, o aumento da consciência do consumidor, que pode diminuir o seu consumo e a demanda de energia da rede. O segundo efeito está relacionado com o aumento da exigência do consumidor,

que leva a uma maior necessidade de investimento na rede a fim de manter ou aumentar a qualidade do serviço fornecido pela distribuidora.

O *cluster* “mudanças regulatórias”, em azul, mostra que a mudança de legislação pode ocorrer a partir do aumento do número de dispositivos de armazenamento, dos pedidos de concessão de acesso de geração distribuída à rede ou pela influência das distribuidoras frente aos órgãos reguladores. Essas mudanças aumentam a possibilidade de que as distribuidoras diversifiquem seus negócios. Outro efeito é uma mudança no sistema de compensação, visando o aumento de receita por parte da distribuidora.

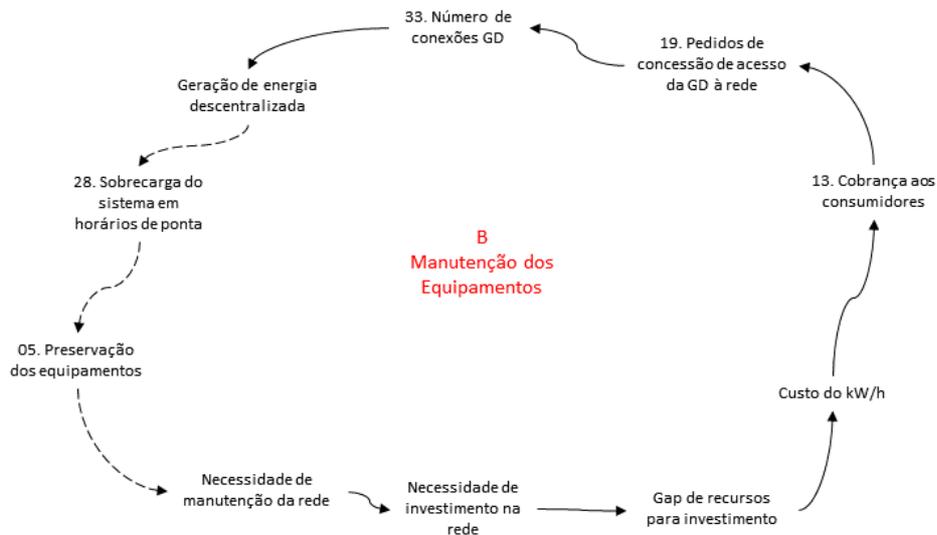
O *cluster* em cinza, denominado “impacto econômico”, apresenta como a redução no pagamento pelo uso da rede pode levar a um aumento no custo da energia para os consumidores de modo geral. Observa-se que quanto maior o gap de investimentos, maior o custo do quilowatt-hora e maior a cobrança aos consumidores. Quanto maior a cobrança aos consumidores, maior a quantidade de pedidos de concessão de acesso da geração distribuída à rede. Assim, uma maior cobrança por parte das distribuidoras aumenta o interesse dos consumidores em instalar unidades de geração distribuída, visto que essa tecnologia se torna mais financeiramente atrativa.

Os *clusters* descritos anteriormente estão relacionados com as perspectivas apresentadas na primeira análise dessa discussão. A perspectiva ambiental está relacionada com o *cluster* em verde, que leva o mesmo nome. A perspectiva econômica está associada com os *clusters* empregos e impacto econômico. A perspectiva social relaciona-se com os *clusters* comportamento do consumidor e mudanças regulatórias. Já a perspectiva técnica está relacionada com os *clusters* manutenção de equipamentos e dispositivos de armazenamento.

Outro ângulo sob o qual vale discutir a estrutura sistêmica é em relação aos enlaces. A Figura 22 apresenta o enlace denominado **manutenção de equipamentos**, que é do tipo balanceador, ou enlace de equilíbrio. Esse enlace pode ser entendido a partir da variável **(33) número de conexões GD**. Quanto maior o número de conexões de geração distribuída, maior a quantidade de geração centralizada. Quanto mais geração centralizada, menor a **(28) sobrecarga do sistema em horários de ponta**, sobretudo considerando-se a fonte fotovoltaica. Quanto menor a sobrecarga do sistema, maior a **(05) preservação dos equipamentos**. Quanto maior a preservação dos equipamentos, menor a necessidade de investimento em equipamentos e menor a necessidade de manutenção da rede. Por consequência, menor a necessidade de investimento na rede. Quanto menor a necessidade de investimento na rede, menor o gap de recursos para investimento. Com isso, menor é o custo do quilowatt-hora e menor é a **(13)**

cobrança aos consumidores. Quanto menor a cobrança aos consumidores, menor é a quantidade de **(19) Pedidos de concessão de acesso da GD à rede** e menor é o **(33) número de conexões GD**. Esse enlace demonstra que a economia derivada da preservação dos equipamentos pode reduzir a cobrança realizada aos consumidores, diminuindo assim o interesse na geração distribuída.

Figura 22 – Enlace manutenção de equipamentos.



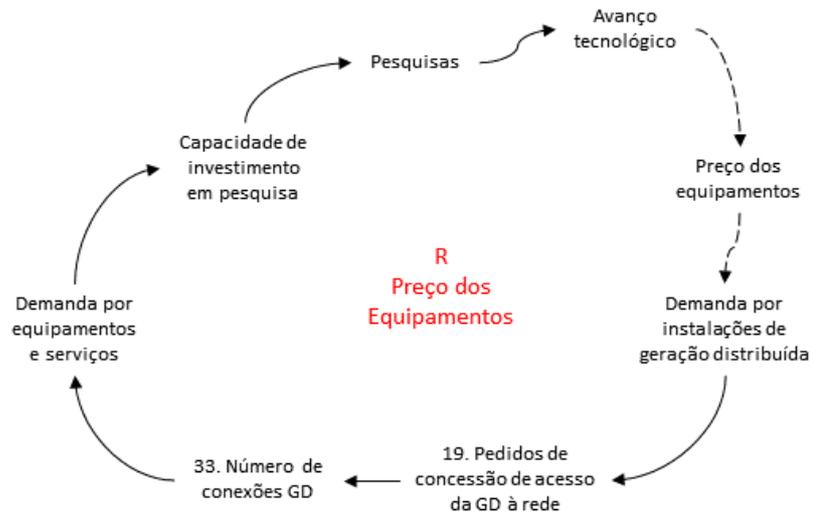
Fonte: Elaborado pela autora.

A preservação dos equipamentos foi destacada pelo entrevistado D, na seguinte fala: "de uma certa forma, essa redução de carga, num contexto brasileiro é obvio que vai representar uma menor necessidade entre intercâmbios energéticos entre supermercados então isso vai preservar a vida útil de todos esses equipamentos de distribuição". Cabe destacar que, embora exista a percepção de que geração distribuída pode auxiliar na preservação dos equipamentos da rede de distribuição, não foram encontrados estudos que evidenciassem quais desses equipamentos especificamente geram esse efeito. Por outro lado, essa análise poderia ser realizada considerando-se os alimentadores das distribuidoras.

Outro enlace presente na estrutura sistêmica está relacionado ao preço dos equipamentos de geração distribuída e se trata de um enlace de reforço. A Figura 23 apresenta esse enlace, denominado **preço dos equipamentos**. Observa-se que, quanto maior o **(33) número de conexões GD**, maior a demanda por equipamentos e serviços. Quanto maior a demanda por equipamentos e serviços, maior a capacidade de investimento em pesquisa. Essa capacidade de investimento aumenta as pesquisas, as quais fomentam o avanço tecnológico. Quanto maior o avanço tecnológico, menor o preço dos equipamentos, o que aumenta a

demanda por instalações de geração distribuída. Quanto maior a demanda por instalações, maior a quantidade de **(19) pedidos de concessão de acesso da GD à rede**, o que eleva o **(33) número de conexões GD**. Esse enlace demonstra que o preço dos equipamentos influencia a quantidade de instalações de unidades de geração distribuída.

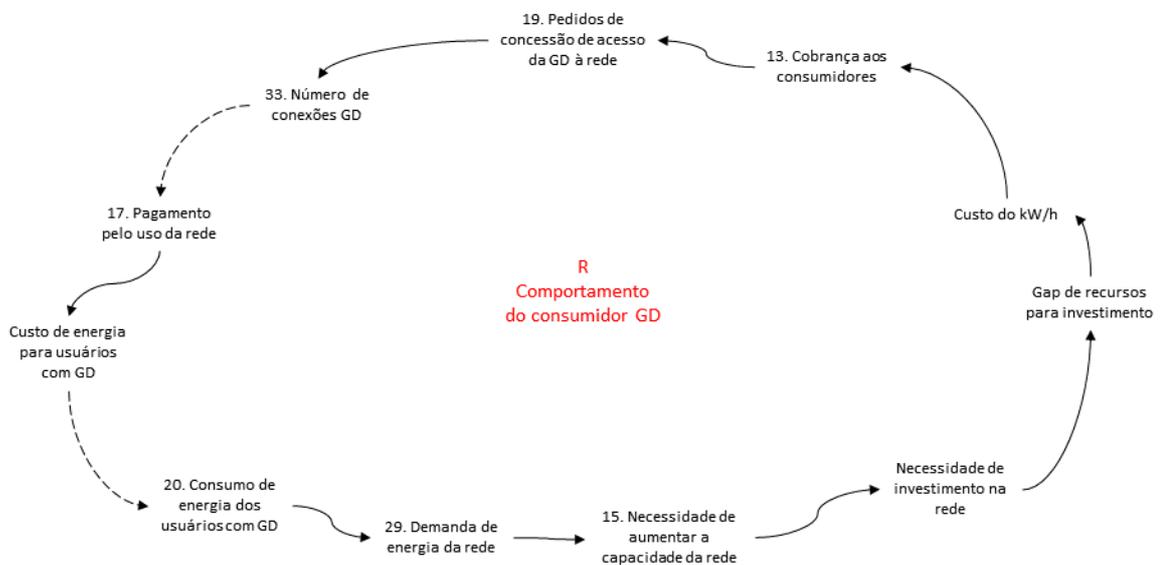
Figura 23 – Enlace preço dos equipamentos.



Fonte: Elaborado pela autora.

O enlace reforçador denominado **comportamento do consumidor GD** trata do aumento da necessidade de investimento na rede em função do aumento da geração distribuída. Esse enlace é demonstrado na Figura 24.

Figura 24 – Comportamento do consumidor GD.

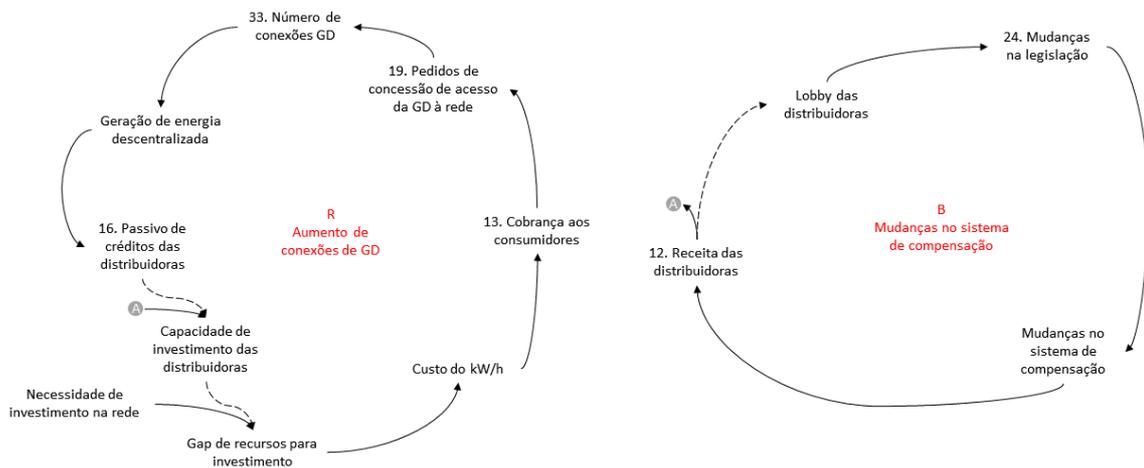


Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que, quanto maior o **(33) número de conexões GD**, menor o **(17) pagamento pelo uso da rede**, o que eleva o consumo de energia dos usuários de geração distribuída. Quanto maior o **(20) consumo de energia dos usuários com GD**, maior a **(29) demanda de energia da rede**, o que aumenta a necessidade de aumentar a capacidade da rede. Essa necessidade de aumento de capacidade aumenta a necessidade de investimento na rede, o que amplia o gap de investimentos. Quanto maior o gap de investimentos, maior o custo do quilowatt-hora e maior a **(13) cobrança aos consumidores**. Quanto maior a cobrança, maior os **(19) pedidos de concessão de acesso da GD à rede** e maior o **(33) número de conexões GD**. Esse enlace demonstra que ao aumento do consumo dos usuários com geração distribuída pode levar a saturação do sistema de distribuição, devido aos investimentos necessários para manter a qualidade da rede.

Os próximos dois enlaces são apresentados juntos, visto que ambos estão conectados pela variável **(12) receita das distribuidoras**. O primeiro deles se trata de um enlace de reforço e o segundo de um enlace de equilíbrio. A Figura 25 apresenta ambos os enlaces, denominados **aumento de conexões de GD e mudanças no sistema de compensação**.

Figura 25 – Enlaces aumento de conexões de GD e mudanças no sistema de compensação.



Fonte: Elaborado pela autora.

O enlace **aumento de conexões de GD** é do tipo reforçador e mostra como o aumento da cobrança aos consumidores pode aumentar a quantidade de conexões de geração distribuída. Observa-se que quanto maior o número de conexões de geração distribuída, maior a geração de energia descentralizada. Quanto maior a geração de energia descentralizada, maior o passivo de créditos das distribuidoras, o que diminui a capacidade de investimento dessas empresas.

Essa capacidade de investimento atrelada a uma necessidade de investimentos na rede, gera um gap de recursos para investimentos. Quanto maior o gap de recursos para investimento, ou seja, quanto mais a distribuidora necessita de recursos para realizar investimentos, maior o custo repassado aos consumidores, por meio do aumento do quilowatt-hora. Quanto maior o custo do quilowatt-hora, maior a cobrança aos consumidores. Por sua vez, quanto maior a cobrança aos consumidores, maior o número de pedidos de concessão de acesso da geração distribuída à rede, o que eleva o número de conexões. Assim, os consumidores são motivados a instalar unidades de geração distribuída visando diminuir os seus próprios custos.

O enlace reforçador do aumento do número de conexões de GD se conecta com o enlace de equilíbrio por meio da variável **(12) receita das distribuidoras**. Assim, quanto menor a receita das distribuidoras, maior o *lobby* das distribuidoras. Esse *lobby* leva a uma maior mudança na legislação, o que por sua vez motiva mudanças no sistema de compensação.

Esse movimento em direção a mudanças no sistema de compensação está de acordo com a Consulta Pública iniciada em 2019 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que trata da revisão da Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2019b). Cabe destacar que um estudo aprofundado sobre a evolução da receita das distribuidoras se faz necessário, visto que a percepção entre os atores do sistema é divergente. A coleta de dados a partir dos atores que representam as distribuidoras sugere que há uma tendência apontando para a diminuição da receita desse ator. Entretanto, os dados coletados junto a associações e entidades representantes da geração distribuída sugere que a receita das distribuidoras está aumentando. Uma justificativa para essa divergência seria que os dados disponibilizados por meio de demonstrativos contábeis, econômicos e administrativos podem ser mais específicos. Além disso, os atores podem realizar de forma conjunta um estudo que valore a participação da geração distribuída no aumento ou na diminuição da receita da distribuidora. Esse estudo pode auxiliar de forma quantitativa no entendimento do impacto que a geração distribuída tem no equilíbrio econômico-financeiro da distribuidora.

Outro ponto a ser destacado é que os estudos que valoram o aumento da cobrança aos consumidores que não possuem geração distribuída em função daqueles que possuem ainda são muito insipientes. Desse modo, há uma dificuldade em quantificar o quanto os consumidores que não possuem geração distribuída estão pagando a mais em função das novas conexões de geração distribuída.

Acerca do uso de usinas térmicas, cabe destacar que tarifa repassada ao consumidor aumenta quando o Sistema Elétrico Nacional precisa acionar as termelétricas por meio de fontes

como gás natural, carvão, entre outros. Já em relação a quantidade de energia adquirida pela distribuidora, o processo da compra de energia passa pelo processo de identificar o consumo e a demanda no ano anterior a compra. Assim, a compra da energia para o ano corrente é com base no consumo e na demanda do ano anterior, considerando fatores de correção. Esse montante de energia é adquirido em leilão. Quando essa energia chega nas subestações, a partir dali ela vai para os alimentares. Nesses alimentadores que esse cálculo é percebido. Ali há também energia sendo injetada pelos consumidores de forma inversa por meio da geração distribuída, a qual é somada a energia adquirida da geração centralizada com base nos modelos de previsão de consumo. Um ponto importante é que a distribuidora possa estudar formas de incluir a quantidade prevista de geração distribuída em seus modelos. Também é necessário verificar como seria possível em termos regulatórios justificar uma correção desse montante a ser comprado no próximo ano.

Essa prática levaria a uma diminuição na compra de energia em função da geração distribuída. Assim, o que antes era identificado como uma diminuição de receita, agora passa a ser uma diminuição de custo. Assim, por mais que os consumidores estejam pagando menos, a distribuidora também vai obter uma diminuição do seu custo no momento da compra de energia, visto que ela vai receber parte da energia gerada pelos consumidores da sua área de concessão.

Além das mudanças no sistema de compensação mencionadas, pode-se prever modelos específicos para os consumidores de geração distribuída que utilizam a rede de distribuição de uma forma mais intensiva, por exemplo, os consumidores que possuem geração compartilhada ou autoconsumo remoto. Essa prática é observada atualmente em alguns sistemas, sendo que sua ampliação pode ser uma alternativa na direção da sustentabilidade do sistema como um todo.

Entende-se que os atores do sistema ainda estão entendendo como as variáveis que representam o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição estão relacionadas. Assim, ainda são necessários estudos que valorem de forma quantitativa esse impacto. Esse trabalho ajuda nesse sentido, permitindo que as distribuidoras e os demais atores entendam melhor as relações entre as variáveis e busquem os valores específicos relacionados aos ganhos ou perdas em termos financeiros envolvendo a geração distribuída. Por fim, cabe destacar a importância da distribuidora enquanto ator no sistema (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Desse modo, garantir a sustentabilidade das distribuidoras é estratégico para o sistema como um todo, visando a qualidade e a garantia do fornecimento de energia para todos os consumidores.

5. CONCLUSÃO

O entendimento de forma sistêmica dos impactos da geração distribuída no sistema de distribuição permitiu verificar as variáveis chave para esse sistema e os enlaces envolvendo o aumento do número de conexões de geração distribuída e as mudanças no sistema de compensação. As relações de causalidade demonstradas nesse trabalho tornaram o relacionamento entre as variáveis mais claro, evidenciado seus impactos no sistema.

A construção de uma base de conhecimento acerca de fontes renováveis, geração distribuída e pensamento sistêmico permitiu analisar o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição por meio de uma ótica holística. Assim, o objetivo desse trabalho foi esclarecer as variáveis que impactam o sistema, as quais foram divididas em perspectivas, sendo elas as perspectivas ambiental, econômica, social e técnica.

Em termos metodológicos, essa pesquisa enquadrou-se como um estudo de caso. Primeiramente, realizou-se a estrutura conceitual e o planejamento do caso. Nessa etapa, a pesquisa foi delineada em termos metodológicos e realizou-se uma revisão sistemática de literatura visando coletar os impactos da geração distribuída no sistema de distribuição. Os fatores encontrados na literatura foram utilizados para a construção do roteiro de entrevistas, utilizado na etapa seguinte, a coleta de dados.

A coleta de dados foi realizada por meio de análise documento e entrevistas com atores do sistema de distribuição, entre eles consultores, empresários, associações, usuários de geração distribuída, professores e pesquisadores. Após, partiu-se para a análise dos dados, realizada a partir do modelo adaptado de Andrade (2006). A análise de dados teve como etapas a definição da situação complexa de interesse, a apresentação da história por meio de eventos, a identificação das variáveis chave e o desenho do mapa sistêmico.

A última etapa prevista no método foi a análise do aprendizado, obtido por meio da estrutura sistêmica. Para isso, foram realizadas análises que envolveram identificar o posicionamento das variáveis chave na estrutura sistêmica, o agrupamento das variáveis em grupos temáticos e a análise dos enlaces da estrutura.

O posicionamento das variáveis chave na estrutura demonstrou que o descarte dos equipamentos utilizados nos sistemas de geração distribuída está aumentando, o que deve gerar mais pesquisas sobre o tema. Também, o avanço tecnológico derivado da maior capacidade de realização de pesquisas deve reduzir o preço dos equipamentos e aumentar a quantidade de dispositivos de armazenamento conectados aos sistemas de geração distribuída.

Observou-se que a geração distribuída pode reduzir as emissões de gases do efeito estufa e as alterações de fauna e flora. Entretanto, cabe destacar que a fabricação dos equipamentos, por exemplo, painéis solares e inversores, influenciam no aumento das emissões de gases do efeito estufa, tendo em vista a matriz energética utilizada para a fabricação desses painéis.

Os equipamentos da rede de distribuição podem ser preservados por meio da geração distribuída, uma vez que ela contribui para diminuir a sobrecarga do sistema em horários de ponta. Entretanto, é possível que a intermitência atrelada às fontes renováveis gere um desgaste nesses equipamentos. Também, embora exista a percepção de que os equipamentos da rede de distribuição são preservados em função da geração distribuída, ainda são necessários estudos que identifique quais são esses equipamentos de forma mais específica.

O gap de investimentos observado pelas distribuidoras pode levar a uma maior postergação dos seus investimentos. Por sua vez, esse gap pode levar a uma diminuição na qualidade do produto/serviço. Essa diminuição na qualidade faz com que as distribuidoras gerem menos receita, uma vez que seus recebimentos estão vinculados a indicadores de qualidade.

A redução do custo da energia para os consumidores que possuem geração distribuída contribui para o aumento do seu consumo. Entretanto, quando a cobrança aos consumidores em geral aumenta, observa-se que o consumidor se torna mais consciente, o que pode reduzir a demanda de energia da rede, mas também aumentar a exigência do consumidor em termos de qualidade.

O agrupamento das variáveis em grupos temáticos, ou clusters, permitiu analisar a estrutura em termos de impactos ambientais e econômicos, geração de empregos, comportamento do consumidor, mudanças regulatórias, manutenção dos equipamentos da rede de distribuição e dispositivos de armazenamento. Em relação à geração de empregos, observou-se que uma maior demanda por equipamentos e serviços leva a uma maior quantidade de micro e pequenas empresas, as quais aumentam o desenvolvimento local por meio da geração de empregos.

Destacou-se dois enlaces provenientes da estrutura sistêmica, um do tipo reforçador, denominado “aumento de conexões de GD” e outro de equilíbrio, denominado “mudanças no sistema de compensação”. Essa análise permitiu entender que quanto maior o número de conexões de geração distribuída, maior a geração de energia descentralizada. Quanto maior a

geração de energia descentralizada, maior o passivo de créditos das distribuidoras, o que diminui a capacidade de investimento dessas empresas. Quanto mais a distribuidora necessita de recursos para realizar investimentos, maior o custo repassado aos consumidores. Por sua vez, quanto maior a cobrança aos consumidores, maior o número de pedidos de concessão de acesso da geração distribuída à rede, o que eleva o número de conexões. Assim, os consumidores são motivados a instalar unidades de geração distribuída visando diminuir os seus próprios custos. Também foi observado que quanto menor a receita das distribuidoras, maior o *lobby* dessas empresas. Esse *lobby* leva a uma maior mudança na legislação, o que por sua vez motiva mudanças no sistema de compensação.

Em termos de limitações, foi destacado que esta pesquisa teve como contexto as instalações de geração distribuída conectadas à rede. Assim, os sistemas do tipo off-grid não foram contemplados no estudo. Este estudo também não considerou a relação da geração distribuída com o mercado livre de energia. Outra limitação dessa pesquisa se refere a estrutura sistêmica apresentada, a qual foi elaborada a partir de entrevistas e análise documental, de modo que representa a visão do grupo que produziu os dados analisados.

Em termos de trabalhos futuros, ressalta-se a necessidade de entender melhor quais equipamentos são impactados pela geração distribuída. Além disso, outro ponto não abordado nesse trabalho é o impacto da inadimplência dos consumidores que possuem geração distribuída em relação às empresas integradoras. As empresas integradoras são responsáveis pelo projeto e instalação do sistema de geração distribuída junto ao consumidor. Caso o consumidor torne-se inadimplente frente a essas empresas, a saúde financeira dessas integradoras poderá ser comprometida. Novos estudos podem buscar entender o impacto da sustentabilidade das integradoras no sistema de distribuição.

Por fim, ainda são necessários estudos que valorem de forma quantitativa o impacto da geração distribuída no sistema de distribuição. Ressalta-se que esse impacto será mais bem observado naquelas áreas de concessão em que o nível de inserção de geração distribuída é mais significativo. As variáveis apresentadas nesse estudo e as suas relações de causalidade podem contribuir nesse entendimento. Este estudo destacou o papel das distribuidoras frente ao sistema de distribuição, apresentando que a garantir a sustentabilidade das distribuidoras é estratégico para o sistema, visando o atendimento dos consumidores atuais e futuros.

REFERÊNCIAS

ABGD. **Dados Mercado**. [S. l.], 2020.

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: A definition. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 195–204, 2001. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(01\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(01)00101-8)

AGÜERO, J. R.; STEFFEL, S. J. Integration challenges of photovoltaic distributed generation on power distribution systems. *In:* , 2011. **2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting**. [S. l.]: IEEE, 2011. p. 1–6.

AHMAD, N.; MEHMOOD, R. Enterprise systems and performance of future city logistics. **PRODUCTION PLANNING & CONTROL**, 2-4 PARK SQUARE, MILTON PARK, ABINGDON OR14 4RN, OXON, ENGLAND, v. 27, n. 6, SI, p. 500–513, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1147098>

ALENCAR, A. A. C. A rodovia BR-163 e o desafio da sustentabilidade. **MAPAS: Monitoramento ativo da participação da sociedade**, [s. l.], 2005.

AMAN, M. A. *et al.* Analyzing the diverse impacts of conventional distributed energy resources on distribution system. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 390–396, 2017.

AMAN, M. A. *et al.* Mitigating the adverse impact of un-deterministic distributed generation on a distribution system considering voltage profile. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 2998–3003, 2018.

AMELI, A. *et al.* A multiobjective particle swarm optimization for sizing and placement of DGs from DG owner's and distribution company's viewpoints. **IEEE Transactions on Power Delivery**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 1831–1840, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2300845>

AMEUR, A. *et al.* Analysis of renewable energy integration into the transmission network. **Electricity Journal**, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, B.P 242, Morocco, v. 32, n. 10, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106676>

ANDERSON, D.; LEACH, M. Harvesting and redistributing renewable energy: On the role of gas and electricity grids to overcome intermittency through the generation and storage of hydrogen. **Energy Policy**, [s. l.], v. 32, n. 14, p. 1603–1614, 2004. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00131-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00131-9)

ANDRADE, L. A. **Pensamento Sistêmico: Caderno de Campo [Systems Thinking: Fieldbook]**. [S. l.]: Bookman: Porto Alegre, Brazil, 2006.

ANEEL. **Aberta tomada de subsídios sobre Sistemas de Armazenamento**. [S. l.], 2020a. Available at: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/20925936. Acesso em: 1 mar. 2021.

ANEEL. **ANEXO À RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 674/2015, DE 11 DE AGOSTO DE 2015**. [S. l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2015a.

ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil**. [S. l.], 2020b.

ANEEL. **Geração Distribuída**. [S. l.], 2020c. Available at: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 8 out. 2020.

- ANEEL. **Geração Distribuída**. [S. l.], 2015b. Available at: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 25 fev. 2021.
- ANEEL. **Nota Técnica nº 0043/2010–SRD/ANEEL, de 08/09/2010**. [S. l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2010.
- ANEEL. **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição - Edição 01/2019**. [S. l.: s. n.], 2019a. Available at: https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relatório+Perdas+de+Energia_+Edição+1-2019-02-07.pdf/d7cc619e-0f85-2556-17ff-f84ad74f1c8d#:~:text=As perdas totais representaram 14,não técnicas 33%2C3 TWh.
- ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA 517, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2012**. [S. l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2012a.
- ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. [S. l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2012b.
- ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015**. [S. l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2015c.
- ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 786, DE 17 DE OUTUBRO DE 2017**. [S. l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2017.
- ANEEL. **Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública**. [S. l.], 2019b. Available at: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877. Acesso em: 1 mar. 2021.
- ARNOLD, M.; FRIEDE, W.; MYRZIK, J. Challenges in future distribution grids-A review. **Renewable Energy and Power Quality Journal**, Bosch Thermotechnik GmbH, Postfach 1309, Wernau, 73243, Germany, v. 1, n. 11, p. 208–213, 2013. Available at: <https://doi.org/10.24084/repqj11.258>
- BARDIN, L. Análise de Conteúdo. 70ª edição. **São Paulo: Livraria Martins Fontes**, [s. l.], 2011.
- BARKER, P. P.; DE MELLO, R. W. Determining the impact of distributed generation on power systems: Part 1 - Radial distribution systems. *In*: , 2000, Seattle, WA. **Proceedings of the 2000 Power Engineering Society Summer Meeting**. Seattle, WA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2000. p. 1645–1656. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0037478677&partnerID=40&md5=df3818a5ea57f373c356bdd589d97a06>
- BELL, K.; GILL, S. Delivering a highly distributed electricity system: Technical, regulatory and policy challenges. **Energy Policy**, [s. l.], v. 113, p. 765–777, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.039>
- BELLINI, E. **Net metering introduced in Albania**. [S. l.], 2019a. Available at: <https://www.pv-magazine.com/2019/06/21/net-metering-introduced-in-albania/>.
- BELLINI, E. **Poland launches €235 million solar rebate program**. [S. l.], 2019b.
- BELLINI, E. **Turkey introduces net metering for residential PV and new rules for unlicensed solar**. [S. l.], 2019c.
- BIRD, S.; HOTALING, C. Multi-stakeholder microgrids for resilience and sustainability. **Environmental Hazards**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 116–132, 2017.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **The craft of research**. Chicago. [S. l.]: USA: University of Chicago Press, 2008.

BORGES, C. L. T. An overview of reliability models and methods for distribution systems with renewable energy distributed generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 4008–4015, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.055>

BORGES, C. L. T.; FALCÃO, D. M. Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, Federal University of Rio de Janeiro, P.O. Box 68516, 21945-970 Rio de Janeiro, RJ, Brazil, v. 28, n. 6, p. 413–420, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2006.02.003>

BRAINARD, J.; HUNTER, P. R. Do complexity-informed health interventions work? A scoping review. **Implementation Science**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 127, 2015.

BRASIL. **Contribuição apresentada pelo Brasil às Nações Unidas (“iNDC”) para o acordo sobre mudança do clima que será adotado na Conferência de Paris (COP-21) – 27 de setembro de 2015**. Brasília: [s. n.], 2015. Available at: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf.

BROWN, R. E. Impact of Smart Grid on Distribution System design. *In*: , 2008. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2008. Available at: <https://doi.org/10.1109/PES.2008.4596843>

BUENO, J. **A matriz energética brasileira: situação atual e perspectivas**. Rio de Janeiro: Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústrias e Serviços do Rio de Janeiro, 2013.

CAAMAÑO-MARTÍN, E. *et al.* Interaction between photovoltaic distributed generation and electricity networks. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 629–643, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1002/pip.845>

CABRERA, D.; COLOSI, L.; LOBDELL, C. Systems thinking. **Evaluation and program planning**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 299–310, 2008.

CAMILO, H. F. *et al.* Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 71, n. December 2016, p. 712–719, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.099>

CANCA, D.; ARCOS-VARGAS, Á.; NÚÑEZ, F. Blackout risk mitigation by using medium size gas turbines. **Energy**, School of Engineering, Department of Industrial Engineering and Management Science, University of Seville, Spain, v. 148, p. 32–48, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.113>

CAPPELLE, M. C. A.; MELO, M. C. de O. L.; GONÇALVES, C. A. Análise de conteúdo e análise de discurso nas ciências sociais. **Organizações Rurais e Agroindustriais/Rural and Agro-Industrial Organizations**, [s. l.], v. 5, n. 1511-2016–131205, 2003.

CARTELLE BARROS, J. J. *et al.* Comparative analysis of direct employment generated by renewable and non-renewable power plants. **Energy**, [s. l.], v. 139, p. 542–554, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.025>

CEEE. **Entenda o mercado e a CCEE**. [S. l.], 2020.

ÇELIK, D.; MERAL, M. E. Current control based power management strategy for distributed power generation system. **Control Engineering Practice**, [s. l.], v. 82, p. 72–85, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.025>

- CELLI, G.; PILO, F. Optimal distributed generation allocation in MV distribution networks. *In:* , 2001. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2001. p. 81–86. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0034936874&partnerID=40&md5=fbb7d6a879a96620d80531f277f245a7>
- CEMIG. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: [s. n.], 2012.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. Metodologia científica: para uso dos estudantes universitários. *In: METODOLOGIA CIENTÍFICA: PARA USO DOS ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS*. [S. l.: s. n.], 2011. p. 144.
- CHECKLAND, P. From optimizing to learning: A development of systems thinking for the 1990s. **Journal of the Operational Research Society**, [s. l.], v. 36, n. 9, p. 757–767, 1985.
- CHIRADEJA, P.; RAMAKUMAR, R. An approach to quantify the technical benefits of distributed generation. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 764–773, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1109/TEC.2004.827704>
- CHOUDHURY, S. A comprehensive review on issues, investigations, control and protection trends, technical challenges and future directions for Microgrid technology. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, Department of EEE, Siksha “O” Anusandhan (Deemed To Be University), Bhubaneswar, India, v. 30, n. 9, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12446>
- CILLIERS, P.; SPURRETT, D. Complexity and post-modernism: Understanding complex systems. **South African Journal of Philosophy**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 258–274, 1999.
- CONNOLLY, D.; LUND, H.; MATHIESEN, B. V. Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 60, p. 1634–1653, 2016.
- DA FONSECA, J. J. S. **Apostila de metodologia da pesquisa científica**. [S. l.]: João José Saraiva da Fonseca, 2002.
- DAUD, M. Z.; MOHAMED, A.; HANNAN, M. A. A review of the integration of energy storage systems (ESS) for utility grid support . **Przeglad Elektrotechniczny**, [s. l.], v. 88, n. 10 A, p. 185–191, 2012. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84867214832&partnerID=40&md5=e4a467e1be4b764c0207dc06be217882>
- DE AZEVEDO DIAS, C. L. *et al.* Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 114, p. 367–375, 2017.
- DE FARIA JR, H.; TRIGOSO, F. B. M.; CAVALCANTI, J. A. M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 75, p. 469–475, 2017.
- DE LIMA, D. D.; LACERDA, D. P.; SELLITTO, M. A. Systemic analysis of the Brazilian production chain of semiconductors: graphic representation and leverage points. **Systemic Practice and Action Research**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 295–316, 2017.
- DE VILLENA, M. M. *et al.* Evaluating the evolution of distribution networks under different regulatory frameworks with multi-agent modelling. **Energies**, Montefiore Institute, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Liege, Liege, 4000, Belgium, v. 12, n. 7, 2019. Available at: <https://doi.org/10.3390/en12071203>
- DEKKER, S. *et al.* Complicated, complex, and compliant: best practice in obstetrics. **Cognition, Technology & Work**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 189–195, 2013.
- DEKKER, S. Failure to adapt or adaptations that fail: contrasting models on procedures and

safety. **Applied ergonomics**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 233–238, 2003.

DELFANTI, M. *et al.* Distributed generation integration in the electric grid: Energy storage system for frequency control. **Journal of Applied Mathematics**, [s. l.], v. 2014, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/198427>

DEMCZUK, A.; PADULA, A. D. Using system dynamics modeling to evaluate the feasibility of ethanol supply chain in Brazil: The role of sugarcane yield, gasoline prices and sales tax rates. **Biomass and bioenergy**, [s. l.], v. 97, p. 186–211, 2017.

DERBYSHIRE, J. The implications, challenges and benefits of a complexity-orientated Futures Studies. **Futures**, [s. l.], v. 77, p. 45–55, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2016.02.001>

DICICCO-BLOOM, B.; CRABTREE, B. F. The qualitative research interview. **Medical education**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 314–321, 2006.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. [S. l.]: Bookman Editora, 2015.

ECHEGARAY, F. Understanding stakeholders' views and support for solar energy in Brazil. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 63, p. 125–133, 2014.

EGHTEDARPOUR, N.; FARJAH, E. Power control and management in a Hybrid AC/DC microgrid. **IEEE Transactions on Smart Grid**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 1494–1505, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2294275>

EHSAN, A.; YANG, Q. Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques. **Applied Energy**, [s. l.], v. 210, p. 44–59, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.106>

EIA. **Data and statistics**. [S. l.], 2020a.

EIA. **Energy Explained - Your guide to understanding energy**. [S. l.], 2020b. Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/>. Acesso em: 14 set. 2020.

EISENHARDT, K. M.; GRAEBNER, M. E. Theory building from cases: Opportunities and challenges. **Academy of management journal**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 25–32, 2007.

EL-KHATTAM, W. *et al.* Optimal investment planning for distributed generation in a competitive electricity market. **IEEE Transactions on Power Systems**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 1674–1684, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.831699>

EL-KHATTAM, W.; HEGAZY, Y. G.; SALAMA, M. M. A. An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning. **IEEE Transactions on Power Systems**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 1158–1165, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.846114>

EPE. **Balanco Energético Nacional 2018** Empresa De Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: [s. n.], 2018.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2020**. [S. l.: s. n.], 2020a.

EPE, E. de P. E. Demanda de energia 2050. **Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica DEA**, [s. l.], v. 13, p. 15, 2013.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. [S. l.], 2020b.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2030** Ministério de Minas e Energia. Brasília: [s. n.], 2007. Available at: <https://doi.org/10.14430/arctic4596>.

EPE. **Plano Nacional De Energia 2050** Empresa De Pesquisa Energética. [S. l.: s. n.], 2015.

FERNÁNDEZ, E. F.; PIRES, A.; BUENO, J. **Política Energética para o Brasil – Propostas para o Crescimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2006.

FERREIRA, A. *et al.* Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 81, n. April 2016, p. 181–191, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>

FIERGS. **III Fórum de Geração Distribuída**. [S. l.], 2019. Available at: <https://forumgd.eventize.com.br/index.php?pagina=1>. Acesso em: 1 mar. 2021.

FLOOD, R. L. The relationship of ‘systems thinking’ to action research. **Systemic Practice and Action Research**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 269–284, 2010.

FORRESTER JAY, W. Industrial dynamics. **New York–London: Massachussets Institute of Technology and Jon Wiley and Sons**, [s. l.], 1961.

FREITAS, W. *et al.* Comparative analysis between ROCOF and vector surge relays for distributed generation applications. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Dept. of Electrical Energy Systems, State University of Campinas, Campinas 13081-970, Brazil, v. 20, n. 2 II, p. 1315–1324, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.834869>

FREITAS, W. *et al.* Comparative analysis between synchronous and induction machines for distributed generation applications. **IEEE Transactions on Power Systems**, Department of Electrical Energy Systems, State University of Campinas, C.P. 6101, 13083-852 Campinas, Brazil, v. 21, n. 1, p. 301–311, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.860931>

GARCÍA, J. A. M.; CARO, L. M. Understanding customer loyalty through system dynamics: The case of a public sports service in Spain. **Management Decision**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 151–172, 2009.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. [S. l.]: Plageder, 2009.

GIL, A. C. **Pós-Graduação-Metodologia-Como Elaborar Projetos de Pesquisa-Cap 2**. [S. l.]: Atlas, 2017.

GOLDEN, S. **What’s new with community solar?** [S. l.], 2019.

GOMES, A. **Matriz cada vez mais diversificada**. [S. l.], 2013.

GOODMAN, Michael; KARASH, R. Six steps to thinking systemically. **The Systems Thinker**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 16–18, 1995.

GOODMAN, Michel. Systems thinking: What, why, when, where, and how. **The systems thinker**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 5–7, 1997.

GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. **An introduction to systematic reviews**. [S. l.]: Sage, 2017.

GREENER. **ESTUDO ESTRATÉGICO: MERCADO FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - 1º TRIMESTRE DE 2019**. São Paulo: [s. n.], 2019.

GUARDA, F. G. K. *et al.* Minimising direct-coupled distributed synchronous generators impact on electric power systems protection. **IET Generation, Transmission & Distribution**, [s. l.], v. 13, n. 18, p. 4190–4196, 2019.

GUERRERO, J. M. *et al.* Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids - A

general approach toward standardization. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Department of Automatic Control Systems and Computer Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 08036, Spain, v. 58, n. 1, p. 158–172, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2066534>

HADDADIAN, H.; NOROOZIAN, R. Multi-microgrids approach for design and operation of future distribution networks based on novel technical indices. **Applied Energy**, [s. l.], v. 185, p. 650–663, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.120>

HAFFNER, S. *et al.* Multistage model for distribution expansion planning with distributed generation - Part I: Problem formulation. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Electrical Engineering Department, State University of Santa Catarina, UDESC-CCT-DEE, Joinville, SC 89223-100, Brazil, v. 23, n. 2, p. 915–923, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.917916>

HEIDEIER, R. *et al.* Impacts of photovoltaic distributed generation and energy efficiency measures on the electricity market of three representative Brazilian distribution utilities. **Energy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 54, p. 60–71, 2020.

HUANG, A. Q. *et al.* The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: The energy internet. **Proceedings of the IEEE**, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695, United States, v. 99, n. 1, p. 133–148, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2081330>

IEA. **Renewable Power Tracking report - June 2020**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.iea.org/reports/renewable-power>.

ILIC, M.; BLACK, J. W.; PRICA, M. Distributed electric power systems of the future: Institutional and technological drivers for near-optimal performance. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 77, n. 9, p. 1160–1177, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.08.013>

INEE. **O que é cogeração**. [S. l.], 2020.

IRENA. **Climate Change and Renewable Energy: National policies and the role of communities, cities and regions (Report to the G20 Climate Sustainability Working Group (CSWG)**. Abu Dhabi: [s. n.], 2019.

ÍTALO, F. **Impacto da geração distribuída acende sinal de alerta no mercado elétrico**. [S. l.], 2019. Available at: <https://cbie.com.br/imprensa/impacto-da-geracao-distribuida-acende-sinal-de-alerta-no-mercado-eletrico/>.

JOSÉ, M.-P. Manual de metodologia da pesquisa científica. **Estrutura de um trabalho de pesquisa científica. 4ª ed. São Paulo: Atlas**, [s. l.], 2016.

KARIMI-ARPANAHI, S. *et al.* Incorporating flexibility requirements into distribution system expansion planning studies based on regulatory policies. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, Department of Electrical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, v. 118, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105769>

KATIRAEI, F.; IRAVANI, M. R.; LEHN, P. W. Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Dept. of Elec. and Comp. Eng., University of Toronto, Toronto, Ont. M5S 3G4, Canada, v. 20, n. 1, p. 248–257, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.835051>

KAYAL, P.; CHANDA, C. K. Optimal mix of solar and wind distributed generations considering performance improvement of electrical distribution network. **Renewable Energy**,

- [s. l.], v. 75, p. 173–186, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.003>
- KEANE, A. *et al.* State-of-the-art techniques and challenges ahead for distributed generation planning and optimization. **IEEE Transactions on Power Systems**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 1493–1502, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2214406>
- KEMENY, J.; GOODMAN, M.; KARASH, R. Começando com Narração de Histórias. **A Quinta Disciplina Caderno de Campo. Qualitymark, Rio de Janeiro**, [s. l.], 1997.
- KHUSHALANI, S.; SOLANKI, J. M.; SCHULZ, N. N. Development of three-phase unbalanced power flow using PV and PQ models for distributed generation and study of the impact of DG models. **IEEE Transactions on Power Systems**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 1019–1025, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2007.901476>
- KROPOSKI, B. *et al.* Making microgrids work. **IEEE Power and Energy Magazine**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 40–53, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1109/MPE.2008.918718>
- KUANG, Y. *et al.* A review of renewable energy utilization in islands. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 59, p. 504–513, 2016.
- LASSETER, R. H. MicroGrids. *In:* , 2002, University of Wisconsin-Madison, 1415 Engineering Dr., Madison, WI 53706, United States. **2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting**. University of Wisconsin-Madison, 1415 Engineering Dr., Madison, WI 53706, United States: [s. n.], 2002. p. 305–308. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0036082524&partnerID=40&md5=213b86645d75ef96c55b49c63c589f19>
- LEÃO, R. P. S. *et al.* The future of low voltage networks: Moving from passive to active. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, [s. l.], v. 33, n. 8, p. 1506–1512, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.06.036>
- LEVENDA, A. M. *et al.* Regional sociotechnical imaginaries and the governance of energy innovations. **Futures**, [s. l.], v. 109, p. 181–191, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.03.001>
- LIU, T. *et al.* Energy management of cooperative microgrids: A distributed optimization approach. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, [s. l.], v. 96, p. 335–346, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.10.021>
- LORA, E. E. S.; HADDAD, J. Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. **Rio de Janeiro: Interciência**, [s. l.], p. 3–10, 2006.
- MAREI, M. I.; EL-SAADANY, E. F.; SALAMA, M. M. A. A novel control algorithm for the DG interface to mitigate power quality problems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 1384–1392, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.829922>
- MATEO, C.; FRÍAS, P.; TAPIA-AHUMADA, K. A comprehensive techno-economic assessment of the impact of natural gas-fueled distributed generation in European electricity distribution networks. **Energy**, Institute for Research in Technology (IIT), School of Engineering (ICAI), Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Spain, v. 192, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116523>
- MÉNDEZ, V. H. *et al.* Impact of distributed generation on distribution investment deferral. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 244–252, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2005.11.016>
- MÉNDEZ QUEZADA, V. H.; RIVIER ABBAD, J.; GÓMEZ SAN ROMÁN, T. Assessment

of energy distribution losses for increasing penetration of distributed generation. **IEEE Transactions on Power Systems**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 533–540, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2006.873115>

MERCOPAR. **IV Fórum de Geração Distribuída – Tecnologias e Planejamento para o Futuro da Geração Distribuída**. [s. l.], 2020. Available at: <https://mercopar.com.br/forum-de-geracao-distribuida/>. Acesso em: 1 mar. 2021.

MINGERS, J.; WHITE, L. A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. **European journal of operational research**, [s. l.], v. 207, n. 3, p. 1147–1161, 2010.

MOENCH, M. **California solar mandate, gas bans take effect in 2020: what you need to know**. [s. l.], 2019. Available at: <https://www.sfchronicle.com/business/article/California-solar-mandate-gas-bans-take-effect-in-14931617.php>.

MOJONERO, D. H.; VILLACORTA, A. R.; KUONG, J. L. Impact assessment of net metering for residential photovoltaic distributed generation in Peru. **International Journal of Renewable Energy Research**, Faculty of Mechanical Engineering, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima 25, Peru, v. 8, n. 3, p. 1200–1207, 2018. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060031604&partnerID=40&md5=39417eb7736c6b1f124d929b0f5d920c>

MOLINA, P. S. **Spain’s new rules for self-consumption come into force**. [s. l.], 2019. Available at: <https://www.pv-magazine.com/2019/04/08/spains-new-rules-for-self-consumption-come-into-force/>.

MONTEIRO, R. V. A. *et al.* Long-term sizing of lead–acid batteries in order to reduce technical losses on distribution networks: A distributed generation approach. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 144, p. 163–174, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.12.004>

MORANDI, M. I. W. M. Tomada de decisão em opções estratégicas: proposta de um método de avaliação sistêmico e dinâmico. [s. l.], 2017.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão sistemática da literatura. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, [s. l.], p. 141–175, 2015.

MORECROFT, J. D. W. **Strategic modelling and business dynamics: A feedback systems approach**. [s. l.]: John Wiley & Sons, 2015.

MOREL, B.; RAMANUJAM, R. Through the looking glass of complexity: The dynamics of organizations as adaptive and evolving systems. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 278–293, 1999.

NASCIMENTO, F. M. do *et al.* Factors for measuring photovoltaic adoption from the perspective of operators. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 3184, 2020.

NREL. **Net Metering**. [s. l.], 2020. Available at: <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/basics-net-metering.html>. Acesso em: 6 out. 2020.

OCHOA, L. F.; PADILHA-FELTRIN, A.; HARRISON, G. P. Evaluating distributed generation impacts with a multiobjective index. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Department of Electrical Engineering, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira CEP 15385-000, Brazil, v. 21, n. 3, p. 1452–1458, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.860262>

- OCHOA, L. F.; PADILHA-FELTRIN, A.; HARRISON, G. P. Evaluating distributed time-varying generation through a multiobjective index. **IEEE Transactions on Power Delivery**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 1132–1138, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.915791>
- ONS. **Plano de Operação Energética 2019-2023 Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Gerência Executiva de Planejamento Energético**. [S. l.: s. n.], 2019. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- ONU. **Energia Limpa e Acessível**. [S. l.], 2020. Available at: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>. Acesso em: 9 abr. 2020.
- PAATERO, J. V; LUND, P. D. Effects of large-scale photovoltaic power integration on electricity distribution networks. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 216–234, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.01.005>
- PAIVA, I.; DE CASTRO, N.; LIMA, A. P. Aspectos Teóricos e Analíticos da Segurança Energética e os Desafios do Setor Elétrico Brasileiro. **Texto De Discussão do Setor Elétrico**, [s. l.], n. 71, 2017.
- PASIUK, E. **Solar companies face uncertain future after cancellation of net metering program**. [S. l.], 2019.
- PASSEY, R. *et al.* The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors. **Energy Policy**, [s. l.], v. 39, n. 10, p. 6280–6290, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.027>
- PEPERMANS, G. *et al.* Distributed generation: Definition, benefits and issues. **Energy Policy**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 787–798, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.004>
- PEREIRA DA SILVA, P. *et al.* Photovoltaic distributed generation – An international review on diffusion, support policies, and electricity sector regulatory adaptation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, EFS-UC, FEUC, CeBER and INESCC, Portugal, v. 103, p. 30–39, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.028>
- PICCIARIELLO, A. *et al.* Electricity distribution tariffs and distributed generation: Quantifying cross-subsidies from consumers to prosumers. **Utilities Policy**, School of Electrical Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Teknikringen 33 KTH, Stockholm, 10044, Sweden, v. 37, p. 23–33, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.09.007>
- PINTO, R. **Imposto sobre Operações Energéticas Substitui Sol Brasileiro pelo Gás Boliviano. Quem Ganha e Quem Perde com o Fim da Indústria Solar Brasileira?** [S. l.: s. n.], 2019.
- PRATEEK, S. **Goa Issues Net Metering Regulations for Solar Projects**. [S. l.], 2019. Available at: <https://mercomindia.com/goa-net-metering-regulations-solar/>.
- PURVINS, A.; L´ABBATE, A. Automated energy management in distributed electricity systems: An EEPOS approach. **International Journal of Green Energy**, European Commission, Joint Research Centre (JRC), Directorate C Energy, Transport and Climate, Petten, Netherlands, v. 14, n. 12, p. 1034–1047, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1355309>
- RACK, Y. **UK to launch export payments for small renewables after scrapping feed-in tariff**. [S. l.], 2019.

- RAMOS, D. S. *et al.* New commercial arrangements and business models in electricity distribution systems: The case of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Polytechnic School of the University of São Paulo, São Paulo, 05508-010, Brazil, v. 117, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109468>
- RAZAVI, S.-E. *et al.* Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 105, p. 157–167, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.050>
- REDDY, G. H.; GOSWAMI, A. K.; DEV CHOUDHURY, N. B. Estimation of distribution system reserve capacity and its impact on system reliability considering load growth. **International Journal on Electrical Engineering and Informatics**, Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology Silchar Assam, India, v. 9, n. 4, p. 659–676, 2017. Available at: <https://doi.org/10.15676/ijeei.2017.9.4.2>
- REN21. **Renewables 2019 Global Status Report**. [S. l.: s. n.], 2019.
- REN21. **Renewables 2020 Global Status Report**. [S. l.: s. n.], 2020.
- REN21. **Renewables Global Status Report 2018** **Renewables Global Status Report**. [S. l.: s. n.], 2018.
- RESCH, M. Impact of operation strategies of large scale battery systems on distribution grid planning in Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 74, p. 1042–1063, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.075>
- REVESZ, R. L.; UNEL, B. Managing the future of the electricity grid: Distributed generation and net metering. **Harvard Environmental Law Review**, Institute of Policy Integrity, New York University School of Law, United States, v. 41, n. 1, p. 43–108, 2017. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85038883766&partnerID=40&md5=d8ac09de4e766a86b99e5076891a90d3>
- REZAAE JORDEHI, A. Allocation of distributed generation units in electric power systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 56, p. 893–905, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.086>
- RICHTER, A. **Geothermal to keep FIT in Japan, while auction system is introduced for solar and wind**. [S. l.], 2019. Available at: <https://www.thinkgeoenergy.com/geothermal-to-keep-fit-in-japan-while-auction-system-is-introduced-for-solar-and-wind/>.
- RIZY, D. T. *et al.* Volt/Var control using inverter-based distributed energy resources. *In*: , 2011. **2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting**. [S. l.]: IEEE, 2011. p. 1–8.
- ROLLET, C. **Luxembourg raises solar FITs**. [S. l.], 2019.
- ROSELUND, C. **Los Angeles still has a feed-in tariff. And it's growing**. [S. l.], 2019.
- SARITAS, O.; NUGROHO, Y. Mapping issues and envisaging futures: An evolutionary scenario approach. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 79, n. 3, p. 509–529, 2012.
- SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research methods for business students**. [S. l.]: Pearson education, 2009.
- SAURIN, T. A.; GONZALEZ, S. S. Assessing the compatibility of the management of standardized procedures with the complexity of a sociotechnical system: Case study of a control room in an oil refinery. **Applied Ergonomics**, [s. l.], v. 44, n. 5, p. 811–823, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.02.003>

- SAURIN, T. A.; ROOKE, J.; KOSKELA, L. A complex systems theory perspective of lean production. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 51, n. 19, p. 5824–5838, 2013.
- SENGE, P. M. **The fifth discipline: The art and practice of the learning organization**. [S. l.: s. n.], 2006.
- SHARMA, M.; KOPPAL, P. V. Assessment of distributed generation source impact on electrical distribution system performance. **Advances in Electrical and Computer Engineering**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 135–140, 2010. Available at: <https://doi.org/10.4316/aece.2010.02024>
- SINGH, B.; MUKHERJEE, V.; TIWARI, P. Genetic algorithm for impact assessment of optimally placed distributed generations with different load models from minimum total MVA intake viewpoint of main substation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 57, p. 1611–1636, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.204>
- SRIVASTAVA, A. K.; KUMAR, A. A.; SCHULZ, N. N. Impact of distributed generations with energy storage devices on the electric grid. **IEEE Systems Journal**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 110–117, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1109/JSYST.2011.2163013>
- STERMAN, J D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. [S. l.]: Irwin/McGraw-Hill Boston, 2000.
- STERMAN, John D. Systems dynamics modeling: tools for learning in a complex world. **IEEE Engineering Management Review**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 42, 2002.
- STROH, D. P. 13 LEVERAGING CHANGE: THE POWER OF SYSTEMS THINKING IN ACTION. [s. l.], 2000.
- SYLVIA, T. **DTE finally kills net metering**. [S. l.], 2019.
- TESKE, S. [R]evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo. **Greenpeace**, [s. l.], 2013.
- TOURETZKY, C. R. *et al.* The effect of distributed electricity generation using natural gas on the electric and natural gas grids. **Applied Energy**, [s. l.], v. 177, p. 500–514, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.098>
- VELDMAN, E. *et al.* Scenario-based modelling of future residential electricity demands and assessing their impact on distribution grids. **Energy Policy**, [s. l.], v. 56, p. 233–247, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.078>
- VRBA, P. *et al.* A review of agent and service-oriented concepts applied to intelligent energy systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 1890–1903, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2326411>
- WANG, C.; NEHRIR, M. H. Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 2068–2076, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.836189>
- WANG, Z. *et al.* Coordinated energy management of networked microgrids in distribution systems. **IEEE Transactions on Smart Grid**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 45–53, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2329846>
- WANG, Z. *et al.* Robust optimization based optimal DG placement in microgrids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, [s. l.], v. 5, n. 5, p. 2173–2182, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2321748>

- WILDING, R. *et al.* Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, [s. l.], 2012.
- WOLSINK, M. The research agenda on social acceptance of distributed generation in smart grids: Renewable as common pool resources. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 822–835, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.006>
- WORTHMANN, K. *et al.* Distributed and Decentralized Control of Residential Energy Systems Incorporating Battery Storage. **IEEE Transactions on Smart Grid**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 1914–1923, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2392081>
- XU, T. *et al.* Case-based reasoning for coordinated voltage control on distribution networks. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 81, n. 12, p. 2088–2098, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.08.005>
- YANINE, F. *et al.* Grid-Tied Distributed Generation Systems to Sustain the Smart Grid Transformation: Tariff Analysis and Generation Sharing. **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 1187, 2020.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. [S. l.]: Bookman editora, 2015.
- ZAHEDI, A. A review of drivers, benefits, and challenges in integrating renewable energy sources into electricity grid. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 15, n. 9, p. 4775–4779, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.074>
- ZAME, K. K. *et al.* Smart grid and energy storage: Policy recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 82, p. 1646–1654, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.011>

APÊNDICE A: Análise Bibliométrica

A fim de justificar essa pesquisa academicamente, foi realizada uma análise bibliométrica em maio de 2020 na base de dados *Scopus*. Essa base foi escolhida devido a sua relevância e usabilidade. A questão de pesquisa que suscitou a definição dos termos de busca foi: como a geração distribuída afeta a operação das redes de distribuição de energia? Assim, as expressões “geração distribuída” e “redes de distribuição” foram selecionadas e ampliadas com a inclusão de sinônimos, visando analisar-se como a geração distribuída e sua relação com as redes de distribuição estão sendo estudadas no meio acadêmico.

O operador booleano “OR” foi utilizado para conectar os termos semelhantes e o operador booleano “AND” foi utilizado para unir os dois termos escolhidos. O caractere “*” foi utilizado para buscar termos derivados – por exemplo, o termo “*generation**” retorna resultados contendo os termos *generation* e *generations*. A pesquisa pelos termos foi realizada nos títulos, resumos e palavras-chave dos documentos e limitou-se aos estudos publicados em inglês. Desse modo, gerou-se o seguinte comando (*string*) de busca: [("distributed generation*" OR "decentralized generation*" OR "disperse generation*" OR "distributed power generation") AND ("energy grid*" OR "electric* grid*" OR "energy distribution system*" OR "electric* distribution system*" OR "energy distribution network*" OR "electric* distribution network*" OR "energy power distribution" OR "electric* power distribution" OR "power distribution compan*")].

A pesquisa localizou 3.942 estudos, dos quais 70% foram publicados de 2011 a 2020. O auge de publicações ocorreu em 2015, onde estão alocados 517 estudos. Este pico sugere que o tema talvez esteja mudando ou esteja consolidado, pensando-se em uma escala mundial. Em relação a categorização dos documentos por tipo, cerca de 60,4% dos estudos são de anais de congressos ou conferências, seguido de artigos em periódicos, que correspondem a 34,1% dos estudos. Estes números podem sugerir que os artigos de congressos são uma fonte importante de informação para este tema. Quando os documentos foram divididos por área do conhecimento, observou-se que as áreas Engenharia e Energia foram as mais representativas, contendo 40,6% e 31,5% dos documentos, respectivamente. Os estudos mais citados trazem como temas o gerenciamento de fontes renováveis e a geração distribuída, ou micro redes (BARKER; DE MELLO, 2000; GUERRERO *et al.*, 2011; HUANG *et al.*, 2011; KATIRAEI; IRAVANI; LEHN, 2005; LASSETER, 2002).

Os estudos publicados por pesquisadores brasileiros correspondem a aproximadamente 6% dos documentos. Nota-se que, no Brasil, os estudos sobre este tema estão

crescendo, visto que o auge de publicações foi em 2019, ano que reúne 46 estudos. Assim, embora mundialmente o tema possa estar se consolidando, no Brasil esse campo de pesquisa segue crescendo.

A análise por tipo de documento dos estudos brasileiros segue a mesma tendência mundial, ou seja, artigos de congressos são os mais representativos, seguido de artigos em periódicos. As áreas do conhecimento que mais se destacam continuam sendo Engenharia e Energia, embora no Brasil a área de Energia esteja na liderança, agrupando 38,2% dos estudos. Os estudos mais citados tratam sobre temas como alocação ótima de unidades de geração distribuída, avaliação de impactos, planejamento de expansão nas redes de distribuição e comparações entre diferentes tecnologias (BORGES; FALCÃO, 2006; FREITAS *et al.*, 2005, 2006; HAFFNER *et al.*, 2008; OCHOA; PADILHA-FELTRIN; HARRISON, 2006).

A fim de determinar as relações entre os documentos encontrados, foram realizadas análises de rede das citações dos documentos, coocorrência de palavras-chave e coautoria por país. A análise da rede de citações, apresentada na seção 1.3, teve por parâmetro a quantidade de citações por documento. Considerou-se o mínimo de 26 citações por documento, visto que 26 é a média geral de citações dos estudos analisados. A rede das citações retornou 393 documentos conectados entre si, os quais foram agrupados em 32 clusters.

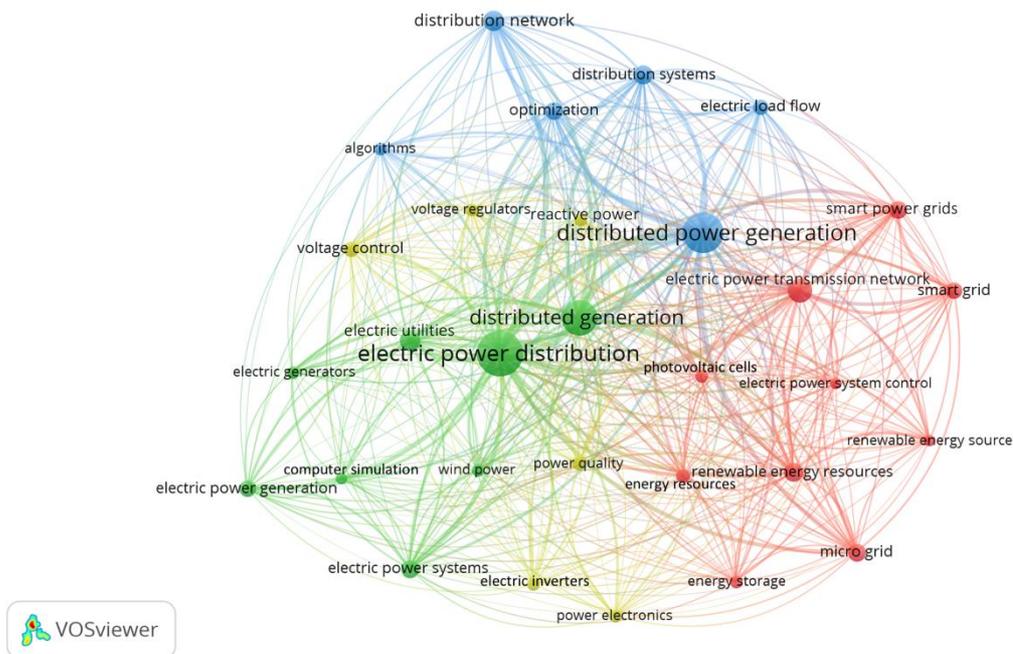
A segunda análise de rede realizada foi de coocorrência de palavras-chave. Como parâmetros, foi definido que as palavras-chave deveriam ocorrer em pelo menos 5% dos documentos. Os resultados da análise são apresentados na Figura 1A.

Como resultados, foram obtidas 30 palavras agrupadas em 4 *clusters*. No primeiro *cluster*, destacado em azul, observa-se que os termos equivalentes a “rede de distribuição” (*distribution network, distribution systems e distributed power generation*) estão agrupados junto aos termos “algoritmos”, “otimização” e “fluxo de carga elétrica” (*algorithms, optimization, e electric load flow*, respectivamente). Esse agrupamento pode indicar os métodos utilizados nos estudos sobre redes de distribuição.

O segundo *cluster*, destacado em laranja, traz outro método utilizado: a simulação computacional (*computer simulation*). Esse método está vinculado por meio do *cluster* a termos que remetem a “geração” e “distribuição” (*distributed generation, electric generators, electric power generation, electric power distribution, electric utilities e electric power systems*). Além disso, o termo “energia eólica” (*wind power*) também compõe o grupo. O *cluster* seguinte, destacado em amarelo, é composto por seis palavras. Nesse *cluster*, observa-se que o termo

“qualidade da energia” (*power quality*) está vinculado a equipamentos (*electric inverters*, *voltage regulators*) e termos que fazem parte do campo de estudo que busca aprimorar os sistemas de energia.

Figura 1A – Análise de coocorrência de palavras-chave.



Fonte: Elaborado pela autora.

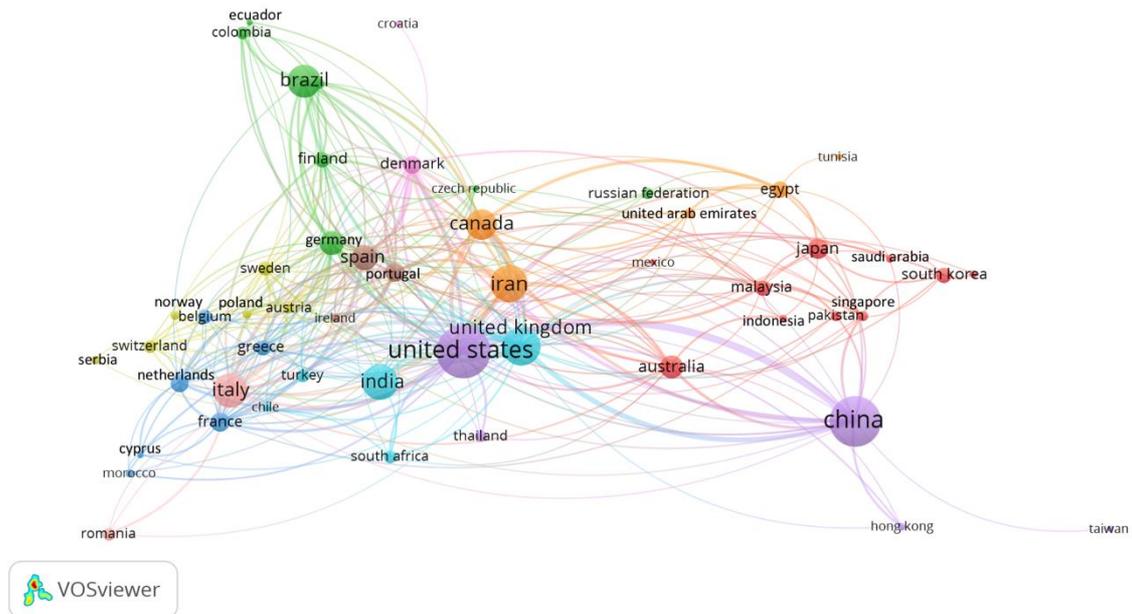
No último *cluster*, destacado em vermelho, os termos relativos a sistemas de energia (*electric power system control*, *electric power transmission networks* e *micro grid*) ou sistemas de energia que utilizam tecnologia da informação (*smart grid* e *smart power grids*) aparecem vinculados a recursos energéticos (*energy resources*), com destaque para as fontes de energia renováveis (*renewable energy resources* e *renewable energy source*). Ampliando a composição do grupo estão os termos “armazenamento de energia” (*energy storage*) e “células fotovoltaicas” (*photovoltaic cells*), indicando tecnologias utilizadas na geração distribuída.

A terceira análise de rede buscou as relações de coautoria em países diferentes. Definiu-se o mínimo de 10 documentos por país como parâmetro, visto que essa é a média de documentos por autor nos estudos analisados. Os resultados da análise são apresentados na Figura 2A.

A rede de coautoria retornou 52 países agrupados em 10 clusters. O Brasil é o país com mais estudos no cluster destacado em verde, que também inclui os países Argentina, Colômbia, Equador, Finlândia, Alemanha, República Tcheca e Rússia. Além disso, o Brasil

também possui documentos em coautoria com países de outros clusters, a saber: Austrália, Canadá, China, Dinamarca, Egito, Espanha, Estados Unidos, Grécia, Holanda, Portugal, Suécia e Reino Unido.

Figura 2A – Análise de coautoria por país.



Fonte: Elaborado pela autora.

A bibliometria e as análises de rede realizadas permitiram verificar que esta pesquisa é relevante academicamente. Observou-se que a questão de pesquisa é aderente aos estudos analisados. Além disso, os *clusters* de documentos e palavras-chave identificados auxiliarão no desenvolvimento da revisão de literatura apresentada como parte dos resultados desta pesquisa.

APÊNDICE B: Rastreabilidade da Revisão Sistemática de Literatura

Dimensão	Fator	Rastreabilidade	Autor
Ambiental	Impacto ambiental	menor impacto ambiental	Aman et al., 2017
		redução da emissão de gases de efeito estufa	Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016
		redução das emissões de gases de efeito estufa e melhoria da qualidade do ar	Revesz; Unel, 2017
Econômica	Investimento	investimento para nova rede	Mateo; Frías; Tapia-Ahumada, 2020
		a demanda líquida a ser atendida pelas redes de transmissão e distribuição pode diminuir, permitindo postergar o reforço das redes existentes	Méndez et al, 2006
		redução dos gastos com serviços públicos em novas instalações de capacidade	Revesz; Unel, 2017
		reduzindo a carga sobre o sistema elétrico nacional	Leão et al, 2011
	Mercado	mercados de eletricidade	Vrba et al., 2014
		alterar o mecanismo de remuneração do operador da rede de distribuição	De Villena et al., 2019
		o impacto mais importante [...] é no aumento das tarifas, considerando o atual quadro regulatório do país.	Heideier et al., 2020
		redução na sustentabilidade de seus negócios [distribuidora]	Mojonero et al., 2018
	Custo eletricidade	custos de eletricidade para o usuário da rede	Purvins; L'Abbate, 2017
		economia	Mateo; Frías; Tapia-Ahumada, 2020
		aumento ou uma diminuição nos custos da rede de distribuição	Picciariello, 2015
		redução da carga econômica	Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016
		<i>net metering</i> fornece um forte incentivo econômico para a instalação de sistemas fotovoltaicos pelo usuário residencial de maior consumo de energia	Mojonero et al., 2018
Social	Políticas	desafios que os formuladores de políticas enfrentam em relação aos arranjos regulatórios e de mercado	Bell K., Gill S., 2018
		[mudanças em] marcos regulatórios	De Villena et al., 2019
		desenvolvimento de mecanismos regulatórios	Mojonero et al., 2018
		debate sobre como os clientes de uma concessionária devem ser compensados pela energia que vendem de volta à rede está se intensificando	Revesz; Unel, 2017
		Em regiões onde as políticas de medição líquida foram implementadas [...] os impactos estão predominantemente relacionados a questões de transferência de custos, exigindo mudanças regulatórias	Pereira da Silva et al., 2019
	Comportamento	mudança no comportamento	Yanine et al., 2020

Técnica	Confiabilidade	Infraestrutura atual enfrenta dificuldade de controle e proteção quando muitos números de gerações distribuída estão conectadas	Choudhury, 2020
		Confiabilidade dos sistemas de distribuição elétrica	Borges, 2012
		Confiabilidade e segurança do fornecimento	Ameur et al., 2019
		Confiabilidade do sistema de energia	Ahmad et al., 2016
		Desafios para a manutenção de alta segurança e qualidade no fornecimento de eletricidade	Purvins; L´Abbate, 2017
		Mitigação de risco de apagão	Canca; Arcos-Vargas; Núñez, 2018
		problemas de proteção e estabilidade transitória alterada	Xu et al., 2011
		capaz de reduzir, mas também de aumentar, os problemas relacionados ao carregamento e à estabilidade da rede ou à qualidade da energia	Arnold; Friede; Myrzik, 2013
		melhoras sob o ponto de vista de segurança	Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016
		geração de energia segura	Razavi et al., 2019
		confiabilidade aprimorada	Kroposki et al., 2008
		[necessário] adequar os sistemas de proteção em redes de distribuição	Guarda et al., 2019
		Microrredes, pequenas redes de energia autônomas que têm a capacidade de funcionar independentemente da grande rede elétrica, têm potencial significativo para melhorar a resposta a crises ambientais e antropogênicas	Bird; Hotaling, 2017
		Problemas de confiabilidade, problemas de qualidade de energia, flutuação de tensão é um problema desafiador, particularmente em alto nível de penetração de GD	Zahedi, 2011
	Perdas energia	reduz perdas com certo nível de GD, aumenta perdas com maior penetração	Mateo; Frías; Tapia-Ahumada, 2020
		redução nas perdas de energia	Aman et al., 2017
		redução nas perdas do sistema	Sharma; Koppal, 2010
		redução das perdas na distribuição de eletricidade	Purvins; L´Abbate, 2017
		reduz perdas de rede	Paatero; Lund, 2007
		minimização da perda real de energia e da perda de energia reativa	Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016
		redução das perdas de energia	Razavi et al., 2019
	Tensão	melhor perfil de tensão	Aman et al., 2017
		melhoria na estabilidade da tensão	Sharma; Koppal, 2010
		melhoria no perfil da tensão	Sharma; Koppal, 2010
		[desafio do] controle de tensão	Xu et al., 2011
		interrupções devido a condições de sobretensão disparando circuitos de proteção	Worthmann et al., 2015

	queda de tensão e situações de sobretensão	Paatero; Lund, 2007
	melhoria do perfil de tensão	Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016
	desafios envolvendo configurações dos dispositivos de proteção, regulação de tensão e problemas de qualidade de energia	Razavi et al., 2019
	[GD é capaz de] mitigar variações no perfil de tensão	Aman et al., 2018
	fluxos de rede reduzidos e, portanto, perdas e quedas de tensão reduzidas	Passey et al., 2011
Falhas	tratamento de falhas e diagnósticos	Vrba et al., 2014
	níveis aumentados de falha	Xu et al., 2011
	capazes de operar no modo conectado à rede ou no modo autônomo de operação durante uma situação de falha	Choudhury, 2020
	falha	Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016
Armazenamento	armazenamento de energia	Daud; Mohamed; Hannan, 2012
	armazenamento de energia conectados em redes de distribuição de eletricidade	Bell K., Gill S., 2018
	armazenamento distribuído de bateria em pequena escala	Worthmann et al., 2015
	produção e armazenamento de hidrogênio a partir da eletricidade em horários fora de pico	Anderson; Leach, 2004
	dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD	Srivastava et al. 2012
	utilização de sistemas de armazenamento de energia (ESS)	Monteiro et al., 2017
Infraestrutura	fluxo de energia bidirecional	Xu et al., 2011
	gerenciamento de energia	Çelik; Meral, 2019
	desafios aos sistemas de energia, como sua localização ideal	Razavi et al., 2019
	sobredimensionamento das grades de distribuição	Resch, 2017
Gestão de Congestionamento	redução da carga de pico / gestão do congestionamento	Purvins; L'Abbate, 2017
	o pico do meio-dia [...] pode ser reduzido em 30%	Paatero; Lund, 2007
	agregou valores (benefícios) para os sistemas de eletricidade como o pico de potência e redução da carga	Caamaño-Martín et al., 2008
	as microrredes também podem beneficiar os serviços públicos locais, oferecendo carga despachável para ser usada durante as condições de pico de energia	Kroposki et al., 2008
	possibilidades de controlar cargas flexíveis para reduzir picos de carga e demandas de turno	Veldman et al., 2013
	reduzir a demanda de pico	Touretzky et al., 2016
Oferta e demanda	forneem respostas flexíveis e eficientes por parte do usuário final (GD e demanda), reduzindo assim a necessidade de reserva de capacidade no nível do sistema	Ilic; Black; Prica, 2007

	equilíbrio entre oferta e demanda	Vrba et al., 2014
	controle otimizado da rede e gerenciamento da demanda e da oferta	Arnold; Friede; Myrzik, 2013
	demanda flexível	Bell K., Gill S., 2018
	dificuldade em equilibrar a oferta e a demanda (devido a grandes quantidades de geração durante períodos de baixa carga ou geração intermitente)	Worthmann et al., 2015
	capacidade de reserva do sistema	Reddy et al., 2017
Intermitência	controle de frequência (a frequência é muito afetada pela intermitência das fontes renováveis de energia e seus desvios devem ser limitados ao máximo para garantir um nível adequado de qualidade de energia)	Delfanti et al., 2014
	tecnologias de GD específicas baseadas em Fontes de Energia Renovável (FER), como a eólica e a solar, possuem sua geração de energia incerta	Razavi et al., 2019
	riscos de mercado associados às características de intermitência deste tipo de fontes	Ramos et al., 2020
	geração intermitente exige mais requisitos de flexibilidade para operação eficiente e segura dos sistemas de energia	Karimi-Arpanahi et al., 2020

APÊNDICE C: Roteiro das Entrevistas

O roteiro de entrevistas levou em conta os fatores responsáveis pelo impacto da geração distribuída no sistema de distribuição encontrados na literatura. As questões foram divididas em dimensões, conforme demonstrado a seguir.

Dimensão Ambiental

Fator	Questões	Referências
Impacto ambiental	Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?	Aman et al., 2017 Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016 Revesz; Unel, 2017

Dimensão Econômica

Fator	Questões	Referências
Investimento	Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?	Mateo; Frías; Tapia-Ahumada, 2020 Méndez et al, 2006 Revesz; Unel, 2017 Leão et al, 2011
Mercado	Q3. Com a implantação da geração distribuída há uma mudança na remuneração do operador da rede de distribuição. Como essa mudança afeta o mercado de energia?	Vrba et al., 2014 De Villena et al., 2019
	Q4. Quais mudanças deveriam ocorrer no âmbito tributário para comportar a entrada da geração distribuída no sistema de energia?	Heideier et al., 2020
	Q5. Os operadores de distribuição deveriam mudar sua estratégia de negócio para garantir sua sustentabilidade?	Mojonero et al., 2018
Custo eletricidade	Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?	Purvins; L'Abbate, 2017 Mateo; Frías; Tapia-Ahumada, 2020 Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016 Mojonero et al., 2018
	Q7. O regime de compensação de energia envolve a transferência de custos, visando corrigir distorções alocativas por meio de tarifas de eletricidade. Novos modelos tarifários podem ser uma estratégia para custear a operação das redes de distribuição?	Pereira da Silva et al., 2019 Picciariello, 2015

Dimensão Social

Fator	Questões	Referências
Políticas	Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?	Bell K., Gill S., 2018 De Villena et al., 2019 Revesz; Unel, 2017
Comportamento	Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?	Yanine et al., 2020

Dimensão Técnica

Fator	Questões	Referências
Confiabilidade	Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?	Choudhury, 2020 Purvins; L'Abbate, 2017 Arnold; Friede; Myrzik, 2013
	Q11. A geração distribuída pode auxiliar na mitigação do risco de apagão. Identifica outros benefícios envolvendo a estabilidade no fornecimento?	Canca; Arcos-Vargas; Núñez, 2018 Singh; Mukherjee; Tiwari, 2016
Perdas energia	Q12. A geração distribuída é capaz de reduzir as perdas de energia. Há algum cenário em que essas perdas podem aumentar, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas?	Mateo; Frías; Tapia-Ahumada, 2020 Aman et al., 2017 Sharma; Koppal, 2010
Tensão	Q13. A geração distribuída é capaz de melhorar a estabilidade e o perfil de tensão da rede. Há algum cenário em que essa estabilidade poderia diminuir, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas?	Aman et al., 2017 Sharma; Koppal, 2010 Worthmann et al., 2015
Falhas	Q14. As unidades de geração distribuída podem ser de alguma vantagem em uma situação de falha? Por exemplo, operando de modo autônomo durante algum problema na rede de distribuição?	Vrba et al., 2014 Choudhury, 2020
Armazenamento	Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?	Srivastava et al. 2012
Infraestrutura	Q17. Quais os desafios de infraestrutura envolvidos na gestão do sistema de energia com a implantação da geração distribuída? Por exemplo, fluxo bidirecional de energia	Razavi et al., 2019 Çelik; Meral, 2019 Xu et al., 2011
Gestão de Congestionamento	Q18. De que formas a geração distribuída pode auxiliar na demanda por energia nos horários de ponta?	Purvins; L'Abbate, 2017 Caamaño-Martín et al., 2008 Veldman et al., 2013
Oferta e demanda	Q19. Um benefício da geração distribuída é reduzir a necessidade de reserva de capacidade no sistema de energia. Por outro lado, pode existir uma dificuldade em equilibrar oferta e demanda devido a uma grande geração em períodos de baixa demanda ou intermitência. Como visualiza essa relação?	Ilic; Black; Prica, 2007 Worthmann et al., 2015 Arnold; Friede; Myrzik, 2013
Intermitência	Q20. Quais os riscos de mercado ou desafios associados às características de intermitência das fontes utilizadas na geração distribuída (por exemplo, solar e eólica)?	Ramos et al., 2020 Karimi-Arpanahi et al., 2020 Delfanti et al., 2014

APÊNDICE D: Termos de Consentimento

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante:

Meu nome é Taís Oliveira da Silva Alfonso e estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel. O título da minha dissertação é: “ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA”.

Sua participação envolve uma entrevista com o objetivo de identificar os impactos da geração distribuída a partir das perspectivas (uma ou mais) ambiental, econômica, social e técnica. Caso você permita, a entrevista será gravada e possui duração aproximada de 40 minutos.

Ressalto que a sua participação nesse estudo é voluntária e que você pode declinar deste convite ou desistir de continuar a qualquer momento. Além disso, sua contribuição para esta pesquisa é muito importante e você poderá ter acesso aos resultados, caso seja de seu interesse.

Se desejar esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa, fique à vontade para entrar em contato pelo telefone (51) 99114-5042 ou e-mail (taisoalfonso@gmail.com).

Atenciosamente,
Taís Alfonso

Consinto em participar desse estudo e declaro ter recebido uma cópia desse termo de consentimento.



Nome Bibiana Ferraz

Porto Alegre, 26 de janeiro de 2021.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante:

Meu nome é Tais Oliveira da Silva Alfonso e estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel. O título da minha dissertação é: "ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA".

Sua participação envolve uma entrevista com o objetivo de identificar os impactos da geração distribuída a partir das perspectivas (uma ou mais) ambiental, econômica, social e técnica. Caso você permita, a entrevista será gravada e possui duração aproximada de 40 minutos.

Ressalto que a sua participação nesse estudo é voluntária e que você pode declinar deste convite ou desistir de continuar a qualquer momento. Além disso, sua contribuição para esta pesquisa é muito importante e você poderá ter acesso aos resultados, caso seja de seu interesse.

Se desejar esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa, fique à vontade para entrar em contato pelo telefone (51) 99114-5042 ou e-mail (taisofarfonso@gmail.com).

Atenciosamente,

Tais Alfonso

Consinto em participar desse estudo e declaro ter recebido uma cópia desse termo de consentimento.


Nome Antonio A. Guimarães
CPF 513.232.800-68

Porto Alegre, ___ de janeiro de 2021.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante:

Meu nome é Tais Oliveira da Silva Alfonso e estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel. O título da minha dissertação é: “ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA”.

Sua participação envolve uma entrevista com o objetivo de identificar os impactos da geração distribuída a partir das perspectivas (uma ou mais) ambiental, econômica, social e técnica. Caso você permita, a entrevista será gravada e possui duração aproximada de 40 minutos.

Ressalto que a sua participação nesse estudo é voluntária e que você pode declinar deste convite ou desistir de continuar a qualquer momento. Além disso, sua contribuição para esta pesquisa é muito importante e você poderá ter acesso aos resultados, caso seja de seu interesse.

Se desejar esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa, fique à vontade para entrar em contato pelo telefone (51) 99114-5042 ou e-mail (taisoalfonso@gmail.com).

Atenciosamente,
Tais Alfonso

Consinto em participar desse estudo e declaro ter recebido uma cópia desse termo de consentimento.



Nome

Porto Alegre, 28 de janeiro de 2020.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante:

Meu nome é Taís Oliveira da Silva Alfonso e estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel. O título da minha dissertação é: “ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA”.

Sua participação envolve uma entrevista com o objetivo de identificar os impactos da geração distribuída a partir das perspectivas (uma ou mais) ambiental, econômica, social e técnica. Caso você permita, a entrevista será gravada e possui duração aproximada de 40 minutos.

Ressalto que a sua participação nesse estudo é voluntária e que você pode declinar deste convite ou desistir de continuar a qualquer momento. Além disso, sua contribuição para esta pesquisa é muito importante e você poderá ter acesso aos resultados, caso seja de seu interesse.

Se desejar esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa, fique à vontade para entrar em contato pelo telefone (51) 99114-5042 ou e-mail (taisoalfonso@gmail.com).

Atenciosamente,
Taís Alfonso

Consinto em participar desse estudo e declaro ter recebido uma cópia desse termo de consentimento.



Nome Mariana Resener

Porto Alegre, 31 de janeiro de 2021.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante:

Meu nome é Taís Oliveira da Silva Alfonso e estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel. O título da minha dissertação é: "ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA".

Sua participação envolve uma entrevista com o objetivo de identificar os impactos da geração distribuída a partir das perspectivas (uma ou mais) ambiental, econômica, social e técnica. Caso você permita, a entrevista será gravada e possui duração aproximada de 40 minutos.

Ressalto que a sua participação nesse estudo é voluntária e que você pode declinar deste convite ou desistir de continuar a qualquer momento. Além disso, sua contribuição para esta pesquisa é muito importante e você poderá ter acesso aos resultados, caso seja de seu interesse.

Se desejar esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa, fique à vontade para entrar em contato pelo telefone (51) 99114-5042 ou e-mail (taisoalfonso@gmail.com).

Atenciosamente,

Taís Alfonso

Consinto em participar desse estudo e declaro ter recebido uma cópia desse termo de consentimento.

Nome

Porto Alegre, 26 de janeiro de 2020.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante:

Meu nome é Taís Oliveira da Silva Alfonso e estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel. O título da minha dissertação é: “ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA”.

Sua participação envolve uma entrevista com o objetivo de identificar os impactos da geração distribuída a partir das perspectivas (uma ou mais) ambiental, econômica, social e técnica. Caso você permita, a entrevista será gravada e possui duração aproximada de 40 minutos.

Ressalto que a sua participação nesse estudo é voluntária e que você pode declinar deste convite ou desistir de continuar a qualquer momento. Além disso, sua contribuição para esta pesquisa é muito importante e você poderá ter acesso aos resultados, caso seja de seu interesse.

Se desejar esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa, fique à vontade para entrar em contato pelo telefone (51) 99114-5042 ou e-mail (taisoalfonso@gmail.com).

Atenciosamente,

Taís Alfonso

Consinto em participar desse estudo e declaro ter recebido uma cópia desse termo de consentimento.

Nome

Porto Alegre, 26 de janeiro de 2020.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante:

Meu nome é Taís Oliveira da Silva Alfonso e estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel. O título da minha dissertação é: “ANÁLISE SISTÊMICA DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA”.

Sua participação envolve uma entrevista com o objetivo de identificar os impactos da geração distribuída a partir das perspectivas (uma ou mais) ambiental, econômica, social e técnica. Caso você permita, a entrevista será gravada e possui duração aproximada de 40 minutos.

Ressalto que a sua participação nesse estudo é voluntária e que você pode declinar deste convite ou desistir de continuar a qualquer momento. Além disso, sua contribuição para esta pesquisa é muito importante e você poderá ter acesso aos resultados, caso seja de seu interesse.

Se desejar esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa, fique à vontade para entrar em contato pelo telefone (51) 99114-5042 ou e-mail (taisoalfonso@gmail.com).

Atenciosamente,
Taís Alfonso

Consinto em participar desse estudo e declaro ter recebido uma cópia desse termo de consentimento.



Documento assinado digitalmente
Ricardo Rafter
Data: 25/01/2024 17:40:14 -0300
CPF: 388.223.850-04

Nome

Porto Alegre, ____ de janeiro de 2020.

Max Riffel seg., 22 de fev. 12:31
para mim ▾

Bom dia, Taís.

Confirmo a autorização para uso da entrevista.

...

Atenciosamente,

Max Riffel
Diretor Comercial



Av. Carlos Gomes, 700 - 8º andar - Porto Alegre/RS
CEP 90480-000 – Fone: (51) 2139-5959
www.avantsolar.com.br

Ricardo Baitelo sex., 12 de fev. 19:07 ☆ ↶
para Paula, mim, Técnico, Fernanda ▾

Boa noite, Taís, segue anexo o arquivo com nossos pequenos ajustes. Sobre a assinatura do termo, podemos autorizá-lo diretamente por email, já que não temos assinatura eletrônica.

...

Atenciosamente,

Dr. Ricardo Baitelo
Técnico-Regulatório
ABSOLAR
+55 11 3197- 4560



Os entrevistados que não possuem termo de consentimento ou autorização de uso de dados neste apêndice optaram por responder as questões do roteiro de entrevistas por meio de questionário.

APÊNDICE E: Transcrição das Entrevistas

Este apêndice apresenta a transcrição das entrevistas realizadas. Os entrevistados foram identificados por letras em ordem alfabética.

Entrevistado A

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

O que eu vejo de impacto da geração distribuída, são na verdade 2 coisas que eu não vi acontecer ainda. Nos países mais envolvidos com certeza isso já tem, mas vai ser o momento que esses materiais comecem a ser descartados. O que vamos fazer com essas placas solares, essas estruturas, esses inversores, enfim. Hoje estamos num avanço de aplicação desses equipamentos, mas eu ainda não vejo pelo menos grandes estudos ou empresas que estão preocupados com essa volta desses equipamentos daqui um tempo. Uma outra questão que tem em relação ao gás de efeito estufa talvez é esse o maior foco que eu penso que a própria Aneel deve ter vislumbrado é que a geração distribuída, com aplicação dela, acaba postergando a necessidade de construção de grandes usinas de geração centralizadas, que levam um tempo para ser construídas. Esse tempo varia do tamanho da usina pode ser 10, 15, 30 anos dependendo da potência dela. E essas usinas são importantes para manter o sistema elétrico firme ou com uma potência de geração suficiente para que não aconteça blecaute. Só que hoje no país não é suficiente, é por isso que entram as usinas térmicas. Então, a geração distribuída veio, do meu ponto de vista, para contribuir nesse sentido, para a gente não precisar acionar as térmicas com tanta frequência e poder talvez postergar ou se planejar melhor para construir outras usinas hidrelétricas, ou eólicas, mas preferencialmente hidrelétricas que são as que nos dão uma potência firme, para que em um espaço de tempo médio ou curto/médio prazo seja possível estudar e começar a aplicar o desenvolvimento dessas usinas hidrelétricas em conjunto com a geração distribuída, que na maior parte é fotovoltaica. Eu não sei precisar o número na região, mas posso dizer que na concessionária mais ou menos 98% ou 99% das usinas são fotovoltaicas. Alguma coisa é eólica e bem pouca coisa é biomassa. Então do ponto de vista de meio ambiente 2 preocupações: uma, esses materiais, que daqui um tempo terão que ser reutilizados, então se daria essa cadeia reversa desses materiais. E a segunda em relação à geração de energia, me parece que a aplicação da geração distribuída acaba ajudando a poder se planejar melhor e desenvolver outros tipos de geração. Hidráulica é uma delas porque ela demora um pouco mais de tempo para ser aplicada.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

O custo dessas grandes instalações, além da geração, é porque posterga a construção dessas usinas hidrelétricas, elas também têm um impacto no meio ambiente. Não me parece ser tão grave em relação aos efeitos estufa, mas ela tem um impacto porque ela vai precisar de um reservatório e vai afetar a fauna e a flora. Em algum momento isso vai acontecer, mas me parece que podendo ser organizado de uma forma melhor esse impacto fica menor. Então talvez não seja tão impactante em relação ao meio ambiente e a geração distribuída ajudaria nisso. Os maiores custos então são a implantação da usina, as subestações de elevação de tensão e as linhas de transmissão, porque as linhas de transmissão acabam atravessando lugares que acabam limitando o crescimento da vegetação, tem essas questões, que precisam ser deixadas faixas de domínio, faixa de servidão das linhas sempre limpas, para que o vegetal não encoste nos condutores.

Q5. Os operadores de distribuição deveriam mudar sua estratégia de negócio para garantir sua sustentabilidade?

Eles vão precisar mudar a forma de trabalhar, mas não vejo ainda um grande movimento em relação a isso, me parece que as distribuidoras estão mais resistentes do que vislumbrando uma nova forma de distribuir energia. Mas também isso é uma visão mais agressiva do ponto de vista do cliente contra a distribuidora, porque tem a base da regulação. A regulação do setor elétrico é muito rígida. Então a distribuidora também não consegue se moldar ao mercado da geração distribuída de uma forma que ela fique mais sustentável, sem infringir alguma lei, alguma regulação. Então, que eles vão ter que mudar o modelo de negócio, com certeza, não tem como continuar dessa forma. Vejo também que eles têm que ter um certo cuidado e não deixar que avance a geração distribuída numa velocidade muito grande. Claro que o modelo net metering que colocaram no Brasil já foi pensado dessa forma. O modelo que foi colocado na Alemanha acabou impactando negativamente em determinado momento, porque tinha muito mais geração do que carga. Porque lá o formato de geração distribuída é um pouco diferente daqui, lá não é por compensação. Em alguns casos eles têm, se não me engano 3 modelos diferentes, mas o principal deles, é a própria distribuidora ou agente de distribuição comprar essa energia para distribuir. Então ficou muito lucrativo para quem conseguisse colocar uma geração e distribuir energia vendendo para a própria distribuidora local. Vindo para o Brasil, o modelo net metering auxiliou

bastante nessa história da compensação, de poder ser feito só dessa forma e não haver transação financeira. Inclusive a própria resolução 482 é muito clara no sentido de que não pode haver venda de quilowatt-hora, principalmente em sistemas de consórcio ou cooperativa. A gente até sabe que isso de alguma forma ou outra deve estar ocorrendo no país, mas que não deveria ser dessa forma, por isso que veio esse modelo net metering para limitar isso. Mas que é inevitável, é. Todas as distribuidoras vão ter que aderir a novos modelos de negócio, elas vão ter que abrir mais negócios dentro da distribuidora. É aquela história, olhando pelo lado do cliente a distribuidora é um vilão, mas olhando do lado da distribuidora, o órgão regulador a deixa muito engessada, não tem muito o que ela trabalhar em um novo modelo de negócio.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

O ambiente cativo e o ambiente livre são ambientes distintos. A geração distribuída no país já existe há algum tempo, hoje quando a gente fala de geração distribuída, a gente está falando de clientes cativos que possuem sistemas de geração de energia e que utilizam esse sistema de geração para compensar na sua própria fatura ou dentro da mesma distribuidora em outro ponto de consumo, isso é uma geração distribuída no ambiente cativo. Quando a gente fala de geração distribuída no ambiente livre, parece que isso não poderia existir olhando para a REN 482, mas a geração distribuída quer dizer que as usinas estão distribuídas dentro da área de concessão ou área de permissão de uma empresa. Não quer dizer que a usina obrigatoriamente tem que ser conectada pelo sistema de compensação. Ela pode ser uma usina pequena, considerada como geração distribuída, porque é uma usina pequena, por exemplo, 1 MW, só que essa usina vai estar conectada na rede da distribuidora e vai liquidar a sua energia na Câmara de Comercialização. Essa usina a gente chamaria de “livre”, porque ela não está vendendo ou não está jogando a energia produzida para dentro da área da distribuidora e depois buscando essa energia de volta para o seu ponto de consumo, utilizando a rede da distribuidora como se fosse uma bateria imaginária. Então eu joga geração de energia para essa rede, ela guarda com ela vamos dizer assim, e aí quando eu quero eu vou lá e busco quando eu precisar. Então às vezes tem um pouquinho de confusão dentro da geração distribuída. A micro e mini geração distribuída da resolução 482 é pelo sistema de compensação, mas não existe somente essa geração distribuída. Existe a geração distribuída como conceito, que pode ser dividido em 2: o primeiro conceito é esse que a gente comentou, e o segundo conceito seria talvez um pouco mais antigo, que seria qualquer usina de pequeno porte que esteja instalada em alguma área que pode usar qualquer fonte de energia, pode ser hidráulica, solar, eólica, mas que não participam do sistema de compensação. Então essas usinas que participam no sistema de compensação, que é o maior número agora, é que está aumentando o mercado. Essas são as que mais estão afetando a distribuidora, porque o cliente está utilizando a rede da distribuidora para guardar sua energia, pois não há como guardar energia numa rede sem ser em um banco de baterias, essa energia que ele joga para a rede é consumida por um outro consumidor que está ali próximo. E para esse outro consumidor que está ali próximo, a distribuidora não precisou comprar energia para vir de uma usina para entregar para aquele consumidor. Então parece que a distribuidora está tendo alguma vantagem nesse sentido. Ela tem uma certa vantagem porque os clientes que estão próximos, um que tem um sistema de geração, e o outro que não têm o sistema de geração, um alimenta o outro. E essa energia para esses 2 clientes não precisa vir de uma outra fonte de energia, então não trafega energia elétrica por uma maior quantidade de ativos da distribuidora. Consequentemente, a distribuidora teria um menor custo de transporte dessa energia, só que ela é remunerada exatamente por isso, pelo transporte de energia. Por isso que ela é uma distribuidora. A tarifa da distribuidora é dividida em 3: tem a TUSD, a TE e a TUSD Encargos. A TUSD seria a estrada disponível, a TE seria o carro andando na estrada e a TUSD Encargos seria, quando o carro estiver andando na estrada, em algum momento ele vai pagar um pedágio. Esse pedágio seria a TUSD Encargos. Então, a distribuidora é remunerada pela TUSD. A TE, ela compra por 1 real e te entrega por 1 real, não é remunerada pelo quilowatt que ela compra. Ela é remunerada pelos ativos que são utilizados entre a geração e o consumo que pode ser um grande cliente ou um pequeno cliente. Então os clientes que estão com sistemas de geração instalados vão precisar ter uma diferença na sua tarifa, porque enquanto eles continuam usando os ativos da distribuidora eles não pagam igual a um cliente que não tem esse sistema de geração. Então quem está instalando acaba penalizando um pouco os clientes que não possuem geração instalada ainda e talvez nunca tenham. E aí vem aqueles cenários que Aneel montou, 6 cenários com os gatilhos de potência instalada. Quando chegasse naqueles gatilhos a Aneel ia começar a descontar dos clientes que tinham sistemas de geração a devolução do quilowatt dele. Por exemplo, se ele injeta 1 quilowatt, dependendo do momento que estivesse a geração distribuída no país, ele ia receber de volta só 0,7 daquele quilowatt que ele injetou. E aí essa diferença de 0,3 seria o necessário para pagar ou para compensar aqueles clientes que não tem a geração distribuída instalada. Essa é a maior complexidade que tem, esse cálculo da tarifação. Porque um cliente que está próximo de uma usina e um cliente que está a 50 km de uma usina, ele paga a mesma tarifa, se ele estiver no mesmo sub grupo e na mesma classe de tensão. Vamos comparar 2 clientes trifásicos. Temos um cliente de baixa tensão trifásico, que está do lado de uma usina e usa 1 km de ativos, de condutores, transformador, tudo mais. E outro cliente que está a 50 km de distância, também

trifásico baixa tensão. A tarifa dos 2 é mesma, só que aquele que está a 50 km de distância usa muito mais os ativos, então deveria pagar muito mais caro a energia dele. Então é de certa forma um condomínio.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Olhando de dentro da distribuidora me parece que ela está sempre um passo atrás. Aí eu já não sei se isso é proposital para que não acabe de vez afetando diretamente as distribuidoras. Porque uma coisa é você analisar uma distribuidora que está bem financeiramente, outra coisa é pegar uma distribuidora num estado que tem uma rede bastante precária, que seus principais indicadores de continuidade são ruins. E aí essa região ou essa distribuidora começa a receber muita geração distribuída. A quantidade de geração distribuída entrando numa empresa dessas com indicadores de continuidade ruins afeta muito mais o caixa da empresa do que uma distribuidora que esteja melhor financeiramente. Para as permissionárias eu não vi isso acontecer ainda, porque ela tem um outro regramento, apesar das permissionárias também terem vários clientes instalando geração distribuída. Mas as distribuidoras têm um PMSO regulatório, que é um número que a Aneel calculou e disse: se você ficar nesse número você está num nível eficiente de operação em todos os sentidos, pessoas, materiais, serviços e outros. Essa sigla, a Aneel fez um cálculo estimativo, comparou as distribuidoras, e disse o número para cada uma delas. Algumas estão dentro dessa faixa, outras estão acima, outras estão abaixo. As que estão acima são as que têm que se preocupar, porque são as empresas que estão fazendo os investimentos nas redes, estão desenvolvendo novos equipamentos, novas tecnologias, melhorando o seu indicador, só que com um custo de manutenção e operação muito elevado para conseguir manter o indicador de continuidade dentro do número que a Aneel exige. Então é como se fosse uma balança, de um lado ela tem dinheiro e de outro ela tem os indicadores. Se ela coloca muito dinheiro, automaticamente os indicadores vão ficar bons, vão ficar dentro do esperado. Então se ela usa muito dinheiro vai ficar mais leve o lado direito, o lado esquerdo da balança vai descer, ou seja, vai ficar um número interessante os indicadores que a Aneel exige. Mas de qualquer forma se ela usar muito dinheiro vai ficar desequilibrada balança. Então esse PMSO é como se equilibrasse a quantidade de dinheiro que você investiu de acordo com os indicadores de continuidade, de qualidade do produto e do serviço, que a gente chama de PRODIST Módulo 8. Ele direciona os investimentos da empresa. Então tem empresas que estão com muitas pessoas, as estatais têm muita gente lá, grandes salários, e aí o “P” fica muito grande, isso acaba impactando e ela não consegue melhorar os seus indicadores, porque ela não tem dinheiro suficiente para colocar na rede de distribuição dela. Então basicamente é, se a distribuidora está num nível aceitável do ponto de vista da Aneel, o impacto da entrada de nova geração distribuída ele não é tão significativo, mas se a distribuidora está com problema de caixa, com problema de indicadores e começa a entrar mais geração distribuída, vai diminuir mais ainda a rentabilidade dessa distribuidora e ela vai ter menos dinheiro para investir na rede e vai continuar sendo cobrada pelos indicadores de continuidade que antes já eram cobrados. Isso vai mudando todo ano, a cada ano a Aneel aperta um pouco mais o tal fator “X”. Acho que era 64 distribuidoras, agora são 60 distribuidoras, medidas em faixas. Dentro dessas faixas elas têm números similares desse fator X. Entre 10 por exemplo, a melhor delas incentiva a pior a fazer mais investimentos, para que ela fique na média dentro desse grupo. Isso é um impacto bastante significativo quando a empresa não está conseguindo rodar com os seus indicadores de uma forma que atenda os clientes. Por exemplo, essa concessionária tem algumas metas bem aguçadas em relação a quantidade de horas que o cliente percebe que ficou sem energia no ano. Ela tem um número regulatório, que ela tem que cumprir e ela está cumprindo, mas o foco é diminuir mais esse número. Isso, claro, tem toda uma estratégia por trás, quanto mais investimentos tiver na rede, mais ela é remunerada por esses investimentos. É como se fosse um condomínio, tem um prédio lá que não tem elevador, aí se coloca o elevador, o custo do condomínio vai ficar mais caro. A distribuidora não funciona de uma forma diferente, é mais ou menos nesse sentido.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

No Brasil, os clientes que possuem geração distribuída começaram a aumentar a capacidade de geração deles. À primeira vista a gente achava que esse aumento de geração era geração de energia no “padrão verde”, pensando no meio ambiente. Na verdade, eles querem colocar mais 2 placas solares para poder ter mais um ar-condicionado na casa. Então o foco do consumidor é outro. Então com certeza vai mudar a forma que eles vão consumir sua energia. Do meu ponto de vista vai mudar, ele vai ficar cada vez mais exigente, ele quer falar cada vez menos com a distribuidora, com pessoas. Ele quer resolver tudo por aplicativo. Existe ainda pessoas com 50, 60, 70 anos de idade, que ainda tem aquela necessidade de ir a uma agência falar com uma pessoa, mas está ocorrendo uma revitalização dessas pessoas que estão hoje nesse ambiente e elas estão migrando desse ambiente de ir até uma agência falar com uma pessoa, pegar um papel na mão, eles estão ficando totalmente digitalizados. E essa digitalização já direciona para um outro comportamento do consumidor, porque ele vai ficar mais exigente no sentido de permitir que falte cada vez menos energia, porque mesmo que ele tenha um sistema de geração distribuída, se

ele não tem um banco de baterias e se faltar energia de noite ou em um horário que não tem sol (fotovoltaica) ou não tem vento (eólica), ele vai querer que a energia volte rapidamente. É aquele sentimento, eu tenho um sistema de geração de energia que não está me ajudando para nada agora, o que adiantou colocar esse sistema aqui e agora falta energia da distribuidora, eu continuo sem energia. Ele vai ficar mais exigente e vai começar a procurar alternativas: acumuladores de energia, mais um tipo de fonte de geração... Não vai ter mais só solar numa casa. Por exemplo, vai ter solar, uma hidráulica com a própria água do encanamento da casa dele, se for um prédio vai ter uma eólica junto, só aí vai ter essas 3, mais a distribuidora, mais um banco de baterias, pelo menos para o sistema de segurança ou sistema de iluminação auxiliar do prédio quando faltar energia.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Na CPFL em 2018, 2019, eles começaram a fazer alguns estudos em um bairro que foi chamado de “cidade inteligente”. Eles pegaram um pequeno lugar numa cidade e começaram a fazer a instalação de muitas placas solares ou muitos sistemas de geração num lugar para verificar como é que os circuitos se comportavam. O principal que eu vejo do ponto de vista técnico é nível de tensão. O nível de tensão é você ter na tomada da sua residência 220 volts. Todo o sistema de distribuição de energia até hoje sempre foi construído do ponto de vista de ter uma geração em um lugar, como se fosse uma via de mão única, gera em um lugar e direciona para a carga. Nunca foi imaginado ou pensado desenvolver uma rede que fosse via de mão dupla, que é o que está acontecendo agora. Então eu tenho vários circuitos geradores de baixa tensão, que estão conectados numa rede de distribuição e essa rede de distribuição possui um transformador. Esse transformador, quando ele foi instalado, os transformadores que existem nas redes domésticas são entre 75 kVA e 112,5 kVA, 150 kVA talvez em uns lugares, porque senão os circuitos ficam muito grandes. Então um transformador de 112,5 kVA, ele alimenta 220 consumidores, trifásicos ou monofásicos, de residências. Se a gente tiver, vamos colocar um número redondo, 200 consumidores. Se a gente pegar 200 consumidores e cada um desses consumidores instalar geração distribuída nesse circuito e todos eles começarem a injetar na rede da distribuidora, em algum momento a potência de geração de todos esses clientes somada, injetando nessa distribuição, vai ficar maior que a própria capacidade do transformador. E esse transformador foi projetado para que a energia trafegasse sempre de A (entrada) para B (saída) e agora ele vai receber de B (saída) para A (entrada). Internamente o transformador não tem problema, ele aceitaria essa energia reversa ou energia inversa. O grande problema seria que a potência disponível nele é como se fosse um registro de cano de água. O registro de um prédio, por exemplo, ele alimenta 10 apartamentos. Vamos fazer o contrário agora, esses 10 apartamentos estão produzindo sua água e está voltando para esse registro. Esse registro, que seria o transformador, se você colocar uma potência muito grande, vai estourar o registro, ou vai estourar o transformador, no caso dessa analogia. Além disso, a tensão que é os 220 volts, que deveria estar dentro de uma faixa prevista no PRODIST no circuito de baixa tensão, ela devia estar numa faixa, e por ter muita gente gerando energia ela vai ficar muito alta, vai começar a dar 230, 240 volts, não temos atualmente reguladores de tensão para a baixa tensão, é claro que o inversor ajuda, ele controla um pouco isso. Mas a tensão vai começar a ficar mais alta na baixa tensão e conseqüentemente, se a potência do transformador suportar, vai jogar para a média tensão, e todos os circuitos de média tensão vão ficar com a tensão muito alta também. Com isso, pode começar a dar problema nos bancos de capacitor que existem nessas redes, nos reguladores de tensão, fluxo inverso, pois este equipamento era acostumado a sempre controlar a tensão “entrando em A e saindo em B”, e agora vai estar chegando e B e voltando para A. Vai ter problema de conexão (física), parafuso, fio, por causa da potência que está circulando ali, superior à potência que a rede foi dimensionada... Então tecnicamente tem vários impactos do ponto de vista físico. Também começa a parte mais avançada da engenharia, que são as harmônicas, porque esses equipamentos geram muita harmônica e essas harmônicas fazem como se a senoide da rede ficasse com dentes, aí os equipamentos que estão consumindo energia, gerada por esses sistemas de geração distribuída que tem harmônica muito elevada, vão começar também a sofrer. Esses equipamentos podem começar a queimar, a não trabalhar como deveria, enfim, tem o lado ruim, que é isso que eu comentei até agora, mas também tem um lado bom. Os circuitos que são distantes, por exemplo, tem lá uma cidade que não possui uma subestação própria, a energia dela vem de uma outra subestação, de uma outra cidade. Então até chegar lá, essa energia passa para um regulador de tensão, para elevar, mas muitas vezes na cidade dependendo do lugar, a tensão não é boa. Aí quando você instala essa geração distribuída, ela corrige essa tensão. Então pensando nessas correções isso é benéfico para a rede, mas eu vejo que a maioria das pessoas que podem instalar geração distribuída nem sempre são as pessoas que estão no interior, são mais as pessoas que estão na cidade. E então dentro da cidade pode ocorrer esses problemas. Falando tecnicamente tem mais uma questão que eu já vi acontecer. São grandes grupos econômicos, que procuram lugares para instalar a geração distribuída. Esse lugar vai ter um espaço significativo, onde se possa colocar uma usina de talvez 5 megawatts, que é o máximo que a 482 permite no sistema de compensação. Essa usina de 5 MW vai precisar de um espaço físico muito grande,

então ela vai ter que ir para uma área mais rural. Essa área rural onde ela vai estar, o alimentador que vai até essa rede rural ou a estrutura da distribuidora que vai até lá não é adequada com uma rede da área urbana. Os condutores são de uma bitola menor, os equipamentos transformadores têm uma potência menor, então cada vez que esses mini geradores, que são geradores até 5 MW, eles se deslocam para fora da cidade para conseguir fazer a instalação por causa do tamanho físico que eles vão ocupar, eles acabam impactando a rede de distribuição daquela distribuidora local, que vai ter que fazer uma reforma na rede para poder atender esses clientes. E essa reforma na rede muitas vezes vai ter um impacto no próprio PFC (participação financeira do consumidor) e ERD (encargo de responsabilidade da distribuidora). Isso é mais ou menos assim: quando alguém solicita uma ligação de energia para carga ou para a geração em algum lugar que a rede não comporta essa instalação, a distribuidora precisa fazer uma reforma na rede. Essa reforma ou reforço vai ter uma participação financeira, ou seja, a distribuidora vai entrar com o ERD que é esse encargo de responsabilidade da distribuidora, e o cliente também vai entrar com uma participação financeira, para poder fazer essa reforma na rede. E essa reforma na rede vai impactar todos os consumidores que estão nessa distribuidora. É aquela história de quanto mais ativos novos a distribuidora tiver na rede dela, melhor vai ser a qualidade da energia para os consumidores, mas consequentemente o quilowatt-hora vai ficar mais caro. Aí começa a balança, se começa a instalar várias gerações de energia maiores, de médio porte neste formato para poder fazer a compensação em vários pontos de consumo na modelagem que a gente chama de consórcio ou cooperativa, vai começar a ter impactos talvez pontuais, de tensão e de problemas em equipamentos. Aí você instala uma usina de 5 MW na ponta de um alimentador que tem 30 km, parece muito bom, todas aquelas pessoas que estão próximas da usina vão ser compensadas. Só que a gente está falando de usina fotovoltaica, e quando passa uma nuvem no céu essa usina acaba sendo impactada por essa nuvem. A tensão diminui muito rápido, é diferente de uma hidráulica. E essa diminuição muito rápida, os equipamentos são eletromecânicos, essa comutação deles às vezes não comuta na velocidade que precisa, e aí começa a queima dos equipamentos por desequilíbrio de tensão.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Eu vejo que é o impacto é mais positivo do que negativo, porque o cliente que está gerando a sua energia e acumulando essa energia em bancos de bateria, ele é um cliente que não vai precisar utilizar toda a potência da rede da distribuidora em algum momento. Ele vai poder dosar isso, vai poder usar um pouco da bateria e um pouco da distribuidora, até porque ele não quer pagar quilowatt-hora da distribuidora, é por isso que está colocando o sistema de baterias. Eu acho que isso só não está avançando mais por causa do custo da bateria, ainda está muito alto e as tecnologias ainda não avançaram. Mas, com certeza, em curto espaço de tempo ou médio espaço de tempo, avançando as tecnologias, é inevitável que vai ter bateria em tudo quanto é lugar, centros universitários, por exemplo, precisam de um nobreak para manter sua estrutura de tecnologia sempre ligada. Isso tem um custo associado bastante grande, se ela pudesse ter bancos de baterias que sustentassem esses equipamentos pelo menos durante o horário que o sistema de geração de energia não está operando, isso iria diminuir bruscamente o custo da energia que a faculdade/universidade vai pagar para a distribuidora, porque ela não vai usar muito a rede da distribuidora. O impacto negativo ou positivo que ela teria em injetar mais potência na rede da distribuidora, ele também vai diminuindo, porque aí você pode calcular um sistema que não precisa ser exageradamente grande para poder compensar toda a energia que você precisa para o local, porque se tu tem os bancos de baterias e consegue fazer uma geração de energia suficiente para carregar os bancos e manter o consumo durante o dia, quando entrar a noite ou madrugada quando geralmente a gente não está utilizando, fica mais fácil manter só pelos bancos de bateria e um consumo menor da rede da distribuidora. Isso diminui as oscilações de tensão ou problema dos equipamentos que a distribuidora pode sofrer por causa dessas intermitências, as conexões que podem ter problema de potência, chave fusível, chave faca, equipamentos físicos mesmo.

Entrevistado B

Sobre painel solar

Essas placas solares/fotovoltaicas têm uma vida útil muito grande, de 20, 25 anos em média. Então o que está acontecendo a recém agora é o trabalho com reciclagem de placas solares. Nós começamos a trabalhar com isso há 3 ou 4 anos, porque antes não havia esse resíduo. Não havia notícias de resíduo de placas solares porque a vida útil é muito grande. Então, os primeiros resíduos de placas estão surgindo agora, depois de 20 anos, de 25 anos instalados. Claro que se vamos para outros países, por exemplo, Alemanha ou Austrália, já tem muito mais resíduo de painel solar do que o Brasil porque eles começaram a geração por energia solar muito antes da gente. Então lá já tem os primeiros grandes volumes de resíduo. Mas, em termos de reciclagem, ninguém tem a solução, ninguém recicla isso de uma forma comercial, em grande escala, de forma eficiente. O que tem é muita pesquisa, pequenos

grupos, pequenas iniciativas locais/regionais, para tentar dar um destino um pouco mais adequado ao resíduo da placa solar.

Quais os materiais contidos em uma placa solar?

Basicamente o mercado de placa solar, 95% dele é ocupado por um tipo de painel solar, que é o que a gente chama de silício cristalino. Os outros 5% são outras tecnologias, cobre com índio, gálio, mas o que domina ainda é o silício cristalino que é o painel tradicional/comum que a gente vê todo dia. O que ele tem de material? Ele é um sanduíche, com uma carcaça externa, moldura, de alumínio. Ele tem uma primeira camada de vidro comum, abaixo do vidro, a gente tem um polímero, um eva (etil vinil acetato) que é para fazer uma colagem, uma junção. Abaixo disso efetivamente vem a célula solar que é quem consegue transformar a energia solar em energia elétrica, que é de silício cristalino. Esse é um silício ultra puro. Junto com essa camada de silício, na superfície dela tem algumas trilhas, que são trilhas para conduzir eletricidade. Essas trilhas são como espinhas de peixe, a espinha principal é uma trilha de cobre e as que se espalham são feitas de prata. Então a gente começa a ter uma mistura de alumínio, de vidro, de polímero, de cobre, de prata e do próprio silício. E tudo está na forma de sanduíche, encapsulado, fechado, lacrado, porque não pode entrar umidade, não pode entrar poeira, tem que ter uma certa resistência mecânica. Isso quando se torna resíduo, dali 20, 25 anos, teoricamente a gente deveria conseguir separar esse material entre si para poder reciclar. O conceito de reciclagem sempre vai ser mais eficiente quanto mais separado você tiver os materiais. Só que em uma placa solar é muito difícil separar. Os materiais foram construídos e projetados para estarem completamente agregados uns aos outros. Então não tem ninguém que faça isso no mundo de forma eficiente. Existe muita pesquisa sobre como separar o silício, a prata, o cobre. E aí vem a questão ambiental, a questão da sustentabilidade. Claro que energia solar é ambientalmente mais atrativa, é menos poluente, sustentável, a energia está ali de graça. Nem se compara com geração por carvão ou queima de combustíveis fósseis. Mas, ao mesmo tempo, lá no final do processo tem esse resíduo, que são as placas solares. E para reciclar isso, pelo que se tem de pesquisa, se gasta muita energia e produtos químicos. Então a reciclagem em si da placa solar não é tão amigável assim, ambientalmente falando. E, aliado ao processo não ser tão verde, os produtos que a gente consegue obter de um painel solar obsoleto acabam não tendo tanto valor agregado. Por exemplo, a gente consegue separar a moldura de alumínio, que vai para a reciclagem de alumínio. O vidro, é um vidro comum, que vale centavos o quilo, então não é um grande atrativo. A prata, essa sim tem um valor econômico, só que o percentual dela em uma placa solar, a contribuição dela em termos de massa é muito pequena. Nem vou chutar o número, mas estamos falando aí abaixo de 0,5%. E aí tem uma parcela significativa que é o silício, que é a célula fotovoltaica, feita de silício cristalino, que tem valor de mercado. Mas, pelo menos por tudo que a gente estudou, todos tem dificuldade de obter esse silício de forma pura e inteiro, sem quebrar, sem triturar ou sem estar contaminando esse silício. Então, teoricamente ele tem um alto valor de mercado, mas o que a gente extrair de um painel solar normalmente ou está quebrado, ou está triturado, ou está contaminado. Então, a reciclagem de painel solar ainda está engatinhando, não existe uma rota já definida, como pirometalurgia ou hidrometalurgia. Os processos de reciclagem de eletrônicos geralmente misturam essas técnicas para conseguir separar e purificar os materiais para gerar um produto que tenha algum interesse de mercado. Os painéis solares não fogem disso, as pesquisas misturam um pouco de pirometalurgia, ou seja, pegam o painel, põem dentro de um forno, aquece ele a 500 graus para tentar degradar o polímero e aí tenta separar essas camadas do sanduíche. Depois pega uma dessas camadas onde está a prata e põe em um tanque cheio de ácido nítrico, por exemplo, para dissolver a prata. Aí retirada a prata, sobra o silício. Então é uma mistura de técnicas, de processos químicos e térmicos. Só que isso tem todo um impacto ambiental, pois está se mexendo com ácido, com fornos a 500, 600 graus. Então, a produção de energia por painel solar é muito interessante, mas acho que ninguém fez esse cálculo total de que há 20 anos teremos os painéis, esse resíduo. Isso tem que entrar no cálculo do impacto global. Obviamente não vai ser tão impactante quanto produzir energia por carvão, mas não deve ser encarado como a solução ideal, pois no final do processo há esse resíduo.

Tem dois impactos. No final, o resíduo dos painéis, só que tem um impacto ambiental muito grande antes. Ou seja, para produzir o painel, você precisa de prata, então você precisa de minério, você precisa extrair o minério e produzir a prata. Você precisa de cobre, então precisa extrair minério de cobre e produzir o cobre. Você precisa de silício, esse sim, ultra puro. Então você precisa da matéria prima que tem na natureza, que é o quartzo. Esse quartzo vai ser produzido em uma indústria metalúrgica com um consumo altíssimo de energia para produzir silício metálico, só que esse silício metálico não está bom, ele precisa ser refinado duas ou três vezes até chegar na pureza necessária para ser usado como painel solar. Você tem um impacto gigantesco no início para ter os materiais para produzir o painel solar, aí tem 20 anos, 25 anos de uso dele e lá no final você tem de novo um impacto de reciclar ou destinar de forma correta esse painel.

Essa questão do impacto da mineração já tinha aparecido em outros estudos.

Por exemplo, o minério de cobre, grosso modo, a rocha de onde vou extrair o cobre, essa rocha ou solo tem em torno de 1% de cobre. Então, de uma tonelada que se extraia de rocha vamos tirar 1% de cobre. Os outros 99% já são resíduos que tem que ser destinados, descartados lá na mineração. A prata é a

mesma coisa. Os teores desses metais nos minérios são muito baixos. Já no silício o problema é a pureza que precisa ter nele para produzir painel solar, para ele ter o efeito fotovoltaico, precisamos de um silício ultra puro.

Uso de baterias (a mais utilizada em sistemas fotovoltaicos é a bateria de chumbo-ácido¹)

O uso desse tipo de bateria tem uma vantagem que é o processo dominado de produção. Esse tipo de bateria existe há bastante tempo. Elas são formadas por duas placas de chumbo e entre elas ácido sulfúrico, que é o eletrólito. Uma desvantagem é o impacto da produção dessas baterias: tem a questão do chumbo, que é tóxico. É necessário minerar o chumbo e produzir chumbo metálico para usar nas baterias. Uma outra vantagem é que a logística de reciclagem já está definida. Então essa bateria não será descartada no meio ambiente. Há empresas que reciclam esse tipo de bateria, então é um tipo de resíduo que tem solução. Também há legislações que proíbem descartar esse resíduo no meio ambiente. Esse também é um resíduo que é vantajoso reciclar. Boa parte do chumbo utilizado hoje no mercado vem da reciclagem. Então esse é um caso de sucesso pois apenas parte do chumbo necessário hoje precisa ser extraído.

Entrevistado C

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

A resposta para sua pergunta vai depender da tecnologia. Uma tecnologia para ser instalada envolve um certo investimento energético para botar de pé. Isso se chama na literatura de *payback energético*. Então por exemplo no caso de uma placa fotovoltaica quanto tempo ela tem que ficar no sol gerando energia para gerar uma quantidade de energia equivalente a aquela que foi usada na sua própria fabricação. Isso tudo se calcula, existe números na literatura que você encontra facilmente. Esses números aqui no Brasil estão todos abaixo de 1 ano dependendo de quanto sol tem na região, de meio ano a um ano. Mas a matriz energética que é a base da fabricação desse equipamento é muito importante. Então se a gente fala que a maior parte do gerador fotovoltaico vem da China e a base da matriz energética chinesa é o carvão, você pode achar que o painel fotovoltaico maravilhoso que não emite nada na sua operação, ele tem uma pegada que não é muito verde, é cinza, que você pode quantificar. Só que de qualquer maneira se esse *payback energético* é menor do que um ano e ele vai durar pelo menos 25 anos, você já sabe que o resultado é muitas vezes positivo. Então isso seria uma consequência, talvez negativa, da adoção de uma fonte renovável, se para produzir ela eu usei energia suja. Com relação a créditos de carbono o que que o fotovoltaico está deslocando? Aqui no Brasil se ele deslocar térmica a gás, térmica a carvão, beleza, aí você tem um crédito. Mas na média brasileira o quilowatt hora gerado já tem um impacto pequeno de emissão então quando você bota o fotovoltaico a gente já fez os cálculos, tem até publicação sobre isso é bastante pequeno o ganho do fotovoltaico em relação a créditos de carbono. Mas então essa é a síntese dessa.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

Certamente. Existe um adiamento quando você fala de fotovoltaico puro e existe uma redução de investimentos quando a gente parte para a bateria. Num futuro próximo os sistemas fotovoltaicos vão ser acompanhados de sistemas de acumulação de bateria. Isso vai trazer ainda mais autonomia para as redes de distribuição local, porque vai aliviar muito mais as redes de transmissão. Certamente o benefício existe e ele vai ser crescente na medida em que o armazenamento local de energia em baterias residenciais por exemplo começar a acontecer. Como já está acontecendo em outros países.

Q3. Com a implantação da geração distribuída há uma mudança na remuneração do operador da rede de distribuição. Como essa mudança afeta o mercado de energia?

O operador da rede é remunerado pelos seus custos então o custo do operador sempre é repassado para a tarifa. Então esse custo na verdade vai ser redistribuído entre toda a população. Isso é outra discussão da resolução normativa 482 da gd, o setor da distribuidora está dizendo que quem vai pagar isso é aquele consumidor que não investiu em geração fotovoltaica. Então esse custo não é da distribuidora, ele é rateado entre todos os usuários da rede.

Q4. Quais mudanças deveriam ocorrer no âmbito tributário para comportar a entrada da geração distribuída no sistema de energia?

O que aconteceu que foi a isenção de ICMS na energia injetada já foi conquista importante do setor que queria essa desoneração. Então nesse sentido eu acho que está de bom tamanho. Porque já é um super bom negócio você fazer GD. Então hoje quem não faz GD está deixando de ter uma vantagem. Então não tem necessidade de nenhuma da reforma tributária para melhorar isso ainda.

Q5. Os operadores de distribuição deveriam mudar sua estratégia de negócio para garantir sua sustentabilidade?

Certamente tem e as mais progressistas já estão fazendo isso. Quando eu disse que esse custo é repassado o que está acontecendo é que o tamanho do bolo está diminuindo. Então esse custo não é

repassado para distribuidora, mas o tamanho do negócio dela diminuiu. Ela está transacionando menos quilowatt-hora, com isso ela tem uma redução no seu negócio. As distribuidoras mais progressistas já estão enxergando isso e elas mesmas partindo para a entrada nesse negócio da gd. Afinal de contas toda a distribuidora já tem um contrato com o consumidor. Faz sentido que ela estenda esse negócio para oferecer o serviço de gd para o consumidor.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

Então, essa é toda a discussão da revisão da 482. No momento em que a penetração fotovoltaica for muito grande de fato o que vai acontecer: o quilowatt-hora do consumidor que tem gd fotovoltaica, que está injetando na rede, ele está usando essa bateria gratuitamente, que é a rede, que tem essa capacidade infinita de absorver energia. E ele não está pagando, ele não usa o quilowatt-hora na rede, então ele não está pagando pelo uso da rede. Isso é dividido então entre toda população. Então, para essa população, sim, o impacto existe. Por outro lado, existem benefícios da gd para a rede de distribuição, que são por exemplo esse adiamento de investimentos. Esses são investimentos que precisam ser feitos pelas distribuidoras e que são repassados para a tarifa. O que está faltando é tudo isso ser quantificado de maneira objetiva para ver quais são os impactos para mais e para menos para aquele consumidor que não adotou a gd.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Não, acho que o que está faltando acontecer é reconhecer o papel importante que o armazenamento de energia vai ter em breve. Com a entrada forte da mobilidade elétrica, dos carros elétricos, e a consequência disso é que depois que as baterias dos carros elétricos já não forem mais úteis no carro elétrico elas ainda são úteis no que se chama de segunda vida para aplicações estacionárias por mais 10 anos talvez. Essas baterias vão infestar o mercado de gd, elas vão estar disponíveis para a gd, e se a resolução da Aneel, por exemplo, for em um caminho que ela for onerar a injeção na rede, como aquela alternativa 5 da proposta Aneel, nesse sentido a bateria vai começar a valer a pena e isso vai revolucionar esse mercado. Isso vai mudar bastante esse mercado, quando as baterias entrarem em ação. E isso não está sendo muito bem avaliado, existem alguns relatórios, algumas publicações que são oficiais até do governo circulando por aí, que deixam o horizonte da viabilidade econômica da bateria lá longe no futuro. Foi um engano quando achamos que a geração fotovoltaica seria cara por muitos anos ainda. A geração fotovoltaica reduziu 10 vezes o seu custo nos últimos 10 anos. E isso não era esperado, nem previsto por ninguém. Todas essas consultorias internacionais muito conceituadas, ninguém dizia que a fotovoltaica ia reduzir o custo como aconteceu. E as baterias possivelmente vão para o mesmo caminho. Principalmente pelo imposto que elas vão ter, considerando os carros elétricos. Quando isso acontecer, a legislação precisa estar pronta para isso, e ela não está levando isso muito em conta. Parece que é uma coisa que está lá no futuro distante, mas isso deve acontecer aí no horizonte de 5 anos. As baterias devem chegar com muita força e vai mudar muito.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Sim, já está influenciando. Nós temos aqui em Florianópolis um programa, onde instalaram-se 1.250 geradores fotovoltaicos idênticos em residências aqui de Santa Catarina, e uma fração delas aqui em Florianópolis. A gente conversou com várias dessas pessoas e elas agora passaram a fazer coisas que dá para fazer de dia, quando tem mais sol e evitando fazer à noite, quando elas não estão gerando energia solar. As pessoas começam a ficar... A geração fotovoltaica, quando você gera sua própria energia, no seu próprio telhado, ela fica mais consciente do que é quilowatt-hora, você descobre onde fica o relógio medidor na sua casa. De maneira geral, as pessoas ficam mais conscientes do seu consumo energético e passam a tomar medidas onde elas preferem fazer o auto consumo. Isso porque ela sabe que o quilowatt-hora é mais barato do que ter que comprar da distribuidora.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Os exemplos que a gente já tem, por exemplo, Califórnia, Alemanha e Austrália, principalmente a Austrália, é um exemplo que eu gosto de dar porque ele tem vários paralelos e semelhanças com o Brasil. Na Austrália, assim como no Brasil, a maior parte dos consumidores residenciais moram em casas unifamiliares. Aqui no Brasil, 80% das pessoas moram em casas. Lá na Austrália a penetração da geração fotovoltaica já é de 25%. Uma em cada 4 casas têm geradores fotovoltaicos. E na Austrália, não houve grandes problemas, o operador da rede aprendeu, na medida que a penetração na rede foi aumentando, a lidar com as questões técnicas envolvidas. E não há nenhum relatório, nenhuma notícia de que a gd tenha causado algum impacto negativo de grandes proporções. Existem situações ou questões técnicas relacionadas com a regulação de frequência, de tensão, mas são questões técnicas que são fáceis de resolver tecnicamente, desde que você saiba o que você está esperando. Então se você está

preparado para isso, e nosso corpo técnico brasileiro é muito competente, e está sabendo responder a essas questões. Eu não vejo isso como um problema, eu vejo muito mais os benefícios que a rede vai ainda obter da inserção em grande escala da geração distribuída, do que prejuízo.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Começando pela questão ambiental, certamente se você ao final da vida útil dessa bateria, jogar ela em um lixão, vai ter um impacto ambiental e não vai ser pequeno. Só que a partir de uma certa escala, é como latinhas de alumínio, vai ser reciclado porque tem um valor agregado muito alto e tem um valor residual muito alto. Então essas baterias vão ser recicladas. Hoje em dia a reciclagem de baterias de celular e de notebook praticamente não existe porque os volumes são pequenos. Mas outro dia mesmo eu estava fazendo as contas do que um carro puramente elétrico. Nós temos um projeto com a fabricante japonesa Nissan, onde nós recebemos as baterias usadas de 12 carros que tem uma bateria de 24,5 quilowatt-hora, que a gente está usando em segunda vida, em aplicações estacionárias. Quando você faz uma continha da bateria do seu notebook, do seu celular e de tudo o que você tem de aparelhos que usam baterias de lítio, com um carro eu consigo fazer baterias para 300 notebooks. Então se vê a mudança de escala. Reciclar bateria de notebook ou celular não vale a pena porque elas são muito pequenas e as quantidades são muito pequenas. Mas se de cada carro que for descartar a bateria você tem o equivalente a 300 computadores, você começa a ver uma economia de escala. Então a resposta é sim, existe impacto ambiental se o descarte for feito de maneira não apropriada. Mas existe uma justificativa econômica para você fazer o descarte apropriado disso. Com relação a impactos técnicos, eles são ainda mais positivos, porque a bateria aparece como pulmão, como neutralizador da intermitência da disponibilidade da gd e da solar. É como que um amortecedor, os impactos da intermitência são amortecidos pelo uso da bateria e isso então só ajuda as questões técnicas rede de distribuição, fora outros serviços ancilares, que a bateria pode suprir, que é a regulação de frequência de tensão, tudo aquilo que são alguns impactos negativos que tem que tomar cuidado com a gd intermitente, a bateria ajuda a amenizar, então ela tem um impacto positivo nesse sentido. Os sistemas que estão usando a bateria junto com a gd, usam baterias de lítio.

Q18. De que formas a geração distribuída pode auxiliar na demanda por energia nos horários de ponta?

Cada vez mais, ano após ano no Brasil, o recorde de consumo ou de demanda de potência está acontecendo entre 2 e 3 da tarde, entre dezembro e fevereiro. Todos os anos o recorde é por esse horário e por essa época do ano, que é bem quando tem mais sol. Principalmente aqui no sul do Brasil, inclusive o oeste do Rio Grande do Sul é o lugar mais ensolarado do Brasil nos meses de dezembro a março. Durante o verão, a maior incidência de irradiação solar acontece no Sul, bem quando temos o ar-condicionado ligado a pleno.

Q20. Quais os riscos de mercado ou desafios associados às características de intermitência das fontes utilizadas na geração distribuída (por exemplo, solar e eólica)?

A questão da intermitência está muito associada com poder armazenar energia. Na medida em que as baterias entrarem mais e mais, a intermitência vai deixar mais e mais de ser um problema. Hoje ela é um problema, se você começa a ter uma penetração muito grande de telhados fotovoltaicos em uma cidade e de repente está ensolarado então fecha o tempo e começa a chover, toda aquela potência praticamente vai para zero. Assim você precisa trazer aquilo de outro lugar. Mas se você tiver bateria, ela vai novamente amortecer essa intermitência.

Entrevistado D

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Falar que a energia solar é ambientalmente isenta a gente estaria sendo muito generoso. Porque o impacto ambiental da criação de uma placa é brutal, bauxita, cobalto, cobre, níquel, ... vai tudo ali. Isso tem um impacto muito severo na questão da mineração. A coisa de talvez 6 meses atrás a IRENA publicou um estudo chamado mining for sustainability, onde faz um apanhado sobre a questão da sustentabilidade da mineração e o nível que isso tem de atingir, porque agora os painéis solares são uma parte do que vai vir com as baterias. Então existe um impacto bastante severo nisso. Importar painel solar grosso modo também é importar lixo, porque: se recicla isso? Não se sabe isso nesse momento. Vamos ver o que vamos fazer com isso. Existe um benefício ambiental da energia solar que ela tem uma escalabilidade e um dimensionamento bastante particular com relação a tamanho. O que isso quer dizer? Quanto mais pulverizada for a geração maior é a redução da carga pontual. Inclusive nos horários de pico, que talvez sempre representem os horários de maior geração porque talvez sejam os horários de maior sol. Então faz uma curva bem interessante nesse casamento. Tem o problema de muita solar durante o dia e o afundamento da noite. Mas enfim, de uma certa forma, essa redução de carga, num

contexto brasileiro é obvio que vai representar uma menor necessidade entre intercâmbios energéticos entre supermercados então isso vai preservar a vida útil de todos esses equipamentos de distribuição. Talvez vá ter que se remunerar menos o transmissor porque obviamente tu vai diminuir o número de trocas e de quantidade de energia. Então o grande benefício no Brasil talvez seja a utilização da energia solar e o casamento com gás por exemplo que eu acredito muito. Então, sistemas híbridos talvez CGH e solar, solar e biogás e solar de grande escala com gás natural. Isso seria um mix e eólica entrando ali com alguma coisa. Isso seria um grande mix. Se considerarmos que vai haver muita energia solar no Brasil nos 10 próximos anos, o que podemos perceber é o seguinte: essa pulverização de energia vai representar talvez uma não necessidade de expansão de uma nova rede, daí tu tem um custo só de novas linhas, temos o custo ambiental de rede, tu tens um custo de perda de energia que tu poderia certamente investir nas gerações locais. Então se considerarmos que 15% da energia que transita no Brasil são perdas técnicas. Temos perda de eficiência. Então quanto mais se reduz a carga, que é o conceito de geração distribuída... eu falo que GD tem uma aplicação junto à carga, essa é a função da gd, então o excedente é trocado na rede a custo de balcão. Quando se fala de geração aí eu prefiro que seja pelo mercado livre, porque aí você é o gerador. Então seria abrir o mercado de baixa tensão. Usinas de 10 15 mega solares. Que atenderia um pool de clientes. Isso é chamado tarifa binômica. Se paga claramente a concessionária o que se deve pagar. Não vai pagar nem transmissora, porque eventualmente não se entra no sistema de transmissão. Daí negociaria isso com a distribuidora para remunerar a UDS e TUDS, mas muito mais é remunerar a distribuidora pelo serviço. Esse realismo tarifário ele poderia desencadear e é o que acontece, temos um pagamento adequado de tributos, de serviços, e ali no teto está fazendo um trade, com uso de blockchain, com escopos de armazenamento, com gestão de microgrids, tem várias aplicações que podem ser utilizadas.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

Quem não gosta disso são os fabricantes de equipamentos, diminui o ritmo das obras, mas gera um maior aumento de necessidade de reforço de infraestrutura, reforma, aproveitar as estruturas já existentes. Não precisa sair construindo tanta coisa assim. Muito do que acontece nessa guerra civil da gd é essa falta de entendimento do que é rede e do que é serviço. E isso de uma certa forma traz uma distorção de mercado.

Q3. Com a implantação da geração distribuída há uma mudança na remuneração do operador da rede de distribuição. Como essa mudança afeta o mercado de energia?

Um dos grandes problemas com relação a instalação de gd em concessionárias é de fato a exposição de um problema crônico no Brasil. As redes de distribuição, geralmente, são muito precárias, principalmente em um país agrícola como o Brasil. Uma das maiores problemáticas hoje da eletrificação rural e do progresso no campo é a falta de energia. No caso específico do Rio Grande do Sul existe uma demanda uma grande dos coredes com relação a todo mundo ter rede trifásica. Porque isso te garante, por exemplo, um investimento maior em um silo, em um movimentador, poderia ter uma mecanização mais adequada. Então assim, quando eu faço a colocação da gd em um lugar qualquer do grid, a maioria das vezes essa gd é um problema operacional, porque se está invertendo o fluxo. Quando eu falo isso, as redes de distribuição são formatadas em uma distribuição monofásica. Quando se injeta gd nesse fluxo de potência isso acaba sendo um problema de operação para as concessionárias, porque ela precisa fazer o reforço da rede até 75kW o reforço de rede é por ela. Então se eu faço uma distribuição de várias usinas de 75kW para um mesmo caminho elétrico, sobrecarregando uma rede, a concessionária vai chegar no ponto em que vai precisar negar os acessos ou vai precisar fazer um upgrade nessa rede. Então ela mexe na estrutura orçamentária dela para o ano seguinte. Então quando se penetra muito a gd sem fazer um procedimento adequado, o que a concessionária vai fazer? Precisa negar acesso porque senão não consegue entregar a obra. Porque se a concessionária autoriza o acesso ela precisa cumprir o prazo da 482. Se eu autorizar eu preciso dizer para o meu gestor que usei o dinheiro para outra coisa. Eu não acho difícil entender isso, tem que só ter uma perspectiva da concessionária, tem que ir lá e trocar todos os trafos monofásicos e refazer a rede e mudar o diagrama de distribuição. Então, é relativamente complexo esse relacionamento. É uma batalha campal das RNTs. O segredo da geração distribuída não é a 482, é a 414. Depois tem PRODIST etc. Então tem que ter um engenheiro muito bem treinado para saber onde tem pegadinha.

Q4. Quais mudanças deveriam ocorrer no âmbito tributário para comportar a entrada da geração distribuída no sistema de energia?

Vou fazer uma passagem. O convênio CONFAZ autoriza os estados a fazer internalização dessa regra de isenção de ICMS através de decreto. E o convênio CONFAZ é nacional, do conselho de política fazendária, que define para evitar guerra fiscal. Então lá está dito que existe isenção para usinas de até 1MW, de uso próprio, então é só autoconsumo remoto. Não existe essa isenção para nenhuma das outras figuras, consórcio, cooperativa... E essa isenção se dá sobre a energia que tu injeta e que tu transaciona. Tu tem uma isenção sobre a TE, sendo que tu continua pagando a TUSD. Isso na baixa tensão. Na alta é a mesma coisa, só que tu vai ter o custo fixo da demanda contratada. Na prática, o que está dito ali é que tu vai ter uma isenção da TE, grosso modo, se tu pega uma tarifa de energia que a tributação é 30%,

na composição total da fatura tu vai ter 30% de fio B, 30% de fio A e 30% de tributo, com arredondamentos. Grosso modo quando tu faz uma exclusão desses 30% da conta, já um dinheiro, mas não foi dado sobre o desconto integral. Foi dado só sobre a metade, que é a TE. Então há sempre um residual de 15% que tu paga. Agora se entrar um pedágio do fio, o governo, para voltar a atratividade do mercado deveria ampliar a isenção para compensar esse dinheiro que precisa ser pago para a concessionária. Então tu para de pagar para o erário em forma de tributo e passa a pagar para a concessionária que chorou porque queria o fio. É um jogo de quem pode mais. Acho justo remunerar o fio. Poderia ser acertado outro percentual, mas aí é outra história.

Q5. Os operadores de distribuição deveriam mudar sua estratégia de negócio para garantir sua sustentabilidade?

Primeiro, para dizer o que é justo é preciso entender o custo real. Até certo modo, o sistema elétrico é um encadeamento de compromisso de longo prazo. Qualquer mudança pode estourar em outro lugar. Nos últimos governos uma das maiores irresponsabilidades talvez tenha sido a criação da CDE, que onera a conta de energia de maneira... nem se sabe quem vai pagar isso. Uma das críticas a alguns dos PLs apresentados pela gd é que muitos insistiam que se existisse o subsídio do fio B iria ser pago pela CDE. E aí eu penso assim: se quer resolver o problema da GD, ele está criando um problema para o consumidor cativo que não tem gd. Se existe subsídio, existe um valor e uma rubrica que vai ser colocado no orçamento da CDE, é obvio que todo mundo vai usar esse argumento para dizer que a gd onera a conta de energia. Não consigo entender como tu usa um argumento desses para fazer passar PL. Então assim, hoje as concessionárias, obvio, vender energia no mercado cativo continua sendo um grande negócio, não dá para dizer que, mas ainda existe um risco muito grande no setor. Mas é de mãe para filho. Concessionárias estavam contratadas para a covid, e receberam subsídio para tapar o furo.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

De uma certa forma não. Se tu entende que a gd é a mera geração ou energia evitada, por uma lógica, de quem eu estou batendo a carteira é o gerador. EU preciso de menos geração. Então é sobre a parcela da geração que a gente vai atacar. Agora, quando eu faço compensação de energia apropriando outras rubricas além da geração, veja bem, qual é o conceito de eu estar gerando em um belo de dia de sol e mandar esse crédito para a concessionária? Eu estou mandando essa energia para a concessionária e ela tem que me dar esse crédito, compulsoriamente. Se ela vai vender essa energia não interessa, ela que ache alguém que compre essa energia. De uma certa forma isso vai ser dissipado no sistema. Mas existe muita imprevisibilidade disso. Não falo só de isso se casar com grande consumo nesse horário. Esse pessoal que mora nesse lugar ele consome a mesma coisa. Ele não vai ter pena da concessionária se estiver chovendo 6 dias e ele precisa ligar o ar-condicionado. Ou seja, se eu demando 0 ou demando 100, o sistema precisa estar preparado para entregar. Quando se fala que se terá a introdução maciça de gd no sistema, o ponto que se pode ter de problema é esse. A concessionária vai se ver obrigada a te devolver o mesmo kW, no horário que tu quiser, daqui 5 anos. Ela me recomrou a R\$ 0,80 tarifa cheia. Ele não vai revender para o vizinho. Ele vendeu para o vizinho, mas deve para mim. Ele só antecipou o prejuízo dele. Porque se ele vendeu para o vizinho no mesmo minuto que eu gerei, ele vendeu a R\$ 0,80 e no balanço dele está R\$ 0,80. Daqui 5 anos essa energia vai custar R\$ 1,10. Se daqui 5 anos o preço da energia disparar, a distribuidora ainda precisa garantir esse preço. O que eu estou querendo dizer é que esse problema da devolução do crédito é um ponto que é muito pouco abordado e traz um risco para o projeto e para a saúde financeira das concessionárias. De uma certa forma, usar a rede como uma bateria, para ti é um crédito, mas para a concessionária é um projeto financeiro que ela tem que planejar para o futuro. Só que esse valor que se está recebendo de crédito aumenta todo dia. Então, ou se entende corretamente a gd, para permitir a convivência pacífica, senão tu vai começar a fazer o quê? Bateria off-grid e micro-grid. As concessionárias vão começar fazer auto produção, que é a tendência. A maioria das cooperativas de eletrificação rural no Brasil compram energia no Mercado Livre e vendem no cativo. E tem um bom espaço para avanços tecnológicos em micro-grids de cooperativa no interior: bateria, apropriação de energia local... pegar o que tiver de CGH no estado e aumentar a acumulação, aumentar a base de geração, fazer um programa estadual de biogás, muito biodigestor e solar.

Q7. O regime de compensação de energia envolve a transferência de custos, visando corrigir distorções alocativas por meio de tarifas de eletricidade. Novos modelos tarifários podem ser uma estratégia para custear a operação das redes de distribuição?

A recompra de energia eu acho sempre muito complicado, porque desvirtua muito a questão do net metering. Porque se tu faz por net metering tu tem que ser remunerado de uma maneira melhor. Mas talvez seja preciso trazer um pouco de equalização na distribuição. A venda da energia também me parece problemático, por uma questão de tributação de receitas. Como é que esse dinheiro entra como pessoa física? Como é que se bota esse volume para dentro de uma distribuidora? Mas é só um detalhe técnico que até pode ter alguma particularidade de solução.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

A regulação sempre anda atrás da tecnologia. A velocidade da inovação tecnológica impõe um desafio muito grande. Isso gera um problema de comunicação entre os atores: tributação, concessionárias, consumidores, investidores, expectativas assimétricas dentro de um mesmo mercado em constante mudança, muito excitante do ponto de vista de remuneração capital, com modelos já bem estudados, bem definidos. É muito bacana tu ver o progresso todo. Então assim, o mercado livre, de uma certa forma por ter uma regra mais clara, ele encontra um modelo de negócio circunscrito de uma maneira mais precisa, que te permita um correto e real dimensionamento dos riscos. Então o mercado livre tende a crescer, porque ele vai dominar alguns mercados onde a gd não consegue entregar com tanta segurança. Por que há diferença de uma geração solar em um mercado ou no outro? No mercado livre eu até vou ter um retorno mais baixo porque eu vou trabalhar só com TE. Mas eu sei o que é TE e o que é fio, na gd não. Para quem compra equipamentos essa é uma discussão muito relevante. A mudança da 482 faz mais sentido para quem quer colocar dinheiro no mercado, não para o consumidor. O consumidor não vai perceber o aumento do payback dele. Ao invés do sistema se pagar em 6, vai se pagar em 8 anos. Então o investimento em equipamento solar, é aí que eu digo que é um grande ponto a ser explorado, porque a aquisição de um sistema solar é muito factível do ponto de vista do investimento porque se tu assume os riscos efetivos dessa mudança da 482 e faz uma instalação na tua carga ou uma instalação até remota, tu está assumindo que tu está colocando capital no teu imobilizado, que vai servir como uma melhora na despesas para quem está no lucro real. Pode fazer um investimento de ativo para depreciar... tem uma série de vantagens nisso. E como isso é ofertado no mercado? Os produtos não devem ser mais esses de energia envolvendo alocação porque tem a questão do risco. Se tu coloca o risco de geração para o teu cliente tu vai vender a geração de energia como um serviço. Tu disponibiliza o equipamento para o teu cliente na condição de leasing. Porque é um ativo operacional que tem sua rentabilidade relacionada ao custo de oportunidade da fatura de energia. Se tu consegue vender energia para ele com um sistema no telhado dele que é mais barato que o mercado livre, ele faz uma dívida de 20 anos e paga esse equipamento durante a vida útil dele. Para quem coloca o dinheiro é ótimo.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Consumidor de baixa tensão tem uma faculdade de aderir a tarifa branca. Essa adesão é muito baixa, então se ele nem percebeu em migrar para o sistema do ouro sazonal, é difícil fazer a comparação para a gd. Os clientes inclusive colocam a gd solar e aumentam o seu consumo.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Qualquer painel solar instalado é considerado um redutor de carga quando associado a uma carga consumidora. Isso em aplicações residenciais tem um bom resultado. Um dos problemas são inversores ruins, que atrapalham a rede. Também há projetos de usina mal executados, daí há problemas de instabilidade de rede. Também às vezes tem muito sol e se passam algumas nuvens gera um problema. Mas também tem outra coisa, essa oscilação muito grande de energia entre o que reduz de carga e eventualmente o consumo de pico, isso acentua talvez uma demanda maior de atendimento.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Primeiro, tu está importando lixo. O melhor é fazer aqui. Eu não vejo muita aplicação de bateria em carro, pelo menos não agora. Eu vejo mais aplicação em ônibus. Quando tu fala em armazenamento eu entendo de uma maneira mais ampla, a gente vai falar do armazenamento químico, de bateria de íons de lítio, mas eu também gostaria de ver considerado como armazenamento, por exemplo, a acumulação de água. Ampliação de reservatório, porque os regimes hidrológicos oscilam muito, hoje os reservatórios estão vazios, então quando mais aumentamos os momentos de chuva, melhor. Isso também é armazenamento. A própria lógica do aproveitamento do biogás no Brasil, com a questão do desenvolvimento dos biodigestores, permitem a agroindústria sustentável. Assim, tu pode aproveitar o gás gerado e acumular para injetar no horário de ponta. A aplicação solar no campo permite que seja ampliada, por exemplo, a produção de soja.

Entrevistado E

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Eu vejo como bastante positiva essa redução da emissão de gases, porém devemos estar conscientes também sobre a questão da vida útil dos equipamentos que estão sendo instalados. O descarte, no futuro,

pode vir a ser um problema. Possivelmente o benefício compensa, mas teria que se analisar com mais profundidade.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

Eu discordo dessa afirmação geral porque depende muito da modalidade de geração distribuída e do sistema. Vamos pegar um exemplo que tem crescido mais que é a microgeração e a minigeração, aquela geração que a gente instala nas casas, comércios, indústrias... A depender do fator de simultaneidade da carga e geração, diferentes impactos podem ser observados. Posso injetar mais durante o dia, mas de noite eu vou ligar meus equipamentos e querer consumir energia da rede. Ou seja, a rede vai ter que estar preparada para atender a demanda, a carga que eu estou exigindo do sistema. Então, no meu ponto de vista, muitas vezes o investimento necessário é o mesmo. Agora claro, se a gente pegar um perfil de carga mais comercial e pensando numa geração solar fotovoltaica, vai compensar, o fator de simultaneidade vai ser mais significativo. E aí sim o benefício de redução da exigência do sistema pode ser mais bem observado. A nível de transição, acho que a gente ainda está longe disso. Políticas de eficiência energética tem aparecido nos resultados dos estudos da EPE, bem como o aumento da presença de geração distribuída. Acredito que adiar investimentos é muito complicado quando se fala de gerações de fontes intermitentes, como é o caso das fontes solar e eólica.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

Da forma como está hoje, acredito que há impactos. Você deve ter acompanhado as últimas discussões referentes a isso, teve uma consulta pública da Aneel, uma proposta com vários gatilhos para se modificar isso. No meu ponto de vista é algo que precisa ser bem analisado. É claro que existe a necessidade de aumentar a presença desse tipo de geração na matriz elétrica. De fato, a resolução ANEEL 482/2012, alterada posteriormente pela 687/2015, modificou completamente a realidade desse tipo de instalação, da indústria que produz equipamentos para estes sistemas e do sistema elétrico. Isso foi extremamente positivo e o resultado apareceu com o aumento do número de conexões, mas como a realidade do sistema vem mudando, essa legislação precisa ser aprimorada também. Esta consulta pública veio nesse sentido, entendo que a proposta de aperfeiçoamentos nos regramentos de GD vem no sentido de equilibrar a regulamentação para que consumidores que dependem exclusivamente da rede não sejam afetados por quem gera sua própria energia.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Eu acho que dão conta da forma como está hoje, mas é natural que aprimoramentos sejam propostos conforme a realidade do sistema se modifica com o aumento da presença da geração distribuída. Os procedimentos técnicos e padrões precisam ser atualizados para considerar essa nova topologia da rede. A publicação da resolução 482 representou um desafio para as distribuidoras, agora puxando um pouquinho mais para o lado do que eu a conheci, porque eu trabalhei 8 anos em uma distribuidora e passei por essa fase da implementação de processos e normativas para receber os pedidos de conexão de micro e minigeração. Foi um período desafiador, porque não se tinha muito conhecimento sobre os impactos destas fontes. Foi necessário criar esse suporte técnico, adaptar processos, sistemas técnicos para absorver essa nova realidade de operar a rede da forma mais eficiente possível e segura. Normativas foram sendo aprimoradas, se discutiu com todas as distribuidoras, com a Abradee, e com a própria Aneel. Acho que é um processo natural, dizer que da forma como está não tem nada para melhorar é muito difícil, eu acho que sempre tem.

Q5. Os operadores de distribuição deveriam mudar sua estratégia de negócio para garantir sua sustentabilidade?

Então, não é bem a distribuidora mudar o modelo de negócio, porque o negócio de distribuição é muito fechado, ele é remunerado de uma forma bem clara, as revisões tarifárias ocorrem também de uma forma bastante clara pelo que a Aneel determina. Acredito que o caminho é mais no sentido de buscar modernizar a rede para tirar o maior benefício possível dessas novas fontes e garantir a qualidade da energia, tanto do ponto de vista da qualidade do serviço, que aborda a questão das interrupções, quanto da qualidade do produto. Então o papel da distribuidora, da área técnica principalmente, é atuar nesse sentido de buscar novas tecnologias para que se maximize os benefícios. Hoje se fala muito sobre *smart grid*, uma carga de automação maior na rede e monitoramento, e esse parece ser o caminho. O aumento do número de conexões de micro e minigeração pode acarretar problemas de nível de tensão, e isso tem sido discutido amplamente no setor elétrico. É necessário avaliar com cautela e propor ações de melhoria que permitam aumentar a capacidade de hospedagem das redes.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Eu acredito que a geração distribuída influencia sim o comportamento dos consumidores. Quando se passa a ter uma fonte ou uma compensação que gera créditos por essa microgeração, pode ser que alguns deixem de ter um cuidado com relação ao consumo. Agora, considerando tarifas diferenciadas por

horário, uma mudança mais significativa pode ser esperada. Aparentemente no Brasil não estamos preparados para isso, mas quem aderir certamente vai modificar seus hábitos e vai tentar tirar um maior benefício, desde que se tenha ferramentas para indicar qual é o melhor horário e qual equipamento a ligar. Devem surgir em ferramentas, aplicativos para auxiliar nesse sentido.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Isso é um grande depende. Depende do sistema, da potência instalada, da geração e da forma como a rede é operada. Eu vou retomar um pouquinho o que se falava lá no passado. Se dizia que a GD traria muitos benefícios, reduziria as perdas, postergaria investimentos e tudo mais. Quando comecei a analisar as consultas de acesso de GDs na época em que trabalhei com isso, pude perceber que em alguns casos poderia se ter problemas de nível de tensão, aumento das perdas, dependendo da geração e do perfil de carga, necessidade de investimento na rede para viabilizar a conexão. Logo, dependendo do sistema, da carga e da geração, impactos negativos devem ser mitigados. Há alguns anos não se falava sobre microrredes e a possibilidade dessas gerações atenderem parte da carga de uma forma isolada. Hoje já se discute mais isso. Um exemplo é a Copel, que lançou recentemente uma chamada para contratação de energia proveniente de acessantes de geração distribuída, que formariam microrredes. O objetivo é configurar sistemas independentes que se configuram como uma ilha de energia, sendo que a geração, consumo e armazenamento podem estar conectados à rede. Um dos requisitos é garantir o suprimento e o controle sobre a potência por pelo menos 5 horas. Acredito que este é um caminho interessante e pode melhorar a confiabilidade da rede. Temos (academia) um papel importante nesse sentido, uma vez que são necessárias novas metodologias, técnicas de controle, monitoramento e otimização das redes elétricas. É possível maximizar os benefícios de se ter recursos energéticos distribuídos na rede, mitigando possíveis problemas técnicos de qualidade de energia.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Uma vez reduzido o custo, pensando em um sistema de geração um pouquinho maior, é muito positivo. Inclusive têm surgido sistemas híbridos solar, eólica e mais um conjunto de baterias de maior porte. Se não me engano foi nos Estados Unidos que eu vi recentemente um projeto sendo anunciado. Isso tem um benefício sistêmico grande porque essas fontes são intermitentes, há questões de segurança e de estabilidade do sistema para serem analisadas. Então é positivo sim se os custos forem mais razoáveis. Trazendo para a baixa tensão e média tensão, o consumidor pode tentar reduzir seus custos com energia elétrica, pensando em uma estratégia de horário de carga da bateria, quando utilizar a energia da bateria, quando injetar na rede e gerar créditos, buscando reduzir custos.

Entrevistado F

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Primeiro, eu não vejo nenhum impacto negativo, só impactos positivos. O primeiro impacto positivo é que a geração distribuída é de uma fonte renovável, ela não utiliza combustíveis fósseis. Na medida em que se utiliza mais consumo proveniente da geração distribuída que é através de fontes renováveis se reduz o consumo proveniente de fontes poluentes que utilizam combustíveis fósseis. Esse é o primeiro ponto: quanto mais tiver geração distribuída numa região do país, menos consumo se terá decorrente de fontes poluentes. Outro ponto bastante importante e que talvez não seja tão perceptível: como a geração distribuída é distribuída ao longo do sistema interligado e normalmente está mais próxima dos centros de consumo, ela reduz a necessidade de projetos de geração centralizada longe do centro de consumo, do centro de carga. Isso reduz a implantação desses projetos, mesmo que alguns projetos não sejam poluentes, tem algum impacto na natureza, seja desmatamento ou desbaste da região onde vai ser instalado, a infraestrutura de acesso e logística. Então na medida que se evita a necessidade de construção desses projetos, se reduz esse impacto, mesmo que seja pequeno. Outro ponto é que na medida que reduz o projeto, também reduz a necessidade de construção de linhas de transmissão, que também têm o mesmo impacto no meio ambiente, por exemplo ter que desmatar uma faixa de floresta, de vegetação, para poder passar a linha. Então essas 2 questões, a redução da necessidade de implantação de novos projetos de geração e de novas linhas de transmissão, é uma consequência do aumento da geração distribuída. A geração distribuída normalmente é junto à carga, então é uma instalação sobre uma cobertura ou mesmo se é um projeto de solo, é numa área de campo, próximo a instalação. Então realmente quando se faz esse tipo de instalação se reduz a necessidade de outros projetos de geração centralizada, esses sim têm mais impacto. Então essa é uma segunda vantagem ambiental, não só a questão dos gases poluentes.

Sobre essa questão econômica, vê algum benefício da geração distribuída, além da questão de adiar o investimento nas redes?

Sem dúvida nenhuma para o usuário é uma opção de investimento interessante. O custo do quilowatt-hora fornecido para o consumidor é mais baixo na geração distribuída do que qualquer alternativa. Então sempre quando tiver um projeto de geração distribuída, mesmo que ele faça o investimento e traga para o valor presente esse investimento, mais custo de manutenção, isso vai resultar em um custo de quilowatt-hora mais baixo do que o custo que esse consumidor paga para a concessionária ou no mercado livre. Então há um ganho econômico direto para o usuário. E ele traz vantagens para a rede de distribuição, para o sistema interligado nacional. Como a geração é feita junto à carga, se reduz a necessidade de investimento em linhas de transmissão e distribuição. O segundo ponto também é que o pico de geração da geração distribuída proveniente de fonte solar converge com o pico da carga do sistema. Hoje o operador sistema consegue medir quando é o pico da carga de consumo. A população tem uma impressão de que o pico é entre 6 e 9 da tarde, quando o pessoal liga a luz de casa, enfim. E até por isso que o horário de ponta das distribuidoras normalmente é das 6 às 9, como se de fato essa fosse a ponta do sistema, mas na realidade, a ponta do sistema, que vem sendo medida principalmente nos meses de verão, devido ao ar-condicionado é nesse horário do dia que é mais quente, próximo do meio-dia. A ponta acaba sendo nesse horário: entre meio-dia e 2, 3 da tarde. E o pico de geração da geração distribuída é nesse mesmo horário. Então quando o sistema está consumindo mais, que estaria precisando mais da linha de transmissão, está mais ocupado, é o horário que a geração distribuída está entrando na geração e despachando essa energia, realmente contribuindo para tirar a sobrecarga no sistema. Então não precisa despachar as usinas térmicas, que têm um custo caro. Então não é só a questão das linhas de transmissão é evitar o consumo é de fontes mais caras, que são as térmicas, despachadas nesse pico do sistema.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Na verdade, eu não tenho essa percepção, pelo contrário. Acho que hoje em dia o consumidor tem mais consciência da relação dele com a energia. E tendo mais consciência ele começa a entender onde ele pode otimizar o seu consumo. Na verdade, hoje ele é um consumidor passivo, que aperta um botão e consome sem se dar conta que está consumindo. Na medida que ele começa a entender do que se trata, como é que está vindo, quanto ele está pagando, aí ele começa a interagir com aquela relação de consumo e aí começa a ser um consumidor mais consciente. E quando ele é um consumidor mais consciente isso transforma essa relação de consumo e ele pode pelo contrário, até ser mais econômico nos momentos que deveria ser. Acho que isso gera uma consciência no consumidor e pode melhorar o perfil de consumo dele.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

Na verdade, esse é o grande objeto da discussão. O consumidor hoje usa o sistema e teoricamente quando ele usa o sistema ele não paga a taxa que está dentro da tarifa, pelo uso do sistema, então ele deveria pagar. Só que ao mesmo tempo que o essa mudança de legislação não considera são os benefícios que ele vem trazendo. Então na verdade o mais certo seria cobrar exatamente a parcela que efetivamente ele usa do sistema, mas remunerar também pelos benefícios que ele está trazendo para o sistema. Se a gente for considerar a parcela que ele está utilizando e o benefício que ele está trazendo para o sistema, possivelmente possa ser uma conta que chegue a zero. Então não faria sentido cobrar ele, porque ele está trazendo vantagem no mesmo patamar econômico que o seu uso do sistema. Então na minha percepção e pelo que eu tenho visto, se tivesse mais geração distribuída isso não traria nem vantagem, nem desvantagem para os outros consumidores. O consumidor que tem a gd, usa o sistema, mas em compensação ele também traz vantagens econômicas. Então ele acaba tendo impacto praticamente nulo entre vantagens e desvantagens. Aí talvez vá depender do caso, tem alguns sistemas, dependendo da região, que fato são muito importantes para a manutenção e qualidade do fornecimento de energia, outros por estar em uma região específica, realmente demandariam um investimento maior na rede, talvez não agregasse tanto. Então depois esse cálculo é muito caso a caso, mas de uma forma geral é o meu entendimento que acaba empatando, trazendo vantagens e desvantagens no mesmo nível e não influenciando na tarifa dos consumidores que não tem gd.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Na verdade, tem uma série de discussões, mas nada aconteceu ainda, é só um processo de revisão juntar à agência reguladora. Em paralelo a isso o processo junto à agência reguladora iniciou com uma metodologia, na metade do processo ela simplesmente abandonou aquela metodologia e começou uma nova metodologia completamente diferente. Então ficou bem confuso, mas praticamente estacionou. Em paralelo começou um processo de revisão regulatória através de projeto de lei no Congresso. E tem mais de um projeto tramitando, então na verdade nada aconteceu e tem várias coisas paralela, diversas iniciativas. Acho que nenhuma é perfeita, principalmente o processo de regulação da Aneel, que

começou com uma metodologia e depois mudou para outra metodologia equivocada, não considerando essas vantagens que a gd poderia trazer para o setor. Então nenhum é perfeito, mas eu acho que os processos que estão andando via projeto de lei tendem a ser um pouco mais adequados, mas nenhum está 100% aderente às possibilidades, inovações e vantagens que esse sistema poderia trazer à sociedade de uma forma geral. Falta um pouco dos envolvidos nesse processo entenderem um pouco mais o setor e ouvirem as partes envolvidas, adequar bem esse processo de revisão.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Eu acho que a gd na verdade melhora a confiabilidade do sistema, porque ela pulveriza uma parte da geração, distribuiu ela. É a mesma lógica com investimento. Ele é mais seguro se é pulverizado, se tem vários ativos diferentes. A geração é a mesma coisa, no momento que se tem uma série de projetos distribuídos, o risco está diluído nesses projetos e acaba sendo mais fácil ter previsibilidade com acurácia e precisão. Então isso aumenta a confiabilidade do sistema.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Com relação às baterias, eu acho que tecnicamente elas são muito vantajosas, por vários motivos, inclusive pela questão da confiabilidade, mas também por conseguir ajustar o fornecimento do teu sistema para o teu consumo. E quanto mais se usa baterias menos se vai ter que usar rede, se fica mais independente. Então forma técnica é interessante. Eu não vejo passivo ambiental, porque a bateria se consegue reciclar quase a totalidade dos insumos. A única questão é que economicamente, na maioria dos casos, ela ainda é inviável em função do alto custo, embora seja uma tendência em termos de tecnologia e em termos técnicos. Embora a tendência seja que o custo vá reduzindo, assim como aconteceu com os componentes da energia solar. A tendência é que o custo dos componentes envolvidos no armazenamento reduza no futuro, nos próximos anos. Isso vai se tornar viável em uma quantidade maior de projetos.

Acha que a rede, a infraestrutura que temos hoje, está pronta para receber esses novos projetos de gd? Isso varia muito de caso a caso, conforme a distribuidora. Há algumas redes em situações um pouco mais limitadas, mas a gd ainda representa uma parcela muito pequena das unidades consumidoras e mesmo assim a gente tem algumas restrições por parte das distribuidoras em termos de parecer de acesso favorável para esse projeto de geração distribuída. Então falta um pouco de modernização e investimento geral em termos de rede de distribuição. Mas enfim, muitos projetos têm conseguido se conectar, e o problema não é nem os projetos, o problema é o atendimento aos consumidores. Automaticamente quando as redes tiverem mais robustas para atender o perfil de consumo dos consumidores, automaticamente a rede vai estar apta para receber a instalação de projetos distribuídos.

Q20. Quais os riscos de mercado ou desafios associados às características de intermitência das fontes utilizadas na geração distribuída (por exemplo, solar e eólica)?

É um ponto a se observar, mas como a gente tem um pico de geração que normalmente se apresenta nas horas do dia em que há maior consumo da rede, maior consumo da carga e mais geração no verão, onde também é o pico do consumo em função de aparelhos de ar-condicionado, refrigeradores, enfim, restaurantes, mercados, padarias que usam também equipamentos de refrigeração. É um momento de pico do sistema, nos meses mais quentes e nos horários próximos do meio-dia. E na verdade, numa questão climática, é o horário que a geração apresenta maior efetividade. Então tem esse desafio, esse ponto a se observar que é a intermitência, mas aí a fonte solar tem uma performance muito positiva por ela estar bem aderente a esse pico da carga, do consumo da rede. Então isso é uma vantagem da fonte solar.

Entrevistado G

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

A geração tem um grande benefício ambiental, porque evita o uso de geração de fonte fóssil. Essa virtude inclusive ainda precisa ser valorada, porque junto a questão ambiental, tem consequências por exemplo de saúde pública. Hoje tem um debate muito extenso em relação aos benefícios do uso da geração distribuída, mas não está ainda devidamente contabilizada a valoração desses benefícios ambientais e de saúde pública.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

Esse é um dos principais benefícios, a postergação de investimentos. Ainda mais em um país como o Brasil, que a rede nacional na sua parte é rede aérea. E essa rede aérea tem o aspecto também do impacto

visual e do impacto de riscos, porque é uma rede que na sua maior parte é uma rede nua, ou seja, ela não é isolada e aí há um risco também aos próprios usuários. No momento que a geração distribuída é implementada, ela minimiza essa necessidade. Há também outros benefícios que a gente percebe. Um deles é o valor locacional da geração distribuída. Muitas vezes uma distribuidora de energia tem uma rede de, vamos supor, 20, 30 km, para levar na energia a determinado povoado, e o consumo está localizado a 30 km. Você tem uma carga concentrada. Para transmitir essa energia tem as perdas elétricas, que são naturais, é o efeito joule. Aí você acaba tendo essa consequência se você não tem uma geração local. No momento em que puder ser mais valorado o fator locacional da geração distribuída, poderão ser incentivados investimentos em geração nesses locais, fazendo com que haja inclusive uma melhoria da qualidade. Por exemplo, o programa “Luz para todos” teve um grande impacto social e econômico no país, mas construiu muitas vezes com redes monofásicas. E aí aquele pequeno produtor passou a receber energia, ele ficou muitas vezes impossibilitado de poder ampliar seu uso porque a rede é monofásica, não tem uma grande capacidade. Então tem também esse aspecto social e econômico da geração distribuída, se ela pudesse ser incentivada cada vez mais poderia propiciar ganhos econômicos no seu uso. Então, resumidamente temos o ganho ambiental, o da postergação de investimentos, o chamado fator locacional e a redução de perdas que está dentro desse fator locacional. Até um determinado nível de penetração é voz corrente que há uma redução de perdas, mesmo nos centros urbanos. Isso porque, suponha que o gerador de energia gera energia à tarde. Essa energia vai para o seu vizinho e ele vai consumir à noite. Então, uma parte da energia do vizinho que seria buscada a vários quilômetros de distância foi suprida por uma geração que está a 200 metros dele ou menos. Também um aspecto importantíssimo que não se pode esquecer é a capacidade de geração de emprego e renda. Algumas estimativas falam que nós temos em torno de 100.000 trabalhadores nesse setor no Brasil e já gerou investimentos da ordem de 15 bilhões de reais ou mais. Esse é um dos poucos setores que teve crescimento mesmo durante a crise econômica mais aguda. E a maioria são pequenas empresas, que são grandes geradoras de empregos. Então tem também esse aspecto muito importante que é o aspecto social. E para o consumidor, é uma possibilidade que reduzir seu custo de energia. É uma oportunidade que tem um tempo de retorno do investimento atraente e fontes de financiamento adequadas. Então tudo isso junto tem propiciado esse crescimento da geração distribuída.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede?

Essa é uma ótima pergunta e inclusive a gente vê que tem um grande debate nacional nesse tema, transparência de custo entre consumidores. O que a gente tem defendido é que seja feito um estudo estratégico coordenado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) ou pela Aneel, ou por ambas com a participação das entidades de classe e interessadas, mas coordenada por um ente como Aneel e/ou EPE. E com a participação também de consultorias de porte e da academia, ou seja, da universidade. Para que todos juntos, não um grupo enorme, mas um grupo seletivo, para se chegar a um cálculo sobre qual o valor justo a ser cobrado. Porque a voz corrente a nível mundial é que até um determinado nível de penetração, a geração distribuída é superavitária. Vamos pensar como exemplo um consumidor que gerou energia à tarde. Vamos pegar esse caso, de um consumidor que consuma energia de uma usina a 100 km de distância. A energia que ele consome à tarde vem desses 100 km. Se ele gera energia à tarde, ele consome simultaneamente e uma parte vai para rede, podendo inclusive melhorar a qualidade da energia naquele local. E o vizinho dele consome essa energia. Então tem uma redução grande de perda de energia. À noite, quando ele for consumir, a energia dele vai passar a vir da usina, mas acontece que o custo da vinda da usina até o vizinho, já foi pago pelo vizinho. Então até um determinado nível de penetração, a nível mundial se fala que pelo menos até 5%, não tem essa transferência de custo, porque o custo não é relevante. Então você tem uma transferência de custo sim, mas ela não é relevante. Enquanto não se chega aos 5%, o que nós temos defendido é esse estudo estratégico, para não se usar achismos ou dados enviesados. Por exemplo, evitar que sejam soluções por facilidade. Por exemplo, a proposta da Aneel com as alternativas 1 a 5. O que acontece, eles não vão pegar a alternativa 1 ou 2, porque o custo da 1 é o custo da 2, ou da 3, ou da 4, ou da 5. Mas aquilo são modelos tarifários, são os componentes tarifários do consumidor de energia. O prosumidor usa energia de forma diferente do consumidor. Por isso que é a gente defende cálculos com estudos de fluxo de carga. Ou seja, que seja por área de concessão. Porque o consumidor no interior do Ceará tem um uso de energia, mesmo o consumidor ou prosumidor, diferente do consumidor do estado de Minas, ou no estado de São Paulo. Minas é um bom exemplo porque ela já está em um nível elevado de penetração. Então lá tem um tratamento diferente que os cálculos iriam mostrar. Então o que eu defendo é que sejam feitos cálculos e os cálculos mostrem qual é o valor justo a ser cobrado, a partir de quando será cobrado e como será cobrado. Estamos defendendo uma proposta gradual, que seja implementada 10% a cada ano até se atingir a tarifa de uso da rede que é 28% do custo da tarifa normal média. Sendo feito algo gradual é menos impactante. Tem um outro detalhe muito relevante, a tarifa de energia elétrica já é por origem um cálculo de efeito médio. Se você estiver em um prédio de apartamentos, tem um custo do serviço diferente de quem está numa zona rural, diferente de quem está num condomínio de casas, diferente de quem está numa casa isolada. Então o modelo tarifário vigente calcula o preço por mês.

Então a transferência de custo entre consumidores já é um evento normal do processo de cálculo das tarifas de energia elétrica. Mas concluindo, a nossa proposta é que seja feito um cálculo, nós temos grandes consultorias que tem condições de desenvolver um software aplicativo, com plataforma por área de concessão, para que seja calculado o valor justo. O nosso entendimento é que até um determinado nível de penetração, a geração distribuída é superavitária quando se calcula todos os atributos que ela supre para a sociedade.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Aparentemente, sim. Nós estamos agora na consulta pública do PDE 2030 (Plano Decenal de Expansão de Energia). O PDE determina o planejamento do setor elétrico para os próximos 10 anos. Para se calcular por exemplo a projeção da geração distribuída, se fez dois cenários, verão e primavera. No PDE quando vai se calcular a projeção da geração distribuída para os próximos 10 anos, a EPE colocou o seguinte: mesmo se colocar a alternativa 5 e tarifa binômica para o consumidor de baixa tensão, você conseguiria ter, em 2030, 16 GW de geração distribuída. E nós discordamos, porque na nota técnica que balizou essa projeção há uma recomendação para que seja feito um estudo perante o consumidor brasileiro, porque foram usados dados de consumidores americanos, para entender qual o nível do consumidor brasileiro de propensão a instalar a geração distribuída com o aumento do payback, tempo de retorno. Então a própria EPE colocou que seria importante se ter uma pesquisa para o consumidor brasileiro. Então se o consumidor brasileiro tem uma boa propensão a agir conforme uma tarifa, se você incentiva ou desincentiva. Alguns países implantaram a tarifa TOU, Tarifa pelo uso na geração distribuída. Ou seja, você valora com uma tarifa pelo horário do dia, você valora mais o atributo da geração distribuída, da solar, 15:00h seria um horário que tem mais geração solar e você teria um maior valor pela geração. Então foi implementada a tarifa branca recentemente onde você tem um custo maior pela energia no horário intermediário, ponta e fora de ponta. Intermediário e ponta maior e fora de ponta menor. Então evidentemente o consumidor respondeu, ele responde bem a sinalização de preço. Mas ele precisa estar informado. Nós temos uma grande dificuldade em informar ao consumidor quais são as alternativas que ele tem. Um dos princípios da tarifa de energia é que ela seja simples. Às vezes eu fico olhando aqui algumas tarifas de alguns estados americanos ou de alguns países que são um verdadeiro tratado. Nesse princípio de que a tarifa deve ser simples, o net metering que é esse modelo que a gente usa, ele tem um grande valor, porque é fácil de entender. Aí tem sido propostas algumas mudanças tarifárias que tem um risco de complicar e o consumidor não entender. Mas resumidamente, eu acho que sim, que o consumidor responde bem a mudança de preço, mas precisa de 2 coisas, informação e essa pesquisa para saber, e isso não tem sido muito feito no Brasil.

Q17. Quais os desafios de infraestrutura envolvidos na gestão do sistema de energia com a implantação da geração distribuída?

A infraestrutura está preparada? Infelizmente não. Quando a gente fica importando modelos, tem o risco de não ter um modelo adequado. Porque se você instala a geração distribuída no alimentador um país que já tem uma rede bem robusta, às vezes até subterrânea, o impacto que essa geração distribuída vai provocar é menor. Por isso que o nosso caso é o nosso caso. Os impactos também são diferenciados por área de concessão. Muitas vezes a nossa rede de distribuição é beneficiada pela entrada da geração distribuída. Só que se for uma geração distribuída de maior potência, a rede não está... Em resumo, uma geração distribuída de pequeno porte vai ajudar hoje. Uma geração distribuída de maior porte, acima de 1 MW, precisa ser estudada e na maioria das vezes precisa de reforço para poder ser conectada.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

As baterias vão ter cada vez mais um papel fundamental na inserção dos recursos energéticos distribuídos. Inclusive existe a possibilidade de que o veículo elétrico, ao ser conectado, possa ser um supridor de energia para o imóvel ou residência num determinado momento. Em outro ele seria um consumidor de energia. Então a bateria, graças ao custo que tem caído enormemente nos últimos 10 anos, tem se inserido cada vez mais no mercado. Mas no mercado brasileiro nós temos um problema estrutural que é o fato de que os impostos são muito elevados para importação de bateria. Mas poderia ser incentivada a instalação de fábricas no Brasil para poder aproveitar. Porque como nós temos muitos recursos renováveis, eólica, solar, potencial gigantesco há uma necessidade de melhor uso desses recursos, com isso, utilizar mais baterias. Então as baterias no mercado brasileiro ainda não avançaram muito, porque precisa de incentivos para poder ter fábricas aqui, poder reduzir os custos da bateria. Com isso ela contribui mais para o avanço da geração distribuída, tanto conectada à rede (on-grid), quanto off-grid. Eu trabalhei 2 anos no Acre, na região norte do país. Lá você não consegue chegar com a rede de distribuição em muitos locais. A bateria já evoluiu muito, o custo reduziu bastante, mas no mercado brasileiro ainda não se tornou uma realidade como deveria e como poderia.

Entrevistado H

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Existem impactos ambientais indiretos causados pela extração de insumos para as usinas termoeletricas que afetam diretamente o meio ambiente, como o desmatamento e a extração de carvão. O grande impacto negativo que ainda não temos a proporção do impacto é sobre o descarte dos módulos fotovoltaicos devido a longa vida útil do material.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

Quanto maior a distância de transmissão, maior a perda de potencial e consequentemente a perda de energia, com a geração distribuída e energia circula menos. Outro ponto que vale a pena salientar é que podemos direcionar esses investimentos em transmissão em outros serviços para melhorar a qualidade de vida da sociedade.

Q3. Com a implantação da geração distribuída há uma mudança na remuneração do operador da rede de distribuição. Como essa mudança afeta o mercado de energia?

Não vejo um impacto tão significativo, pois a energia recebida pelo operador da rede do cliente que gera a energia é direcionada para outro consumidor e o custo dessa energia é ZERO para o operador, além de mitigar os custos de perda de energia por transmissão, o que reduz a necessidade de investimentos na rede de distribuição. A projeção de crescimento do Brasil não consegue ser acompanhada pelos investimentos necessários para atender a demanda. Logo, a geração distribuída é parte fundamental para o desenvolvimento do país.

Q4. Quais mudanças deveriam ocorrer no âmbito tributário para comportar a entrada da geração distribuída no sistema de energia?

Na minha opinião, até não termos o desenvolvimento necessário e a expansão da energia distribuída no país, somente parte da tarifa de distribuição da energia.

Q5. Os operadores de distribuição deveriam mudar sua estratégia de negócio para garantir sua sustentabilidade?

Não vejo um impacto tão significativo para isso.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

Nesse momento não vejo impactos significativos, uma vez que a geração distribuída é muito incipiente.

Q7. O regime de compensação de energia envolve a transferência de custos, visando corrigir distorções alocativas por meio de tarifas de eletricidade. Novos modelos tarifários podem ser uma estratégia para custear a operação das redes de distribuição?

Hoje em dia já o operador já é remunerado com uma parte da TUSD. Sempre que existe uma alteração no modelo, no caso, o desenvolvimento da energia distribuída gera a necessidade de uma revisão, mas saliente, quando houver um valor significativo de kW.h na geração distribuída.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Com certeza, o consumidor acaba relaxando mais e se dando mais conforto uma vez que inconscientemente ele imagina que mesmo consumindo mais o valor da fatura de energia não trará surpresas no final do mês.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Concordo, uma fiscalização mais profissional e correta por parte das prestadoras de serviço e das operadoras.

Q11. A geração distribuída pode auxiliar na mitigação do risco de apagão. Identifica outros benefícios envolvendo a estabilidade no fornecimento?

Uma energia com mais qualidade devido a redução do caminho de distribuição.

Q14. As unidades de geração distribuída podem ser de alguma vantagem em uma situação de falha? Por exemplo, operando de modo autônomo durante algum problema na rede de distribuição?

Sim, se o consumidor tiver um sistema de armazenamento para utilizar em caso de falha.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Na minha visão é basicamente para ter uma segurança maior nas oscilações e falhas da rede elétrica.

Q17. Quais os desafios de infraestrutura envolvidos na gestão do sistema de energia com a implantação da geração distribuída? Por exemplo, fluxo bidirecional de energia

Ter uma rede mais confiável além de inspeções e fiscalizações nas instalações, tanto de rede quanto de fornecimento.

Q18. De que formas a geração distribuída pode auxiliar na demanda por energia nos horários de ponta?

Na minha visão teremos um ganho mais significativo no HP quando a utilização dos sistemas de armazenamento estiver mais disseminada.

Entrevistado I

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

O que se tem verificado é que a grande maioria das conexões são de UFV (Usinas fotovoltaicas) sendo que essas acabam gerando somente durante o dia, dessa forma o sistema permanece necessitando de investimentos para atender a carga de ponta noturna. Por muitas vezes também se verifica que as grandes MGDs (acima de 500 kW) localizam-se distantes dos centros de carga, o que reflete na necessidade de investimentos (muitas vezes não previstos) para atender essas novas “UCs”, o que de certa forma acaba onerando os demais consumidores que não possuem MGD.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

De uma maneira geral, o consumidor residencial permanece com seu consumo mais elevado no horário de ponta, horário em que a geração distribuída é quase zero.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

De certa forma, hoje verificamos que o impacto da geração distribuída na qualidade do produto, depende muito do local em que ela está conectada, pois em locais onde a potência de curto-circuito da rede é mais baixa, essa rede fica muito susceptível as variações de tensão ocasionadas pela MGD, podendo gerar sobretensões para a UC ou até mesmo para o circuito ao qual essa geração está conectada. Do modo como está posto hoje na regulação, a distribuidora não tem muita “gerencia” sobre a geração, acredito que os passos futuros (a longo prazo) venha a ser para a centralização do despacho destas gerações como realizado em alguns países da Europa.

Q11. A geração distribuída pode auxiliar na mitigação do risco de apagão. Identifica outros benefícios envolvendo a estabilidade no fornecimento?

Por se tratarem na imensa maioria de UFVs conectadas por meio de inversores, esses não contribuem para a manutenção da frequência na rede quando da ocorrência de eventos de proteção em grandes sistemas, sendo esse ajuste realizado por máquinas girantes (síncronas) como Térmicas e Hidrelétricas.

Q12. A geração distribuída é capaz de reduzir as perdas de energia. Há algum cenário em que essas perdas podem aumentar, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas?

É uma questão difícil de se avaliar, pois para a MGD que gera somente para seu próprio consumo a tendência é a redução das perdas, no entanto quando se trata de MGD da categoria de autoconsumo remoto, estas podem aumentar as perdas uma vez que por se tratar de GDs de maior porte, estão localizadas em áreas rurais onde o consumo é baixo e com a presença dela teremos uma corrente elétrica maior circulando neste circuito (sentido inverso) o que aumenta as perdas elétricas.

Q13. A geração distribuída é capaz de melhorar a estabilidade e o perfil de tensão da rede. Há algum cenário em que essa estabilidade poderia diminuir, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas?

Como a maioria das MGDs conectadas tratam de UFV conectadas por inversores, que por sua vez não tem capacidade de manter um controle de tensão no ponto de conexão, podendo gerar uma sobretensão quando da presença de várias UCs com geração em determinado circuito, ou conexão em um sistema fraco (baixa potência de curto-circuito)

Q14. As unidades de geração distribuída podem ser de alguma vantagem em uma situação de falha? Por exemplo, operando de modo autônomo durante algum problema na rede de distribuição?

No caso de falha na rede de distribuição essas MGDs devem se desconectar da rede da concessionária, para evitar a operação ilhada de certo trecho da rede da concessionária, colocando em risco equipes que possam estar atuando na rede ou até mesmo outras pessoas.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Até o momento não tenho conhecimento de alguma conexão que utilize esses dispositivos.

Q17. Quais os desafios de infraestrutura envolvidos na gestão do sistema de energia com a implantação da geração distribuída? Por exemplo, fluxo bidirecional de energia

Mudança da filosofia de proteção da rede (devido ao fluxo bidirecional) e controle de tensão uma vez que não hoje se dispõe de premissas e base regulatória, para solicitar a alteração o fator de potência da MGD que poderia mitigar os problemas de tensão.

Q18. De que formas a geração distribuída pode auxiliar na demanda por energia nos horários de ponta?

Com a conexão de sistemas de biomassa, e térmicos, uma vez que a solar inexistente no período de carga máxima e a eólica fica muito susceptível a presença de vento.

Q20. Quais os riscos de mercado ou desafios associados às características de intermitência das fontes utilizadas na geração distribuída (por exemplo, solar e eólica)?

Vejo como principal risco a necessidade de investimentos não previstos pela distribuidora para determinada rede para escoar a GD e a manutenção da necessidade de investimentos para atender a demanda de ponta noturna (em muitos subsistemas muito superiores a ponta diurna) a qual não é atenuada por fontes solares.

Entrevistado J

Q3. Com a implantação da geração distribuída há uma mudança na remuneração do operador da rede de distribuição. Como essa mudança afeta o mercado de energia?

Sem a possibilidade de aplicação de tarifa binômica aos consumidores de Baixa Tensão, o operador acaba por ter o uso da rede sub-remunerado. O custo de disponibilidade, pago pelo consumidor na tarifa convencional, não tem por objetivo cobrir o custo real de utilização da rede de distribuição. Sua instituição visa a disponibilidade de acesso, mas sendo uma tarifa volumétrica, não remunera a Distribuidora pelos investimentos necessários ao dimensionamento adequado da rede. Os créditos de GD, pela regra atual, não se limitam a abater a Tarifa de Energia, mais especificamente, os custos de Geração. Ao contrário, é creditada ao consumidor a integralidade da tarifa de aplicação. O mercado de energia é afetado pela redução do mercado faturado. Em decorrência, pelo procedimento de cálculo tarifário, essa retração de mercado provoca aumento das tarifas nos processos de reajuste.

Q4. Quais mudanças deveriam ocorrer no âmbito tributário para comportar a entrada da geração distribuída no sistema de energia?

Subsídios cruzados oneram os consumidores que não possuem acesso à GD e as próprias distribuidoras, pela redução da receita pelo uso da rede de distribuição. Entretanto, há inegáveis vantagens ambientais, dentre outras, associados à expansão da geração descentralizada e limpa. Assim, uma forma de garantir incentivos ao crescimento desse mercado no país são os benefícios fiscais. Hoje, alguns Estados oferecem alíquota 0 de ICMS para GD limitadas a 1MW.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

Sim. A metodologia do cálculo tarifário implica que a redução de mercado provocada pelos créditos de GD e consumo instantâneo sejam repartidos entre os consumidores. Por exemplo, o custo de distribuição se mantém concomitantemente a redução do mercado. Ou seja, aqueles consumidores que não possuem GD e seus créditos gerados irão arcar com os custos da rede de distribuição. Isso é o que se chama de subsídio cruzado, pois ocorre uma transferência de custos entre proprietários de geração e aqueles que não participam do Sistema de Compensação (SCEE).

Q7. O regime de compensação de energia envolve a transferência de custos, visando corrigir distorções alocativas por meio de tarifas de eletricidade. Novos modelos tarifários podem ser uma estratégia para custear a operação das redes de distribuição?

Sim. A criação de tarifas horárias para consumidores de BT seria um importante avanço. Paralelamente, entretanto, é fundamental que os créditos gerados no SCEE não se apliquem aos custos de Distribuição. Ainda, há de se discutir quais outros custos deveriam ser considerados para composição dos créditos. Evidentemente, os custos de Geração devem ser creditados ao consumidor. Quanto aos custos de Transmissão e Encargos Setoriais, como a CDE, o tema é controverso. Porém, nosso entendimento é que, dada a formatação da indústria de energia elétrica no Brasil, a interligação do sistema por redes de transmissão e os subsídios regulamentados para diversas finalidades, não é o momento de abandonar esse modelo construído na última década. Assim, Além da criação de novas modalidades tarifárias que permitam a melhor gestão por parte do consumidor do seu uso, é fundamental ajustar o sistema de créditos no SCEE para remunerar ao detentor de GD apenas a parcela de Geração e Encargos de Serviço do Sistema.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Não.

Entrevistado K

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Como benefício ambiental adicional ao mencionado, poderíamos dizer a utilização de espaços que já tem um uso primário (no caso de telhados para a energia solar) e de forma geral espaços que não poderiam ser utilizados para as usinas convencionais de grande porte (terrenos próximos ou dentro de cidades, fazendas, fábricas etc.). Outro benefício seria, por conta do porte e da própria localização dos sistemas, o fato de evitar os impactos ambientais comumente relacionados a geração centralizada como deslocamento de população, desmatamento, alteração da fauna e flora locais, entre outros. Como os sistemas de geração distribuída são localizados próximos aos centros de carga, evita-se a construção de novas linhas de transmissão, o que implica também em evitar os impactos ambientais relacionados à construção dessas redes. Quanto a impactos negativos significativos, ainda é cedo para dizer, mas um que pode ocorrer, a depender de como a indústria se desenvolve, é quanto ao descarte dos módulos ao final de sua vida útil. Dependendo dos métodos e tecnologia alcançados, uma quantidade maior ou menor de resíduos acabará sendo descartada, e como qualquer tipo de lixo, acabará afetando de alguma forma o ambiente.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

O investimento em qualquer melhoria de rede é repassado aos consumidores na forma de aumentos tarifários. Portanto, é fácil perceber que o adiamento desses gastos também posterga o impacto na conta de energia de todos os consumidores, beneficiando tanto quem já se beneficia da geração distribuída e principalmente quem não tem, que fica totalmente exposto aos reajustes das concessionárias.

Q3. Com a implantação da geração distribuída há uma mudança na remuneração do operador da rede de distribuição. Como essa mudança afeta o mercado de energia?

Essa é uma questão que sempre levanta bastante discussão, e está evidente no processo de revisão da REN 482. Não é simples de responder se essa mudança é positiva, negativa ou ambas, e qual o tamanho do impacto. Por um lado, o prosumidor (consumidor que produz sua energia) realmente se beneficia de uma geração local estando ancorado pela rede de transmissão/distribuição, o que pode configurar o que alguns veem como subsídio. Porém, seu sistema de geração também provê mais eficiência no uso da energia local, um benefício que nem sempre é levado em consideração. Portanto, é importante balizar esses dois lados para entender exatamente se os consumidores que não têm GD são prejudicados por isso ou não.

Q5. Os operadores de distribuição deveriam mudar sua estratégia de negócio para garantir sua sustentabilidade?

Sim. Distribuidoras devem buscar remuneração através de outros serviços, além do fio. Além disso, seria interessante separar o fio da energia na cobrança, através de um modelo de tarifa binômia. Com a redução do custo de tecnologias de armazenamento, crescimento do mercado de veículos elétricos, dentre outras, o modelo de negócio atual pode perder a modicidade por eventual redução do número de consumidores (não em breve). É um desafio complexo e que distribuidoras em diversos países estão passando.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

O impacto ocorre porque o usuário, ao injetar energia na rede, compensa vários outros custos embutidos na tarifa que vão além da energia (perdas, encargos, fio etc.). Assim, esses outros custos não arrecadados são rateados entre todos os consumidores. Os impactos são mínimos para baixas inserções da GD na rede. É possível que os benefícios gerados, como redução de perdas, entre outros, até reduza os custos da distribuidora. Porém, à medida que a GD se difunde, o impacto na redistribuição dos custos entre os consumidores pode ser significativo, além de demandar aumento nos investimentos em infraestrutura da rede.

Q7. O regime de compensação de energia envolve a transferência de custos, visando corrigir distorções alocativas por meio de tarifas de eletricidade. Novos modelos tarifários podem ser uma estratégia para custear a operação das redes de distribuição?

Sim. Mas é preciso ponderar com os custos necessários para efetuar as mudanças, como por exemplo a troca de medidores, e definir quem irá arcar com esses custos.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Os tipos de consumidores a que essa situação teria um real benefício seria os do Grupo A ou Tarifa Branca, que têm preços diferentes para certos horários do dia. Tratando especificamente da geração solar, os momentos em que a produção é mais alta coincide quase completamente com o horário fora ponta, em que o preço da energia é mais baixo. Porém, mesmo sem a geração distribuída, a menor

utilização de energia nos horários em que ela é mais cara já é uma tendência, portanto, a GD não poderia ser apontada como um fator tão relevante por esse comportamento.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Sim, tratando-se da energia fotovoltaica, o alívio de carga proporcionado pelos sistemas de geração distribuída funciona de uma forma geral como um benefício à rede na maioria das situações. Porém, em alguns casos específicos, como o conhecido exemplo da Califórnia, a grande capacidade de geração solar causa um impacto forte na curva de carga local, principalmente no período do final da tarde/início da noite, quando a geração solar se encerra e rede elétrica tem que lidar com uma rampa de fornecimento de energia muito íngreme, pressionando o sistema de geração e distribuição, o que tem reflexos nos índices de confiabilidade de fornecimento. Porém, para as outras fontes de energia na geração distribuída, a situação não é igual. A eólica também sofre com intermitência e não é despachável, porém a cogeração e as mini centrais hidrelétricas têm capacidade de se regularem, o que muda um pouco a relação com a rede elétrica quando comparada a fonte solar por exemplo.

Q11. A geração distribuída pode auxiliar na mitigação do risco de apagão. Identifica outros benefícios envolvendo a estabilidade no fornecimento?

A própria geração de energia, desde que se dê com uma certa constância, naturalmente alivia o fluxo de carga dos centros de geração aos centros de consumo, contribuindo para uma maior estabilidade da rede.

Q12. A geração distribuída é capaz de reduzir as perdas de energia. Há algum cenário em que essas perdas podem aumentar, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas?

Sim. Em regiões com muitos sistemas pode haver sobrecarga da rede nos horários de maior geração solar, gerando alto fluxo reverso. Se a carga local for inferior à geração e o ponto mais próximo a se entregar essa energia for distante, pode haver perdas elétricas excessivas.

Q13. A geração distribuída é capaz de melhorar a estabilidade e o perfil de tensão da rede. Há algum cenário em que essa estabilidade poderia diminuir, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas?

Sim, neste cenário em que haja uma grande capacidade de geração intermitente em determinado local, a estabilidade da rede sofreria forte influência deste fator. Este fenômeno, inclusive, já acontece em algumas regiões do mundo.

Q14. As unidades de geração distribuída podem ser de alguma vantagem em uma situação de falha? Por exemplo, operando de modo autônomo durante algum problema na rede de distribuição?

Atualmente os sistemas de geração distribuída devem operar com anti-ilhamento, ou seja, caso haja interrupção no fornecimento de energia da rede local, o sistema gerador também deve se desconectar, protegendo, assim, a eventual manutenção da rede por técnicos. Contudo, há algumas situações que, se regulamentadas, podem permitir um sistema diferente. Por exemplo: com equipamentos de monitoramento e controle, seria possível desconectar a unidade consumidora da rede local e permitir a continuidade do fornecimento de energia da geração distribuída, até que a rede local volte a funcionar e a unidade consumidora possa injetar energia de forma segura novamente. Porém, é importante lembrar que esse é um cenário que atualmente não é regulamentado.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

A conexão de sistemas de armazenamento na rede elétrica (SIN) é uma situação especial e só permitida em alguns casos pelas distribuidoras. Portanto, o uso amplo desse benefício de controle de carga ainda não é acessível pelo consumidor geral, mas há discussões no ambiente regulatório que podem vir a mudar o cenário no futuro. Do ponto de vista técnico, o impacto dos sistemas de armazenamento tende a ser positivos na medida em que proveem mais estabilidade à rede com um fornecimento constante, além de serem especialmente úteis para injeção no horário de ponta, quando sua remuneração é amplificada e o benefício de alívio da rede também é maior. Do ponto de vista ambiental, algo que é bastante associado aos sistemas de armazenamento, em específico o armazenamento químico, é a própria fabricação e descarte de materiais, alguns que podem ser tóxicos e não recicláveis.

Q17. Quais os desafios de infraestrutura envolvidos na gestão do sistema de energia com a implantação da geração distribuída? Por exemplo, fluxo bidirecional de energia.

O primeiro ponto seria a própria adaptação do sistema de medição local por um medidor bidirecional, visto que os instalados em unidades consumidoras comuns são unidirecionais. Outra questão que é abordada pela concessionária de energia é a segurança da rede, garantida por meio de estudos de impacto que são feitos antes da conexão do sistema gerador, a fim de identificar quais reforços de rede serão necessários para manter, no mínimo, os mesmos níveis de confiabilidade que existiam antes da implantação da geração distribuída.

Q18. De que formas a geração distribuída pode auxiliar na demanda por energia nos horários de ponta?

As fontes eólica e solar são intermitentes e não despacháveis. Portanto, sem sistema de armazenamento atuando conjuntamente, elas contribuiriam somente no caso de a geração acontecer naturalmente no horário de ponta. Por outro lado, a cogeração e as usinas de GD com fonte hidráulica possuem essa capacidade de controle e podem atuar mais diretamente neste cenário.

Q19. Um benefício da geração distribuída é reduzir a necessidade de reserva de capacidade no sistema de energia. Por outro lado, pode existir uma dificuldade em equilibrar oferta e demanda devido a uma grande geração em períodos de baixa demanda ou intermitência. Como visualiza essa relação?

Os impactos negativos da grande geração em um determinado espaço de tempo e intermitência são mais sentidos quanto mais capacidade de geração distribuída há instalada em certo local. Porém, como atualmente esses sistemas representam uma fração pequena da geração total do Brasil, é improvável que estes problemas sejam relevantes a curto prazo. À medida que essa capacidade aumenta, é importante prever soluções como a integração de armazenamento de energia por exemplo, que tem a capacidade de mitigar esses problemas e neste ano de 2021 já entra na pauta de discussão de entidades reguladoras.

Q20. Quais os riscos de mercado ou desafios associados às características de intermitência das fontes utilizadas na geração distribuída (por exemplo, solar e eólica)?

Nos moldes da regulação atual, a geração intermitente está amparada pela rede de distribuição local, que funciona como uma “bateria” do sistema. Portanto, hoje em dia não há um obstáculo para a aplicação desses sistemas por causa de sua característica intermitente. Porém, olhando para um cenário futuro em que a instalação de novas unidades geradoras necessariamente diminuiria a confiabilidade do sistema, é razoável imaginar que haja algum entrave para estas fontes. Pode ser que neste cenário os sistemas de armazenamento sejam obrigatórios para novas conexões, por exemplo, a fim de garantir o equilíbrio da rede, o que configuraria um risco ou desafio de mercado que não existe hoje.

Entrevistados L e M

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Entrevistado L: Quando se analisa a energia solar fotovoltaica da perspectiva ambiental, o ponto mais óbvio é a redução de emissões de gases de efeito estufa, a ação que está tendo os maiores esforços dos governos nos últimos anos. Mas não há nenhum tipo de emissão na operação dos sistemas fotovoltaicos, o uso de água muito reduzido, porque se são usinas de estruturas muito simples para sua instalação, seja ela de pequeno porte, residências, comércio; seja de grande porte. Ela não demanda, por exemplo, cimento e outros materiais, ela não é invasiva nesse sentido. Em relação ao uso do solo, é outro ponto bastante importante também. Quando se olha a intensidade uso do solo em quilômetros quadrados por quilowatt gerado há diferentes tipos de geração de energia que são intensivos nesse sentido, a fotovoltaica urbana aproveita áreas ociosas. No setor rural se pode mencionar a iniciativa da agro fotovoltaica, que conjuga sem prejuízo a geração fotovoltaica com o cultivo de hortaliças ou mesmo de animais. Pode-se citar uma preocupação recorrente, que é a questão de resíduos. Nesse sentido a solar também representa uma excelente solução, ela é 95% reciclável, seus componentes principais, silício, vidro, alumínio, são recicláveis e têm logística reversa em implementação, ou seja, a absorção desses materiais é de responsabilidade do fabricante ou vendedor dos produtos ao cliente. A energia solar trata muito bem esses impactos e está muito em alinhamento com os objetivos de desenvolvimento sustentável e com as metas propostas pelas maiores economias do mundo.

Pensando em uma dimensão econômica, como vocês visualizam a geração distribuída?

Entrevistado L: Quando se fala em geração distribuída no geral a mudança de paradigma do consumidor de poder gerar sua própria energia está muito alinhada com as necessidades e as demandas do cidadão e do cliente, em poder escolher de onde vem a sua energia, ou seja, escolher por uma energia mais sustentável e principalmente poder gerar a energia no seu telhado, sabendo de onde ela vem, diferentemente de outros tipos de energia que tem um impacto grande na sua cadeia e dependem de longas linhas de transmissão até chegar nas casas das pessoas. Então quando se fala de fotovoltaica, ela tem uma competitividade econômica diferenciada, por uma questão de ter uma cadeia já desenvolvida nos últimos 10 ou 20 anos. Os preços não param de cair e ela apresenta uma opção econômica mais barata na maior parte do Brasil do que a aquisição de energia por concessionárias ainda com tendências de queda. Falando da pandemia, nós tivemos um ano de crescimento de mais de 50% desse setor que não foi registrado praticamente por nenhum outro setor econômico. Então nesse sentido para o consumidor, há grandes vantagens, é uma energia que você vai ter um tempo de retorno muito baixo em comparação aos potencialmente mais de 30 anos de geração de energia nas residências e quando se fala de macroeconomia também tem amplas vantagens porque energia solar fotovoltaica é uma cadeia

muito intensiva em empregos e ela tem o poder de alavancar a desenvolvimento econômico, local, estadual ou federal. Temos também feito propostas junto ao governo federal apresentando essa energia como um instrumento da retomada econômica brasileira, tem gerado muitos empregos e investimentos em 2020, as condições é que isso possa se manter e ainda mais aumentar nos próximos anos, de acordo com as nossas projeções.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

Entrevistado L: Esse é um ponto extremamente importante que o Brasil vem lidando nos últimos 10 anos. Quando se fala de redes de transmissão e distribuição, é importante considerar o histórico dos últimos 20 anos, de racionamento energético e apagões e a necessidade constante do Brasil, com demanda energética em crescimento, de levar essas linhas de transmissão até onde estão os recursos energéticos. A boa notícia é que o Brasil é um país é inigualável em potenciais de recursos energéticos renováveis, mas também é um país de dimensões continentais. Então esse equacionamento sempre vai persistir. Os custos são extremamente altos quando se fala de extensão das redes e a energia solar fotovoltaica gerada atrás do medidor, que atende diretamente essa unidade de consumo sem a necessidade de enviar essa energia para fora, representa uma postergação de investimento muito positiva para o país e para as distribuidoras também.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

Entrevistado L: Esse é um ponto bastante importante se vem argumentando para esse ponto em consultas públicas. Você sabe da discussão aberta em 2019. Há uma relação exaustiva dos benefícios da geração fotovoltaica para redução de custos sistêmica. Há uma transição de regras para a inclusão do pagamento da tarifa de uso do sistema de distribuição, a alteração dessas regras e desse custo para quem gera energia solar fotovoltaica. O nosso diagnóstico é que os benefícios técnicos e os benefícios de custo, são para todos os consumidores. Quando se fala também de postergação de investimentos, fala-se também de adiamento de construção de outros empreendimentos de outras fontes de energia potencialmente mais caros, considerando que a energia solar fotovoltaica é a fonte mais barata de acordo com o último leilão de energia realizado. No cômputo geral nós vemos esse fator econômico como positivo.

Entrevistado M: Um outro grande benefício da GD, especificamente solar fotovoltaica, é que ela pode atingir lugares que se acredita que não pode ser atingido. Em sistemas isolados, até os quais não se pode levar uma linha de transmissão, a GD traz benefício a essas populações e para o desenvolvimento da população. Então você não somente tem um benefício econômico, mas o crescimento como comunidade e ambiental também.

Entrevistado L: Falamos de empregos, mas no caso da geração distribuída dessas comunidades, essas são regiões, principalmente a região norte, que é uma região notadamente de demanda reprimida, na qual o acesso à energia vai desenvolver uma atividade econômica que não estaria sendo permitida. Ou seja, desde atividades como produção de farinha, até refrigeração de pesca, que vão poder trazer desenvolvimento social para essas populações.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Entrevistado L: A Resolução 482/2012 permitiu o destravamento de todo um setor que já vinha se desenvolvendo no mundo e não tinha espaço no Brasil. Então nesse sentido, por se tratar de uma indústria, de um setor completamente novo, foram implementadas mudanças nessa resolução, a Aneel publicou outras ajustando, melhorando as condições, melhorando business models, como geração compartilhada, para citar um exemplo. A GD carece de um marco regulatório que ainda não está no lugar. Recomendamos há alguns anos esse marco regulatório, a discussão de 2009 abriu espaço para que isso ganhasse massa crítica. Agora em 2021 a Aneel e o Congresso estão comprometidos na criação desse Marco, porque se trata de um setor, considerando apenas a geração distribuída, que movimentou 20 bilhões de reais nesses 8, 9 anos. Então é um setor em crescimento, mas é um setor que precisa de regras cada vez mais claras de modo a evitar a inibição do desenvolvimento do setor, situações de regulação entre concessionária e empresas que possam trazer uma percepção do consumidor da dificuldade de instalação desses sistemas. Por um lado, é muito natural que a regulação se desenvolva, que as distribuidoras se equipem, se aparelhem, para aprovar as solicitações, mas por outro lado é essencial o marco legal. Não só o setor solar faz essa demanda, o próprio setor eólico também tem uma atuação política bastante constante para garantir que as condições sejam mantidas e que essa indústria possa se desenvolver de maneira sustentável.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Entrevistado L: Sem dúvida ela tem o potencial de educar o consumidor. Seja geração distribuída que fornecem na maioria dos casos a informação para o consumidor do quilowatt-hora gerado no dia e essa apresentação de curvas, claro que de acordo com a sua instalação, sejam medidores inteligentes, são

ferramentas capazes. Principalmente a questão da variação de energia, as bandeiras tarifárias, quanto a variação horária, tem o potencial de educar o consumidor, que é um esforço constante. Há a experiência no Brasil da educação para um consumo racional no racionamento de energia de 2001 e 2002 e depois um afrouxamento disso com a melhora da economia e de uma conta de luz que depois passou a não ser significativa no bolso do consumidor. Então uma série de fatores podem trazer essa educação, seja uma tarifa mais cara, diferenciada por bandeiras, e a geração distribuída também é capaz de trazer. Uma vez que o consumidor pagou pela sua energia ele tem uma consciência maior sobre o cuidado dessa energia. Passa a pensar também em medidas de eficiência, como ele pode consumir menos, como ele pode ser mais racional na escolha dos equipamentos. Mas também é importante colocar um outro lado que tudo que a GD não deve ser, seria uma carta branca para aumentar o consumo, para instalar mais um ar-condicionado, para tomar banhos mais longos para quem tem chuveiro elétrico. Então esse outro lado também deve ser observado. Há consumidores que fazem essa instalação para “não se preocuparem mais” com consumo de energia, porque se tornaram independentes.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Entrevistado L: Na contribuição das audiências públicas da Aneel incluímos um estudo técnico falando sobre os benefícios da geração de energia em relação ao efeito vizinhança, em relação também a postergação de investimentos de distribuição. Sem dúvida há benefícios da instalação solar fotovoltaica que são quantificados não só simulação, que é brasileira, mas em mais de 200 estudos internacionais.

Entrevistado M: Então no efeito vizinhança você não vai precisar fazer com que as linhas de transmissão tenham que carregar mais energia do que o necessário, porque enquanto você está injetando você está basicamente também dando essa energia para as outras casas, que apesar de não ter gd, vão usufruir da energia que você gerou. Além disso você dá uma confiança ao setor de que você no futuro não vai precisar mais ter tantos empreendimentos grandes a serem construídos, uma vez que a gd está conseguindo colocar energia dentro do sistema, inclusive nos horários de pico e isso está deixando o sistema mais confortável para continuar a trabalhar do jeito que está trabalhando hoje em dia. Claro, no futuro haverá mais prosumidores entrando no SIN, então vai ter uma expansão gradual, mas não tão grande quanto se espera, uma vez que a gd está dando mais confiança ao setor para conseguir suportar isso.

Entrevistado L: Entendemos que o reforço de redes de distribuição em alguns casos é necessário e que o cômputo é mais do que positivo, que há sim uma postergação de investimentos. Esse ponto da coincidência da curva de geração com a curva de consumo é um ponto é muito positivo, mesmo em comparação com outras fontes de energia. Então usualmente, se você não tivesse o uso dessa energia, essa energia seria injetada no sistema e eventualmente viajaria para ser consumida em outro local. Nosso sistema interligado faz todo esse balanço entre o despacho, administração de energia e reservatório. Com a solar fotovoltaica parte desse problema é resolvido. Hoje são 4 GW de uma matriz de 174 GW, mas projeta-se para 2050, 40% de energia solar entre centralizada e fotovoltaica distribuída na matriz, então isso vai trazer um ganho de escala enorme em termos de transmissão e distribuição.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Entrevistado L: Temos um grupo de trabalho permanente para armazenamento, entendendo que essa é a próxima tendência, ou já é a tendência, porque ela apresenta quedas de preços em curvas comparáveis a solar fotovoltaica. O preço das baterias caiu 80% dos últimos anos e tem uma série de aplicações. A bateria é o canivete suíço do setor elétrico. E ela se casa muito bem com as fontes variáveis, principalmente com solar e eólica. Há exemplos de baterias que conjugadas a solar e eólica já estão mais baratas do que termelétricas a carvão. Isso foi um leilão realizado nos EUA. Trabalhamos em um estudo de armazenamento, dando um pouco das experiências internacionais e falando dos desafios regulatórios. Em termos de regulação nada ainda foi colocado, mas tem muitos benefícios. Além do benefício óbvio de backup, você conseguir guardar energia para uma utilização posterior, você tem serviços ancilares, você tem a possibilidade de gerenciar o despacho de acordo com o valor da tarifa em um determinado momento. Também ao atendimento de consumidores que estão até conectados ao sistema, mas que tem um suprimento pouco confiável, o que ocorre em diversas regiões do Brasil.

Entrevistado M: No futuro, o armazenamento terá um preço muito baixo e tecnologias cada vez melhores para conseguir aguentar, tanto as cargas grandes, que podem armazenar, quanto as flutuações dos momentos em que você está fazendo o armazenamento. Então hoje em dia o que está faltando é uma regulamentação melhor. Uma coisa que vai começar a acontecer pela Aneel esse ano, com consultas públicas, com a abertura de análise de impacto regulatório e com melhorias dentro do Brasil da parte de registro, homologação, certificação e de normativas. A ABNT está com comissões abertas para melhorias nas baterias estacionárias, estão também vendo novos tipos de baterias, como de fluxo, como de hidrogênio. E as de lítio que são bastante competitivas dentro do segmento off-grid de GD e

que estão sendo bastante visualizadas pelas distribuidoras no âmbito do programa Mais Luz para a Amazônia. Então esse casamento tem sido bastante bom e grande para a GD e para que também o consumidor se sinta melhor, no âmbito de dizer que está gerando sua própria energia e está se utilizando da própria energia também. Então não está injetando na rede e ganhando um crédito com isso. Ele pode estar armazenando e depois utilizando eventualmente à noite.

Entrevistado N

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Nos impactos positivos, eu destaco a possibilidade de reduzir o espaço físico para a geração, então se pode aumentar a capacidade do sistema de suprir a demanda por meio de pequenos pontos e não necessitar de grandes áreas e licenças ambientais mais complicadas, o que demanda bastante tempo para poder implementar. Em relação aos impactos negativos, pensando na energia eólica, tem o desvio de rota de pássaros, pensando nos animais que habitam esse ambiente. É importante destacar que não existe energia limpa, a energia mais limpa é a energia não produzida. Então quando tu vais construir um parque eólico, um parque solar, tu vais utilizar a energia da rede para construir aquele parque e essa energia da rede é proveniente de diversas fontes. Então se vai utilizar de alguma maneira outro tipo de energia para construir. E tem a questão de descarte dos materiais, de células solares. Se a gente pensar em gd, muito se fala em recurso energético distribuído, e aí tem armazenamento e bancos de baterias, que tem vida útil.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

Quando se tem geração distribuída se consegue aliviar a sobrecarga em determinados horários, pensando em distribuição de energia elétrica. Mas também tem uma questão que é importante falar sobre a modicidade tarifária. Uma tarifa módica é uma tarifa que tem um preço adequado, justo, não exagerado. E tu tens como protelar certos investimentos quando se alivia alguns pontos problemáticos na operação e ela pode auxiliar, pensando na modicidade tarifária também.

Q3. Com a implantação da geração distribuída há uma mudança na remuneração do operador da rede de distribuição. Como essa mudança afeta o mercado de energia?

Eu até tinha notado como mercado um ponto de um colega meu que trabalha com Mercado Livre de energia, mas acho que a tua pergunta quer saber em relação a distribuidora. Nós temos projetos com uma distribuidora, e em reuniões com o corpo de engenharia eles estão sinalizando o impacto em certas regiões do estado pela alta inserção de gd. Então a gente sabe que tem empresas que estão vendendo com intensidade parques solares em algumas regiões do estado e existem alimentadores dessa distribuidora que já estão saturados com a inserção de gd. O termo técnico para esse tipo de saturação é capacidade de hospedagem, ou seja, o quanto essa rede pode receber geração distribuída. Eu estou em 2 projetos com equipes diferentes e em ambos os projetos as equipes de engenharia da distribuidora sinalizam o problema da alta inserção de gd nessas redes. Então a gente tem trabalhado para avaliar o impacto com cenários extremos, cenários probabilísticos, e a concessionária já está desenvolvendo novos métodos. Um dos projetos é justamente inserir a parte probabilística numa análise de cenários de gd. Então a gente não pode mais pensar apenas em cenários extremos de máxima geração, nenhuma geração, mas qual a probabilidade de ocorrência disso. Obviamente que isso tudo vai impactar nos custos da concessionária, em como ela repassa os valores. Há um tema bem polêmico também, aquela questão da taxaço do sol, então nós temos pessoas com posicionamentos muito distintos, mas a gente não pode esquecer que nós utilizamos a rede com uma grande bateria. Então a gente utiliza uma estrutura que a gente precisa remunerar. Isso é o negócio da distribuidora. Acho que ali na parte de impacto com certeza essas questões políticas em relação até a taxaço do sol refletem a preocupação da distribuidora frente a mudança do mercado.

Essa capacidade da rede que você mencionou poderia ser aumentada com reforços?

Exatamente. Têm os condutores e os transformadores, que tem uma corrente máxima que eles atendem e quando se começa a inserir vários equipamentos ali vai modificar essas grandezas elétricas e evitar aquecimento ou problemas de proteção, a rede simplesmente para de operar para proteção térmica e proteção elétrica. Então é preciso reformar, trocar transformadores, às vezes aumentar a capacidade da rede. Por isso que um dos tópicos do estado da arte no momento é justamente avaliar, tudo que fores fazer em uma rede, considerar essa capacidade de hospedagem. Um dos cenários que quase virou padrão quando alguém está avaliando qualquer coisa: ele avaliou a capacidade de hospedagem na rede? É um termo bem recente, mas que cada vez mais as pessoas estão utilizando.

Q6. De que forma a geração distribuída impacta nos custos de eletricidade para o usuário da rede? Há impactos nos custos de eletricidade para o consumidor cativo?

Talvez tenha dois pontos de discussão: um em relação a quem tem gd, porque a parte do autoconsumo remoto também é uma realidade que impacta no custo da eletricidade. Quando eu permito que o usuário

possa gerar a eletricidade em outro local e abater de contas em outros locais, acaba impactando no negócio da distribuidora e na conta de energia do usuário. Olhando para o consumidor que não tem gd, cada vez mais é um caminho sem volta, já existiram algumas iniciativas, no entanto ainda não é uma realidade, as pessoas ainda não tiveram muito interesse, na tarifação dinâmica. O mundo inteiro já vez com esse modelo há muitos anos, de tarifar a energia elétrica conforme o horário do dia, para estimular que as pessoas reduzam seu consumo, consumam em outros horários ou tenham armazenamento de energia. Mesmo quem não tem uma geração na sua casa daqui a pouco será impactado pelo modelo de tarifa que ele vai acessar. Atualmente é opcional, mas acredito que em futuro não tão distante isso seja obrigatório. Eles vão ter que se adaptar e a gd pode virar até uma moeda, por exemplo vender em um horário mais caro, no mais barato se armazena. Isso vai impactar bastante o custo, tanto de quem não tem a geração como daqueles que têm.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Com certeza, o nome disso é resposta da demanda. A gestão pelo lado da demanda tem justamente consumidores que possuem gd. Tem a tarifação em tempo real, onde você sabe o preço da energia no dia seguinte, tem a tarifa branca, onde já se sabe os períodos do dia que são horários de ponta. Então essas tarifas regulam o aumento ou não do consumo. Também, determinados tipos de consumidores não se importam com o aumento no valor. Outros já consomem tão pouco que não há mais o que deslocar para outros horários. Tem também consumidores que modificam mais seu consumo. Mas com certeza a inserção da gd vai modificar o comportamento. Sabemos que alguns consumidores que têm gd usam mais energia, por exemplo: “pode deixar o ar-condicionado ligado, vou ligar outro equipamento porque tenho sobrando, vamos gastar os créditos”.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Na Inglaterra, há uns 15 anos, a energia já era por cartão, como é o celular hoje em dia. Então, por exemplo, se alguém vai fazer uma festa e aluga algum lugar, já se coloca no rateio a taxa da energia. Acho que o Brasil é conservador em determinados aspectos, então esse modelo de negócio bem difundido em outros locais ainda não é cogitado aqui. Em contrapartida é um sistema grande, complexo e confiável, vemos que não temos grandes problemas de qualidade do produto e do serviço. Acredito que o suprimento de energia elétrica é adequado.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

A confiabilidade entra mais em outro tópico, que é a qualidade do serviço e do produto. A distribuidora que faz parte do projeto que atuo relatou que existem regiões com problemas com os indicadores DEC e FEC e são áreas com um alta inserção de gd. Quando fomos definir os locais para atuar no projeto, essa era uma rede que não poderia faltar. Outro aspecto, nós temos um projeto sobre o cálculo do DEC e FEC pela Aneel. Lá nós verificamos que esse cálculo é baseado em dados do Brasil inteiro, de todas as concessionárias. E ali tem uma série de dados que são importantes para esse cálculo. Também tem aspectos relacionados a geração distribuída dentro desse cálculo. Então ele permeia até as metas de quanto uma distribuidora vai ter que atingir para não deixar faltar energia elétrica.

Q12. A geração distribuída é capaz de reduzir as perdas de energia. Há algum cenário em que essas perdas podem aumentar, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas?

Sim, quando se insere geração, se está reduzindo a quantidade de energia que o consumidor vai utilizar da rede. Conseqüentemente se está reduzindo a corrente que passa pelos condutores e reduzindo as perdas nessa rede. A Duck Curve (Curva do Pato) é um dos problemas que os EUA possuem na região da Califórnia. Pegando a energia solar com uma rede com vários consumidores residenciais. Uma curva de carga de um consumidor residencial vai atingir o ponto máximo de consumo no início da noite, das 18h às 22h. Durante o dia normalmente esse consumo cai, que é o período que a gente chama de fora da ponta. Só que em determinados locais dos EUA, foi se incentivando muito a gd solar. Se olharmos a curva da geração solar, ela tem o pico de geração ao longo da tarde. Então se tem muita inserção de energia em um horário que se consome pouco, pensando em um bairro residencial, e no final da tarde, quando cai a geração solar, aumenta o consumo dos usuários. Então há uma “rampa” de consumo bem significativa, por isso o nome de curva do pato. Há estudos sobre como impedir a esse impacto, por exemplo, mudar o ângulo dos painéis solares, para que a geração comece mais tarde e pare de produzir mais tarde.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

O armazenamento tem diversas tecnologias. Na Europa são mais comuns os containers de bancos de bateria próximo a subestações, aumentando a capacidade da rede. Mas há outras formas de armazenar

energia, por exemplo, o banco de gelo. Nesse caso se produz gelo ao longo do dia, quando a energia é mais barata, e à noite se derrete o gelo para climatização, reduzindo a quantidade de energia que se usa da rede. Outro tipo de armazenamento é o Flywheel, um dispositivo que tem um torque inicial e que mantém uma velocidade constante, armazenando a energia de outra forma e acoplado a um outro dispositivo para armazenar energia. Outra maneira de armazenar energia é aproveitar o excesso de energia para pegar a água de um reservatório e elevar novamente para um reservatório superior de uma hidrelétrica, então é um grande banco de baterias. Existem diversas tecnologias, o pequeno consumidor tem a rede como um grande banco de baterias, então acaba não utilizando, justamente porque não tem essa tarifação dinâmica. No momento em que a tarifação dinâmica for atrativa vai ter um boom de armazenamento. As pessoas vão querer vender no horário mais caro ou consumir do armazenamento ao invés da rede, mas ainda não passos a se dar ao longo do tempo. O próprio carro elétrico é um grande sistema de armazenamento.

Q14. As unidades de geração distribuída podem ser de alguma vantagem em uma situação de falha? Por exemplo, operando de modo autônomo durante algum problema na rede de distribuição?

O Brasil não permite o ilhamento da gd.

Q20. Quais os riscos de mercado ou desafios associados às características de intermitência das fontes utilizadas na geração distribuída (por exemplo, solar e eólica)?

Lembrar da característica estocástica dessas gerações. Conforme vierem nuvens, massas de ar frio, ar quente. São fontes que geram muita incerteza e impactam no planejamento da distribuição. Isso está relacionado com o aspecto da taxaço do sol, às vezes as pessoas não enxergam tanto porque o sistema em que elas conectam a sua gd é muito estável e confiável. Então tem que se tomar cuidado porque é uma fonte incerta, tem um comportamento típico, mas não é 100% garantido. É importante sempre pensar os dois lados.

Entrevistado O

Q1. Sabe-se que a geração distribuída traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases do efeito estufa. Você identifica algum outro benefício ambiental promovido pela geração distribuída? E impactos negativos?

Eu não cheguei a analisar muito profundamente trabalhos que verificar o ciclo de vida. Então acho que a gente avaliar o benefício que algo vai trazer a gente tem que considerar um horizonte de tempo, desde o início, na hora de produzir os insumos até o momento de a gente fazer o descarte. E eu não sei se tem um trabalho feito com esse tipo de janela. É senso comum que reduz as emissões, mas eu realmente não vi isto. A gente acaba acreditando que reduz as emissões porque nós estamos comparando com uma matriz baseada no carvão, ou em derivado de petróleo. Comparado com esses recursos energéticos, não tenho dúvida que a essa geração distribuída baseada no sistema fotovoltaico, que é um mais popular do mundo, e mais escalável com um tamanho pequeno, eu não tenho dúvida de que ele é benéfico. Mas se nós pensarmos na matriz da energia elétrica brasileira, talvez tenham outras formas mais interessantes. Na questão da reciclagem, temos os painéis, os componentes que vão ser usados para fazer os inversores... muitas vezes nós vamos ter algum dispositivo de armazenamento de energia que é bateria. E a vida útil da bateria é muito pequena, fica na faixa dos 5 anos, então imaginar em um ciclo de 25 anos de produção do painel, a gente tem que fazer pelo menos 5 substituições ou 4, então é bastante coisa. A gente sempre parte da premissa que essa geração distribuída que está conectada no sistema que é capaz de receber a produção em excesso e no momento que não tem produção o sistema está prontinho para atender a necessidade do cliente, o que é muito confortável. Eu acho que só pode funcionar esse sistema se o outro sistema também existir. Então a gente considerar que ele não impacta, sendo que ele depende do outro, a existência e a viabilidade dele está totalmente imbricada com a existência do outro sistema maior, que vai suprir as necessidades na hora desejada. Então não dá para gente separar um do outro. Eu tenho muitas ressalvas com relação à essa afirmativa. O que eu vejo de positivo é que a produção é perto do consumo, então isso diminui o transporte. E se houver superávit, ele provavelmente vai ser consumido pelos vizinhos. Então igual transporte é menor, do que atravessar um sistema elétrico inteiro, fazer uma produção com nível de tensão, elevar, transmitir, depois distribuir... A gente evita muita perda de transporte, que beira a faixa dos 10%. Embora a maior parte das perdas acabam acontecendo na baixa tensão, que é onde a gente acaba fazendo a instalação fotovoltaica. Porque, por exemplo, num tipo de produtor com maior capacidade, que vai instalar uma turbina eólica, aí a gente já vai para um outro padrão que talvez seja menos impactante.

Q2. A geração distribuída pode adiar o investimento em redes de transmissão e distribuição. De que forma essa situação traz benefícios para sociedade?

O benefício que eu vejo é para quem faz a instalação desse tipo de equipamento. Nem sempre são grandes empresas, a gente vê que tem muitas empresas de médio e pequeno porte trabalhando com isso. Vários alunos nossos da engenharia de energia acabam trabalhando, fazendo estágio com essas empresas, então é um mercado, uma economia sendo produzida em torno dessa instalação. Parte do

serviço é um serviço qualificado que é o projeto, e alguns outros nem tanto, como instalação. Mas igual está ocupando mão de obra e remunerando pessoas. Os consumidores acabam em algum tempo, com a legislação favorável, tendo benefícios depois de alguns anos. Tipicamente 5 anos ou um pouco mais talvez, eles já começam a observar retorno do capital.

Q8. As mudanças que estão ocorrendo nos marcos regulatórios estão acompanhando os desafios envolvidos na implantação da geração distribuída?

Eu acho que estão gerando algumas distorções. As concessionárias já estão observando e estão tentando se proteger. O fato de um consumidor poder instalar uma grande quantidade de produção e fazer a compensação em outros endereços, a gente acaba perdendo aquele primeiro benefício que era que a produção era perto do consumo. Eu tenho às vezes uma imprensa que tem um consumo significativo numa área urbana, na qual para a concessionária fazer ampliação da oferta é caro, e ela vai fazer essa instalação em outro local, onde o terreno é mais barato. Ela constrói a instalação de produção dela longe do consumo e aí, eu que estava com um alimentador complicado, que era o alimentador que atendia a essa instalação nessa zona densamente povoada e com muita carga, agora eu tenho 2 problemas. Eu tenho este problema e tem um outro problema que eu vou ter que ampliar um alimentador que tem baixíssimo consumo para que este consumidor faça a produção longe do consumo. E essa produção às vezes excede o consumo e isso vai fazer com que ele, na origem, onde ele consome, deixe de se preocupar em economizar energia, porque muitas vezes os créditos que ele tem da outra instalação ele não consegue nem gastar. Então acaba gerando um sinal econômico perverso, eu ajudo aos consumidores a fazerem investimentos que prejudicam o meu sistema nas 2 pontas, tanto na ponta que está fazendo o consumo, porque ele para de se preocupar com o consumo, porque ele é produtor também, superavitário. Na outra ponta eu preciso fazer reforço em um alimentador que provavelmente não tem demanda, porque ele instalou onde o terreno era mais barato, comprou um terreno para fazer isso. Então essas instalações de médio e porte maior, são muito prejudiciais e em algum momento a legislação vai ter que dar uma brecada nisso, porque o sistema elétrico tem uma capacidade de hospedagem. Então como qualquer sistema que está trabalhando com produção e consumo, ele precisa equilibrar esse sistema. É um pouco mais complicado do que uma oferta de refrigerante por exemplo, que eu posso ter um estoque. Na eletricidade basicamente é difícil ter um estoque, eu precisaria ter dispositivos de armazenamento, que não tem. Então o dispositivo de armazenamento é a rede. Imagina como que uma empresa vai fazer a projeção de consumo dela se eu não sei quanta gd distribuída vai entrar. Eu posso até prever os hábitos dos consumidores, estimar crescimento da população, crescimento da economia e com esses indicadores fazer minha previsão de aumento do consumo. Mas eu não sei como fazer uma estimativa do quanto vai ser investido em alta produção. Porque isso o consumidor é livre para fazer ou não. Se ele resolveu que quer desligar o gerador dele, ele desliga. E a distribuidora vai ter que ter energia para ofertar porque simplesmente não um produtor desistiu de produzir. Então eu não posso deixar o sistema com muitos hospedeiros com esse comportamento, porque se não tem planejamento que resolva. Ou tem que planejar sempre a maior, e aí quem vai pagar esse preço? Todos os consumidores vão pagar o preço da volatilidade desse indivíduo que tem essa super liberdade de fazer o que ele quer. Na minha visão é muita liberdade. Foi feito isso para viabilizar o investimento, de uma maneira artificial. E quem vai pagar os incentivos são todos os consumidores.

Q9. A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Eu acho que se ele for superavitário e ele começar a ver que a conta dele só aumenta, ele vai perder o interessante de usar energia de maneira racional. Até porque ele já fez um grande investimento no equipamento de produção, então por que ele vai investir num ar-condicionado mais eficaz se está sobrando energia para ele? O consumidor se movimenta conforme os sinais que recebe. Se mês após mês ele só vê a energia elétrica sobrar, ele provavelmente vai perder o interesse de consumir menos, é completamente natural. Por exemplo quem paga pouca água, o condomínio quando tem a questão das piscinas onde a água é rateada igual, por metro quadrado. Por que tratar a água da minha piscina o tempo todo, que dá um trabalho? Esvazia e enche de novo, todos vão pagar, eu vou pagar um pouquinho só.

Q10. Alguns autores discutem que a geração distribuída pode tornar mais ou menos confiável em relação a qualidade do fornecimento de energia. Isso se dá dependendo da quantidade de unidades instaladas, da sua localização e da infraestrutura atual da rede. Concorda? Que ações deveriam ser tomadas a fim de aumentar a confiabilidade do sistema?

Tem várias questões, sempre vai depender da quantidade que nós tivermos instalada. Se a gente imaginar que a quantidade de geração distribuída que a gente tem instalada é pouca, então essa instalação provavelmente não impacta nos níveis de tensão do sistema. A maneira que esses inversores, que são os equipamentos que fazem a conexão, operam, eles são uma programados para fazer o máximo de injeção de potência possível, mas eles não regulam a tensão no sistema. Então eles são colocados para operar numa faixa de tensão bem ampla, por exemplo com mais ou menos 10% da tensão nominal, ou às vezes até mais. Eles podem operar dessa maneira, fazendo com que em alguns momentos eles possam até aumentar a tensão do consumidor que estiverem conectados na mesma fase que está sendo

feita a entrega. Então isso de certa forma é bem prejudicial, porque imagina um sistema que eu tenho. Os sistemas de distribuição geralmente são trifásicos. Se as cargas estiverem balanceadas, as tensões também ficam balanceadas. Então os equipamentos que operam com mais de uma dessas fases, quando as tensões são desequilibradas, eles começam a operar de uma maneira muito ineficiente. Isso acontece por exemplo com o motor elétrico. E dependendo do tipo de desbalanceamento ele começa a ter componentes negativos de torque. Então parte do sistema elétrico você o motor girar num sentido e uma parcela quer fazê-lo girar no outro sentido, como se funcionasse como um freio. Então isso impacta fortemente na eficiência de equipamentos que não tem nada a ver com a geração. Por que eu digo a questão do desequilíbrio? Porque geralmente as instalações menores são monofásicas. Então toda a produção acaba sendo entregue em uma única fase no sistema e isso vai provocar muitos desequilíbrios e a legislação ainda não premia o consumidor que ajuda aos equipamentos que estão conectados a eles a melhorar essa qualidade de energia elétrica. Eles não são recompensados por isso, embora o equipamento em si permita fazer isso. Teria que fazer um ajuste no setup dele, mas isso não é feito porque a legislação não valoriza esse tipo de comportamento. Não precifica isso, os sistemas ancilares. No sistema de entrega de energia, a gente tem a energia que é um produto. Quilowatt/hora ou joule são coisas mensuráveis, que tu recebeu na tua casa de energia isso vai provocar trabalho físico na casa, vai fazer calor, vai movimentar ar-condicionado... Então isso é uma coisa física, só que para que eu possa entregar essa energia na tua casa, eu preciso de uma série de outros serviços. Então eu preciso de serviços por exemplo, que não são tão para visíveis. É preciso ter uma reserva de energia contratada, pronta para o caso de falhar alguma parte do sistema, eu poder acionar esse novo gerador. O sistema elétrico remunera geradores para estarem girando, se chama reserva girante, então ela tem que estar pronta para ser acionada a qualquer momento. Ele remunera um gerador que não produz. Ele está sendo pago para estar em stand by. Então eu aloco aquela unidade, não quer dizer que vai entrar em produção. Se entrar em produção ele vai ser remunerado além disso, mas esse por exemplo é um serviço ancilar. É um serviço auxiliar. Em condição normal ele não existe. Outros serviços ancilares que já foram identificados, mas ainda não são precificados, principalmente nas redes de baixa tensão é a regulação da tensão. Regulação da tensão é manter a tensão dentro do valor especificado, dentro de um valor mínimo e máximo, é uma faixa de tensão denominada adequada. Um dos equipamentos que poderia fazer isso é o equipamento que faz a conexão dos painéis fotovoltaicos ao sistema elétrico, que o inversor, ou um aerogerador ao sistema elétrico, que também é um inversor. Então esses inversores teriam a capacidade de fazer isso, mas eles têm que ser programados para fazer isso. Aí entra também naquele outro ponto, que nem sempre essas instalações estão disponíveis. A distribuidora não pode contar com isso no projeto do sistema. Esse é um componente que pode estar ou pode não estar. Esse gerador da reserva girante está contratado, se não estiver disponível, ele vai ser duramente penalizado. Agora, é uma coisa que tem que ser equacionada. À medida que o número de prosumidores que vão se conectar no sistema, se eles forem fotovoltaicos, tem um outro agravante, de que todo mundo produz ou não na mesma hora. Esse sincronismo é perverso, porque eu preciso me preparar para o máximo, porque quando acontecer todo mundo vai estar no máximo. Embora eu possa passar 2, 3 dias nublados não produzir quase nada. Mesmo quando em produção, ele tem essa característica, em pouca quantidade acaba sendo benéfico, quando começa a aumentar muito a participação, ele realmente começa a impactar o sistema e geralmente o que ele faz é aumentar a tensão na rede de baixa tensão. Se tensão baixa na rede de baixa tensão é prejudicial, a tensão alta é muito mais, porque provavelmente vai danificar a maior parte dos equipamentos. À medida que vai danificando os equipamentos, eu ainda vou diminuindo a carga, e diminuindo a carga eu acabo aumentando mais ainda a tensão. Ainda tem a questão da estabilidade da tensão, depois de passar por um momento desses de aumento e começar a perder carga, a tendência é que cada vez aumente mais. Aí chega num determinado nível que a proteção do equipamento desliga ele. Mas eu já ouvi casos em que fizeram instalações e tiveram que ajustar a tensão do painel, do inversor, para que fosse a níveis bem mais elevados do que a tensão nominal, caso contrário ele praticamente não produzia nada, porque ele estava muito no fim da rede. Mas é um equipamento que provavelmente se fosse instalado em uma região mais urbana, e tivesse mais equipamentos desse tipo, ele poderia causar muitos danos para o sistema elétrico. E depois é difícil identificar quem foi. A coisa que não acontece todos os dias da mesma maneira, o consumo não é igual todos os dias.

Q12. A geração distribuída é capaz de reduzir as perdas de energia. Há algum cenário em que essas perdas podem aumentar, por exemplo, dependendo da quantidade de unidades instaladas? Temos benefício, mas não é só a questão do espaço, também tem a posição no tempo. Tem que ser as duas coisas. Aí o transporte é menor.

Q14. As unidades de geração distribuída podem ser de alguma vantagem em uma situação de falha? Por exemplo, operando de modo autônomo durante algum problema na rede de distribuição?

A nossa legislação ainda não permite que sistema elétrico opere de maneira ilhada. Se nós tivéssemos um trecho de um alimentador, que tivesse bastante capacidade de produção, e houvesse uma interrupção, ainda não é permitido que esses consumidores sejam alimentados pelo que eles podem

produzir localmente. Por várias razões, a principal que a concessionária alega é que no momento que ela desliga o alimentador é porque ela quer fazer uma intervenção. Se ela desliga e daqui a pouco alguém vai lá e energiza o circuito, o técnico vai ser afetado com isso. A gente tem um problema, falando claro de instalações que são de propriedade da concessionária. É lógico que num condomínio, que tu vai fazer toda uma instalação interna privada, poderia fazer isso. Tu te desliga do sistema da concessionária enquanto ele está inoperante e coloca tua geração distribuída para funcionar. Mas como nós já comentamos, se for solar, eu vou ter que combinar com para faltar energia na hora que tem sol, ou na hora que tem vento. Então isso não chega a ser bem confiabilidade, eu teria que poder em qualquer momento, não só no momento que é fácil para essa tecnologia produzir. Ou teria que associar isso a sistemas de armazenamento.

Q15. Dispositivos de armazenamento de energia são geralmente usados para suavizar variações na produção de energia da GD devido à imprevisibilidade inerente e para minimizar a troca de energia da rede. Quais os impactos dos usos desses dispositivos (ambiental, técnico)?

Há uns 15 anos, seria uma ideia totalmente absurda no sistema elétrico se falar de bateria. Na verdade, eles dizem bateria nós temos nas subestações e elas são usadas para quando falta eu ficar com capacidade de acionar uma seccionadora, um disjuntor, fazer uma manobra de uma subestação. Toda subestação de energia tem um sistema em corrente contínua que é para ser usado, na verdade acionamento dos equipamentos é feito em corrente contínua e tem essas baterias, além disso tem gerador. Então aquilo é uma instalação que é feita para operar mesmo desenergizado. Quase a totalidade das subestações são assim. Agora, quando começou a viabilizar isso? Foi quando as baterias começaram a ficar mais eficientes e começou a surgir as baterias com capacidade de muitos ciclos de carga e descarga, descarga profunda. Em alta tensão já está se usando muitos desses recursos de baterias em larga escala, são vários containers e eles são usados para aumentar a margem de estabilidade no sistema. Então eles usam isso para funcionar como se fosse um gerador ou uma carga, dependendo quando tem um desligamento muito grande dá um desequilíbrio entre geração e carga e eu preciso fazer essa compensação. Essa compensação, por exemplo no caso de perder geração, dá um déficit de geração, e a geração preponderantemente é feita com máquina assíncrona, ela vai acabar perdendo velocidade. Porque eu estou tirando mais potência dela do que eu entrego no eixo, então essas máquinas têm um dispositivo que é o regulador de velocidade, que aumenta a entrega de vapor ou água para turbina e equilibra isso. Só que isso demora, imagina uma máquina hidráulica, ela demora para tomar a carga. E tem uma inércia muito grande envolvida. Com esses dispositivos, que são baseados em baterias, eu tenho a possibilidade de fazer esse ajuste rapidamente. E aí lentamente eu arrumo meus geradores e depois eu desligo bateria do sistema. Então eu evito muitos transitórios no sistema com equipamentos de grande porte desses, estrategicamente posicionados. Agora em instalações menores, o que seriam as baterias? O que se pensa sempre são os automóveis. Eles a maior parte do tempo dos veículos particulares, ele está parado. E se ele está parado ele pode funcionar para o sistema. Ele pode se carregar, como ele pode descarregar, dependendo a necessidade do sistema. Mas isso depende de muita comunicação, depende de nós termos uma frota grande. Se é que vai continuar existindo veículos particulares, porque daqui a pouco muda totalmente o modelo do negócio. Provavelmente daqui a algum tempo, o modelo não seja mais esse, seja veículos que estão na rua para aluguel, como essas bicicletas, a gente não sabe direito. Mas se houvesse uma quantidade de baterias significativa distribuída na cidade, seria muito bom para sistema elétrico, porque esse recurso eu posso escolher, entre carregar o veículo ou descarregar o veículo. Sempre que ele tiver com alguma condição de carga eu posso fazer essa escolha. E aí vamos fazer isso quando for mais conveniente. Os dispositivos de armazenamento são muito interessantes. Eles poderiam ser operados pela distribuidora ou com sinais tarifários. Poderia dizer, agora a energia está barata, porque eu tenho muita energia, aí todo mundo com um equipamento verifica o preço horário da energia, carrega. Daqui a pouco começa a ficar cara, aí eu descarrego, tipo bolsa de valores. Só que isso depende de uma mudança forte na nossa legislação, a gente implantar uma tarifa que identifique essa situação de superávit e déficit de produção. Acho que está longe ainda. Também eu preciso ter medidores que sejam capazes de identificar isso. Agora a tecnologia já está disponível, mas vai depender naturalmente de algum incentivo. A questão desse prosumidor. Do ponto de vista elétrico, eu sou a concessionária, estou enxergando esse prosumidor. Eu não sei se ele está produzindo energia. Eu sei que a injeção líquida dele no meu sistema é positiva. Naquele momento eu o enxergo como produtor. Daqui a pouco é negativa, eu o enxergo como um consumidor. Mas eu poderia ter um dispositivo de armazenamento na minha instalação que sintetizasse o mesmo comportamento. Uma hora eu consumo muito, quando a energia é muito barata, e quando a energia é cara eu vendo para a concessionária. E eu não preciso ter um gerador para fazer isso, eu posso ter um sistema de armazenamento. Eu acabaria tendo benefício nisso, porque eu compraria, por exemplo, 100 quilowatt-hora a um preço barato e depois venderia ele a um preço mais caro. Eu seria remunerado por isso, mas eu estaria fazendo um serviço para a concessionária, porque eu estou comprando quando tem excedente e estou vendendo quanto falta. Se muitas pessoas resolverem fazer isso, o que vai acontecer? Quando tiver excedente vai ter muita gente interessada em comprar, e provavelmente o preço sobe. E quando estiver em falta vai ter muita gente interessada em vender, com vários fornecedores, o preço baixa.

Alguns países já têm tarifas horárias, a gente acabou usando um sistema mais antigo, o TOU (time of use), que é uma tarifa por hora fixa. Então quem aderir a tarifa branca, naquele horário da ponta “legal”, que não é ponta de consumo no sistema, nessa ponta fixa a energia é mais cara. E aí o que acontece quando a ponta é fixa? As pessoas param de consumir naquele horário e transfere a ponta para outro lugar. A indústria para naquele momento, faz troca de turno. No fundo não resolveu nada com uma tarifa fixa desse jeito. Então eu acho que um grande entrave que tem aí na verdade para tudo isso, inclusive para essa produção fotovoltaica, ela deixaria de ser exagerada no momento que quando muita gente começar a produzir no mesmo horário, a energia fica barata. Então o consumidor automaticamente ia perder o interesse de produzir. Aquela recuperação de investimentos que ele espera para 5 anos, agora passa a ser 10, 15. Então o sistema se autorregula se a gente evoluir um pouco na questão tarifária e fizer ela um pouco mais relacionada com o que acontece no sistema. Aí essa auto regulação permitiria esses produtores independentes exercerem a liberdade deles, mas com um preço. Se todo mundo vai querer vender no mesmo horário vai ser barato. Isso incentivaria colocar armazenamento atrelado para poder entregar o superávit quando é mais valioso o produto, e necessário.

Gestão do congestionamento

Eu estou produzindo aqui na minha casa e eu estou gastando no trabalho. Eu estou produzindo no local que não tem consumo e o dia inteiro gastando energia em outro lugar. Acho que não é bem assim “na ponta”. Às vezes está no mesmo horário, mas não está no mesmo lugar. Sincronizou o horário, mas não o local.

Sobre infraestrutura

Eu acho que ainda não se tem mecanismos eficientes para que a gente possa avaliar esse impacto dessa geração. Estamos fazendo um projeto que basicamente é para a gente poder tentar quantificar os impactos da geração distribuída. A gente tem poucas medições e não sabe tudo que pode acontecer. Medições em todo o sistema elétrico é impossível, então a gente precisa ter uma metodologia para poder tentar simular isso e considerar as incertezas envolvidas. A pesquisa em nível mundial está muito focada em trabalhar com essa intermitência de fontes renováveis, em sistemas de não só de distribuição, mas de transmissão, sistema brasileiro. Isso é pesquisa, quanto eu preciso ter de reserva girante para poder suportar. Se nós não tivéssemos um sistema com tanta hidráulica, a gente ia ter que pagar muita termelétrica para poder acertar isso. A gente já paga bastante termelétrica, mas ia ter que pagar muito mais. Manter muita usina à disposição, e termelétrica que tem que manter ela aquecida, ela leva às vezes um dia para entrar em produção ou mais. Já uma hidrelétrica pode funcionar a plena carga em meia hora. Então isso é fantástico, permite a gente trabalhar com essas oscilações. Eu acho que tem muita coisa, ferramenta para desenvolver, simular a operação do sistema elétrico com essa intermitência. Vemos que tem um despreparo das concessionárias em termos de conhecimento e informação. Por exemplo, o medidor que é instalado nos consumidores, só mede os valores líquidos de consumo e de injeção. Por exemplo eu tenho que a injeção líquida de um fotovoltaico foi de 100 quilowatts-hora. Só que eu não sei quanto ele produziu. Só sei que nos momentos que ele produzia mais do que consumia, a integral disso deu 100. Só que dependendo de quanto ele estivesse consumindo, significa que ele produziu mais. A outra informação que a companhia tem é quanto que tem instalado, mais isso é uma informação de projeto, pode ser que várias tenham estragado, queimado. Então na verdade a concessionária não sabe quanto que foi produzido. Ela pode tentar comparar com o que aconteceu no passado desse consumidor, mas nesse meio tempo que ele instalou os painéis, ele pode ter construído mais, ou alguém pode ter se mudado, muita coisa pode ter acontecido. Então tem muito pouca informação, a gente não está preparado. A gente tem um problema a ser estudado, e tem que ser com um brevidade.

Entrevistado P

Há quanto tempo possuem as unidades instaladas?

É uma discussão na instituição há mais de 4 anos e se viabilizou em termos de produção em junho de 2018. A gente iniciou a produção naquele período com em torno de 228 placas, em torno de 70 kVA de produção. Esse primeiro projeto tinha o objetivo de gerar em torno de 50% dessa unidade, que é uma unidade que consumia em média 20.000 kVA/mês. A ideia era produzir algo em torno de 40, até 50%. É interessante ressaltar que 4 anos atrás, quando a gente se aproximou dos fornecedores, um dos profissionais nos trouxe que o primeiro passo deles era fazer uma análise do cenário institucional. Ele fez algumas indicações de melhorias que se poderia fazer no sentido de adequar a necessidade de consumo. A partir dali ficamos um ano e meio fazendo a retirada de todas as lâmpadas fluorescentes para lâmpadas de LED, que tem um consumo menos expressivo. Só nesse movimento, o investimento foi levado por ser 3 unidades, em torno de 100 a 120 salas de aulas e espaços. Fazer essa mudança necessitou um investimento expressivo, então a gente fez um plano para em 2 anos atingir essa totalidade. Esse movimento já trouxe para a instituição algo aproximado da necessidade de geração de energia de 15% menos do que a gente tinha quando partiu. Foi uma indicação bem interessante desse profissional que era não gerar energia acima do necessário. Então primeiro se faz a adequação do

parque, da necessidade para depois estimar a produção. E foi que a gente fez. No final de 2017 começamos o planejamento se fez a aquisição na virada do ano da primeira planta produtiva. Essa planta hoje ela já gerou algo próximo de 240.000 kVAs. Se a gente fizer um cálculo básico é de R\$ 1/kVa, então ela gerou em torno de R\$ 240.000,00 até o momento e foi uma planta que nos custou R\$ 300.000.00. Então é uma planta que caminha antes do final deste ano para compensação do seu investimento e vai passar a gerar energia nos próximos 20 anos sem a necessidade de aporte de recursos, só as manutenções básicas. A gente vai aprendendo também sobre o posicionamento das placas, onde você tem esse potencial de utilização da fonte solar. Um aprendizado ao longo desse tempo é que tem algumas especificidades, às vezes se tem uma ilusão de que um dia muito quente vai ter uma produção elevada, mas existe uma contrariedade, porque o excesso de calor afeta o processo produtivo. Esse sol muito quente pode trazer uma redução de até 5% na produção. Ao contrário de um dia em que o sol está pleno, mas a temperatura é amena, esse equilíbrio vai trazer um ápice produtivo. É legal agora porque quando a gente entrou em 2019 na discussão para a ampliação a gente já tinha mais experiência e essa foi a ideia lá na origem, não era trazer a totalidade da necessidade da instituição. Havia muitas linhas de crédito, mas a gente defendeu a ideia desse aprendizado junto com o processo, ir passo a passo. A gente discutiu, foi aprovado pela Mantenedora, pela nossa característica jurídica, no final de 2019 e em 2020 a gente trabalhou na aquisição, preparação de estrutura. No segundo semestre em função da pandemia, a gente colocou esse projeto 2 para operar. Esse projeto sim deve dar autonomia integral às 2 unidades onde eles estão instalados. A estimativa de produção do parque hoje, em torno 220 kVA de potência é de aproximadamente 270.000 kVA de energia produzida ao ano, uma média de 23.000/mês. E está adequado, nos últimos 90 dias que a gente está produzindo a pleno a gente pegou o pico produtivo, que é o período de novembro até março, ele está dentro dessa curva, está produzindo. E legal que agora a gente já tem dados de 2018, 2019, 2020 então a gente consegue mais ou menos estimar, o clima tem um pouco isso, a gente vai aprendendo. A gente teve um período em 2019 que a produção foi muito baixa em abril, ela caiu para menos da metade do que tinha sido março. Aí acendeu o alerta que poderia ser o sistema. Passamos maio estudando e buscando diálogo com o responsável pelo projeto e o volume de chuva foi a justificativa. Aí se vai entender que tem outros locais que sofreram com a mesma dificuldade. Então se vai entender que períodos chuvosos podem reduzir a produção e que esses movimentos do clima são cíclicos e vão se repetir em determinados, então a energia solar também passa a sofrer esses impactos. Nos últimos dias que teve um período de 10, 15 dias de chuvas intensas, a produção vai lá embaixo, então que tem que equacionar isso.

(Q9) A geração distribuída pode influenciar a mudança de comportamento dos consumidores? Por exemplo, alterar o consumo de energia para horas em que a capacidade de fornecimento de energia no sistema de geração distribuída é mais alta?

Eu acredito que como organização e como gestor a gente trabalha no processo de formação e é formado na busca da eficiência. Então na teoria e na prática está sempre buscando alternativas de economia, acho que esse é o principal papel do gestor. Então essa ampliação do consumo eu não conseguiria a validar, mas de certa forma com a autonomia você pode flexibilizar novos investimentos. O que a gente também tem percebido é que há uma ampliação dessa necessidade, não necessariamente uma vontade própria de consumir mais. Vou dar um exemplo da instituição, há 10 anos ela começou um movimento de climatização dos espaços. Hoje praticamente 100% dos espaços são climatizados. Hoje você não tem mais uma reunião, uma equipe trabalhando que você não tenha climatização, o que há 10, 15 anos atrás era inexistente. Então o consumo de energia lá era um, a necessidade era uma e isso vem evoluindo. Mesmo com a eficiência, não necessariamente você dá conta. Vamos pegar os computadores, projetores, a própria lâmpada... você tem os equipamentos de ar-condicionado inverter, que tem uma redução expressiva no consumo. Mas pensando em um parque ampliado, você não consegue fazer esse movimento em instantâneo, porque o investimento é maior. Se você fizer um comparativo numa lâmpada LED, você vai ter um dispêndio para atingir essa eficiência. A mesma coisa o equipamento inverter, você compra o equipamento e dependendo da potência ele é 40, 50, 70 por cento superior no valor. Então se há um parque ampliado, você precisa quase que fazer um investimento do zero naquela necessidade onde você já tem o equipamento, aí você acaba minimizando e não substituído na totalidade, porque as outras demandas vão nos pressionando. Mas eu particularmente acho que o desafio do administrador é permanente na busca por essa eficiência, então você está sempre olhando alternativas para conseguir justificar, não só a atividade, mas também essa demonstração das organizações que estão fazendo desse movimento.

Como foi o processo de instalação dos projetos?

Como eu expliquei lá atrás um desses fornecedores trabalha no processo de importação direta, então tem uma capacidade expressiva execução, essa era uma das preocupações. A gente trabalhou com 3 orçamentos para poder fazer essa aprovação na instância superior, que é a nossa Mantenedora. Também se investigou cada um deles na sua capacidade de execução do projeto como um todo. E se trabalhou efetivamente com uma questão custo, esse é o ponto principal, mas sempre fazendo aquela avaliação entre o que eu estou recebendo nesse curto mensurado e o que eu tenho em relação aos demais. A gente trabalhou aqui teoricamente com placas Canadian, que é considerada uma das referência de mercado,

inversores HB e trabalhou de certa forma nessa busca de escala conforme a gente aumentava o volume de placas para tentar melhorar a eficiência do projeto como um todo. A partir da definição desse fornecedor, no nosso caso os 2 projetos foram executados pela mesma empresa, mas em cada momento a gente fez esse contato com mercado. No processo de instalação a gente sempre trabalhou na busca de um espaço adequado para esse volume de produção de cada placa. Aqui na unidade principal a gente instalou em um telhado de ginásio e em um telhado de cobertura de área externa. Primeiro a gente fez a substituição desse telhado, que eram telhas de amianto, lá da década de 70. Isso foi um investimento anterior pensando que ele precisaria de uma durabilidade superior a 20 anos que a gente não precisasse fazer manutenção dele. Nas unidades a gente teve que construir uma estrutura metálica, daí envolveu-se terceiros, projetos, engenheiros nesta área da estrutura para criar a condição da aplicação da placa. Sempre trabalhando nesse triângulo, a gente intermediou a aquisição da matéria-prima no mercado com um terceiro que executava, com um engenheiro que era o responsável técnico e a empresa da instalação e responsabilidade das placas. De certa forma funcionou, teve dificuldade, passou-se por uma pandemia, a gente teve projetos que ficaram mais de 90 dias suspensos para preservar a instituição. Isso alongou um pouco a conclusão do projeto, mas não nos trouxe dificuldades na execução.

A redução na conta de energia elétrica atingiu as expectativas da instituição?

Sim. A gente teve em períodos aqui no projeto que a gente não conseguiu zerar a conta, quando cai a demanda de energia e a produção está alta nossa estrutura produz energia de sobra, então devolve para a concessionária. A conta não zerou aqui porque aqui é uma planta onde a gente tem demanda contratada, contratação em alta, temos transformador interno. Também gerou um aprendizado, a gente não buscou uma autonomia total ainda porque essa demanda ela vai permanecer, independente se tiver capacidade de produzir 110% da necessidade. A demanda contratada, o que a gente fez foi adequar ela. Nós tínhamos 110 kVA contratados e baixamos para 60 kVA neste último ano. Já nas unidades onde a gente concentrou o projeto 2, a gente não tem demanda contratada.

Vocês possuem dispositivos de armazenamento junto com as instalações?

Não. A gente até fez um levantamento, mas ficou um pouco elevado e aí não se viabilizou.

Quais são as expectativas da instituição frente às mudanças de legislação?

A gente acompanha e debateu algumas coisas. O primeiro ponto é que a gente tem uma capacidade de geração para consumo em um volume maior. Vamos dizer que em média 60, 70 por cento a gente consiga produzir e consumir. O outro é que essa devolução, retornando numa forma de taxa de administração ou tributação, vai na verdade aumentar o payback, mas não vai inviabilizar. Vamos imaginar que o governo taxe em 10, 15, 20 até 30%. Esse avanço do governo na nossa geração de energia vai fazer com o projeto saia de 36, 40 meses e pule para 50, 60 talvez. Mas essa foi uma decisão baseada também na possibilidade de ampliação do custo de energia, o que nesse momento não está acontecendo, ele não é o principal fator de geração do aumento da inflação, mas já foi um vilão em outros momentos e a gente não sabe o amanhã. A gente acredita por experiência. Foi um dos primeiros investimentos que a gente fez na instituição já há praticamente 8, 10 anos, que foi a instalação de um grupo gerador, exatamente para trazer esse processo de autonomia de energia para garantir a execução da atividade fim que é dar aulas. Hoje a gente trabalha nesse tripé, nós já ficamos nesta unidade 6 dias sem energia fornecida pela concessionária, trabalhando com o gerador e atendendo a nossa necessidade, atendendo nossos alunos, famílias e a própria comunidade. Então esse conceito a gente já vem mais ou menos debatendo há mais de 10 anos e esses riscos de falta ou de uma redução na entrega. É importante a gente ter clareza de que os riscos existem é um projeto que o governo pode taxar. O risco existe, mas de certa forma a gente como gestor é como defensor de determinados projetos. Se a gente fizer uma mensuração excessiva desse risco, você não aporta em um projeto desses. Não dá para a gente simplesmente parar com essa possibilidade que existe. A gente sabe, o Brasil é um país de instabilidade, a área jurídica tem várias teorias de defesa e elas acabam se concretizando em linhas distintas. Nesse sentido são riscos que a gente tem que aprender a lidar.