

VIVIANE TAVARES NASCIMENTO

**ESTRUTURAÇÃO ESTRATÉGICA DA VIABILIDADE
SOCIAL, TÉCNICA E DE MERCADO PARA A
TRANSITABILIDADE DE BESS VOLTADO AO
CRESCIMENTO DE GERADORES DISTRIBUÍDOS E
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA**

São Paulo
2023

VIVIANE TAVARES NASCIMENTO

**ESTRUTURAÇÃO ESTRATÉGICA DA VIABILIDADE
SOCIAL, TÉCNICA E DE MERCADO PARA A
TRANSITABILIDADE DE BESS VOLTADO AO
CRESCIMENTO DE GERADORES DISTRIBUÍDOS E
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da Uni-
versidade de São Paulo para obtenção do Tí-
tulo de Doutora em Ciências.

São Paulo
2023

VIVIANE TAVARES NASCIMENTO

**ESTRUTURAÇÃO ESTRATÉGICA DA
VIABILIDADE SOCIAL, TÉCNICA E DE
MERCADO PARA A TRANSITABILIDADE DE
BESS VOLTADO AO CRESCIMENTO DE
GERADORES DISTRIBUÍDOS E TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA**

Versão Corrigida

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração:

Sistemas de Potência

Orientador:

Prof. Dr. André L. Veiga Gimenes

São Paulo
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Nascimento, Viviane

Estruturação estratégica da viabilidade social, técnica e de mercado para a transitabilidade de BESS voltado ao crescimento de geradores distribuídos e transição energética / V. Nascimento -- versão corr. -- São Paulo, 2023.
284 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Sistema de Armazenamento de Energia por Baterias 2.Transição Energética 3.Acessibilidade de tecnologias 4.Viabilidade 5.Serviços baseados em energia elétrica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

Para aquela que chegou nesse período, minha sobrinha Laura Tavares Nascimento, e para aquela que nos deixou, minha avó Marizete Batista do Nascimento, obrigada pelas memórias.

AGRADECIMENTOS

O primeiro obrigada vai para o meu orientador, André L. Veiga Gimenes, que apoiou e ajudou no período desse trabalho. Um obrigada especial para o professor Miguel E. Udaeta Morales por todas as conversas, orientações, aprendizado e "skypes" no período de construção do trabalho e da minha vida profissional.

Também especial, agradeço a Neide Albertini pela amizade e ajuda nas diversas etapas de desenvolvimento da tese e de trabalhos. Sempre com um sorriso lindo no rosto e com uma paciência gigante, você me ajudou demais em todo o período do doutorado. Um obrigada cheio de carinho!

Agradeço a toda a equipe GEPEA (Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas), que atuou com dedicação e capacidade em todas as tarefas em que são envolvidos. Um agradecimento especial para Julio Romel Martinez-Bolaños pela excelência no trabalho e amizade.

Obrigada ao amigo de sempre Felipe Madureira Carneiro: nunca esqueça que você ocupa um latifúndio no meu coração!

Não menos importante, agradeço à minha família, minha mãe, Lucia Tavares Nascimento, e meu pai, José Carlos do Nascimento por toda o apoio durante a etapa da pós-graduação. Obrigada por ensinarem valores tão preciosos e dar riquezas tão valiosas para a alma e para a vida. Também um obrigada para a minha amada irmã Sheila Tavares Nascimento, minha companheira na vida e amiga eterna, que sempre me incentiva a seguir em frente.

Há várias pessoas que esqueci de mencionar, mas especialmente para aquelas que a pandemia me fez reencontrar: obrigada pela ajuda durante um período tão cansativo e negativo.

"Foi o melhor e o pior dos tempos, a idade da sabedoria e a da insensatez, a era da fé e a da incredulidade, o Século das Luzes e a Estação das Trevas, a primavera da esperança e o inverno do desespero. Tínhamos tudo e nada tínhamos, íamos todos diretamente para o Céu, ou íamos em direção diametralmente oposta - em suma, aquele período era de tal modo semelhante ao atual que algumas das suas autoridades mais estridentes insistiam em falar dele no grau superlativo: de superioridade ou de inferioridade."

-[DICKENS, 2022]- Autor

RESUMO

Essa tese tem como principal objetivo propor meios estratégicos sob os vieses sociotécnico e de mercado para viabilizar o *Battery Energy Storage System* (BESS) como potencial recurso energético para fornecimento de serviços baseados em energia elétrica para consumidores brasileiros que se beneficiam da variação de custo da tarifa durante períodos estabelecidos. O objetivo auxilia na construção de ferramentas focadas no direcionamento tático e no planejamento da viabilização da tecnologia, mapeando os pontos fortes e as oportunidades do BESS para o setor elétrico nacional. A tese propõe como estratégia a implantação voltada para consumidores adeptos de esquemas tarifários com custos diferentes de acordo com o período, direcionando o BESS como solução que proporciona vantagens financeiras e com reduzido impacto ambiental em comparação com a fonte mais comum no setor elétrico, o Gerador Diesel. A definição da substituição de uma fonte conhecida permite direcionar a avaliação do mercado e diretrizes de planejamento estratégico voltadas à criação de ferramentas de gerenciamento voltadas para esse fim. Essas ferramentas auxiliam no gerenciamento e na definição de serviços que viabilizem a substituição de uma fonte por outra. Com a finalidade de avaliar a eficiência operacional do BESS e a qualidade dos serviços oferecidos, a implantação do sistema para um consumidor real é efetuada, definindo modos para avaliação da demanda local e especificidades de funcionamento, apontando serviços mais adequados e a caracterização da infraestrutura requerida. A análise da eficiência aponta que os serviços propostos são satisfeitos, permitindo a redução de custos durante o horário de energia mais cara e assegurando o fornecimento de energia elétrica para o local determinado.

Palavras-Chave – Sistema de Armazenamento de Energia por Baterias, Transição Energética; Acessibilidade de tecnologias; Viabilidade; Serviços baseados em energia elétrica.

ABSTRACT

This thesis has as its main objective to propose strategic means under the socio-technical and market biases to enable the *Battery Energy Storage System* (BESS) as a potential energy source for supplying services based on electric energy for Brazilian consumers that benefit from the fare cost variation during set periods. The objective assists in the construction of tools focused on the tactical direction and planning of the feasibility of the technology, mapping the strengths and opportunities of the BESS for the national electricity sector. The thesis proposes as strategy the implementation directed to consumers adept of tariff schemes with different costs according to the period, directing the BESS as a solution that provides financial advantages and with reduced environmental impact compared to the most common source in the electric sector, the Diesel Generator. The definition of the substitution of a known source allows directing the market evaluation and strategic planning guidelines aimed at the creation of management tools for this purpose. These tools assist in the management and definition of services that enable the replacement of a source by another. In order to evaluate the operational efficiency of BESS and the quality of services offered, the implementation of the system for a real customer is carried out, defining ways to evaluate the local demand and operation specificities, pointing out more appropriate services and the characterization of the required infrastructure. The efficiency analysis points out that the services proposed for the customer are satisfied, allowing cost reduction during the most expensive energy hours and ensuring the supply of electricity to the determined location.

Keywords – Battery Energy Storage Systems; Energy Transition; Accessibility of technologies; Feasibility; Electricity-based services.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AESO Alberta Electric System Operator

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CAG Controle Automático de Geração

CAISO California ISO

CERP Comissão de Energia de Porto Rico

CHP Combined Heat and Power

CIDE Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico

COFINS Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CUSD Contrato de Uso do Sistema de Distribuição

CVPC Computo e Valoração dos Potenciais Completos

DARD Dispatchable Asset Related Demand

DIC Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

DoD Profundidade de Descarga, (*Depth of Charge*)

DSIC Distribution System Improvement Legislation

EPE Empresa de Pesquisa Energética

EPRI Electric Power Research Institute

EPRO Electric Power Research Institute

ERCOT Electric Reliability Council of Texas

ESA Energy Storage Association

EUROBAT Association of European Automotive and Industrial Battery Manufacturers

FERC Federal Energy Regulatory Commission

FIC Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

ICMS Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação

IECPA Industrial Energy Consumers of Pennsylvania

IESO Independent Electric System Operator

IPCA Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPI Impostos sobre Produtos Industrializados

ISO Independent System Operator

ISO-NE ISO New England

LED *Light Emitting Diode*

MERCOSUL Mercado Comum do Sul

MLP Perspectiva de Multiníveis, *Multilevel Perspective*

MMC Método Monte Carlo

MISO Midcontinent ISO

MTBF Tempo Médio Entre Falhas, em inglês *Mean Time Between Failure*

MTTF Tempo Médio de Falha, em inglês *Mean Time to Failure*

MTTR Tempo Médio de Reparo, em inglês *Mean Time to Repair*

MUSD Montantes de Uso do Sistema de Distribuição

MUST Montante de Uso a Contratar

NCM Nomenclatura Comum do Mercosul

NYISO New York ISO

Ofgem Office of Gas and Electricity Markets

ONG Organizações Não-Governamental

PEE Ponto de Equilíbrio Econômico

PERS Programa de Energia Renovável Social

PETROBRAS Petróleo Brasileiro Sociedade Anônima

PIB Produto Interno Bruto

PIS Programa de Interação Social

PRODIST Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PROINFA Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RTO Regional Transmission Organization

SCEE Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SISCOMEX Sistema Integrado de Comércio Exterior

SLA *Service Level Agreement*, Nível de Serviço

SoC *State of Charge*, Estado da Carga

SWOT *Strengths, Weakness, Opportunities, Threats*

TE Tarifa de Energia

TFSEE Taxa de Fiscalização dos Serviços de Energia Elétrica

TIPI Tabela de Incidência do IPI

TIR Taxa Interna de Retorno

ToU Tempo de Uso, *Time of Use*

TUSD Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

VPL Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	3
1.2	Metodologia	3
1.3	Organização	5
2	Estado da Arte	7
2.1	Transição Energética	8
2.1.1	Justiça energética e cenários de transição	17
2.1.2	Aspectos voltados à análise social para novos processos e tecnologias	25
2.2	Considerações para aspectos de viabilidade de tecnologias para Geradores Distribuídos	31
2.2.1	Aspectos Técnicos para sistemas de armazenamento	38
2.2.1.1	Baterias de chumbo-ácido (Pb-ácido)	41
2.2.1.2	Baterias Níquel-Cádmio	46
2.2.1.3	Baterias de níquel-hidretos metálicos	48
2.2.1.4	Bateria íon-lítio	49
2.2.1.5	Bateria de sódio-enxofre	52
2.2.1.6	Baterias de Lítio-Polímero	53
2.2.1.7	Baterias de fluxo regenerativas	54
2.2.1.8	Baterias de Bromo-Zinco	55
2.2.1.9	Baterias de Polissulfeto de Bromo	56
2.2.1.10	Baterias Redox de Vanádio	56
2.2.1.11	Bateria Redox híbrida de Ferro	58
2.2.2	Serviços fornecidos por sistemas de armazenamento	58

2.2.2.1	Arbitragem de Energia (<i>Electric Energy Time-shift</i>	60
2.2.2.2	(<i>Peak-shaving</i>)	61
2.2.2.3	Serviços ancilares	61
2.2.3	Expedientes para Viabilizar o BESS no setor elétrico	65
2.3	Considerações sobre o Capítulo	83
3	Análise de acessibilidade para a implantação do BESS	85
3.1	<i>Roadmap</i> para implantação de BESS no setor elétrico	86
3.1.1	Identificação de barreiras e oportunidades	87
3.1.2	<i>Roadmap</i> de Planejamento Estratégico para o BESS	96
3.1.3	Análise da Confiabilidade para viabilizar BESS	103
3.2	Considerações sobre o Capítulo	110
4	Análise da Regulação para viabilizar BESS	113
4.1	Regulação Estadunidense para Sistemas de Armazenamento de Energia	115
4.2	Estudos da Regulação Brasileira	125
4.3	Apresentação de parâmetros passíveis de regulação para BESS	137
4.4	Considerações sobre o Capítulo	144
5	Modelos de negócio para viabilidade de BESS e continuidade do negócio	146
5.1	Aspectos considerados para um modelo de negócios	146
5.1.1	Ambiente de Armazenamento de Energia Elétrica	151
5.1.1.1	Para quem desenvolver a solução - Cliente	155
5.1.1.2	Quanto custa o serviço e acesso à infraestrutura necessária	156
5.1.1.3	Como agregar interessados e implementar a solução	159
5.1.1.4	Proposta de valor para o BESS	161
5.2	Avaliação de <i>Benchmarking</i>	163
5.2.1	Viés Tecnológico	167

5.2.2	Viés econômico e político	172
5.2.3	Análise e definição das métricas	177
5.2.4	Plano de Ação para Entrada de BESS no país	188
5.3	Considerações sobre o capítulo	189
6	Aspectos sociotécnicos para viabilizar o BESS	190
6.1	Aspectos para viabilizar o BESS e novos papéis	191
6.2	Avaliação de aspectos ambientais e sociais relativos ao BESS	206
6.3	Considerações sobre o Capítulo	211
7	Cenário de Transição para o Brasil - Estudo de Caso	213
7.1	Definições para a Implantação do BESS em consumidor real	214
7.1.1	Análise da demanda e infraestrutura	216
7.1.2	Estudo de viabilidade econômica para BESS	222
7.1.2.1	Dados para análise da viabilidade econômica	223
7.1.2.2	Viabilidade para cenários possíveis para um consumidor comercial	231
7.2	Resultados pós-implantação	247
7.2.1	Análise do sistema pós-implantação	248
7.2.2	Infraestrutura pós-implantação	250
7.2.3	Análise da qualidade no fornecimento dos serviços propostos	252
7.2.3.1	Análise dos serviços fornecidos pelo sistema pós-implantação	257
7.2.3.2	Energia de Backup	260
7.3	Análise sociotécnica dos resultados obtidos	261
7.4	Considerações sobre o capítulo	265
8	Conclusão	268
8.1	Conclusão	268

8.2	Contribuições	272
8.3	Trabalhos Futuros	273
	Referências Bibliográficas	275
	Referências Bibliográficas	275

1 INTRODUÇÃO

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estipulou 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável [SUSTAINABLE... , 2018]. Com o foco em reduzir a pobreza e proteger o meio-ambiente, a organização determina um plano de ação em áreas consideradas cruciais, como bem-estar, problemas de gênero e indústria, inovação e infraestrutura [SUSTAINABLE... , 2018]. Um dos objetivos delimitados pela organização é o acesso às fontes de energia limpas de forma confiável e sustentável.

Como pontos de atenção desse objetivo, a ONU determina a diversificação da matriz energética, a ampliação da eficiência energética, acesso à serviços confiáveis e com custo acessível, e cooperação para o desenvolvimento de tecnologias que possam promover o acesso a fontes limpas e seguras [SUSTAINABLE... , 2018]. Ainda como objetivo, a organização também determina a modernização da tecnologia, por meio de programas de apoio, especialmente para países considerados em desenvolvimento [SUSTAINABLE... , 2018].

Com o suporte de acordos internacionais focados na mitigação de efeitos das mudanças climáticas, como o Acordo do Clima de Paris - assinado em 2015 e que determina ações e limites para os países, visando a redução de emissão de gases do efeito estufa e o limite do aumento da temperatura global [NATIONS, 2015] - os objetivos dão suporte à iniciativas de aumentar a penetração de fontes renováveis de geração de energia e o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias que facilitem a adesão por essas fontes. Ainda que o assunto gere mais debates quanto à viabilidade e a responsabilidade de países em desenvolvimento e países tidos como desenvolvidos, a adesão à acordos e o amadurecimento de metas com foco na redução de impactos ambientais destaca a importância da transição energética para os próximos anos.

Há diferentes fases de transição energética, estimulada por desenvolvimento tecnológico que possibilitaram a substituição de uma determinada fonte por outra [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993]. A atual transição energética é marcada pela substituição de fontes geradoras por combustíveis fósseis por outras com reduzido impacto ambiental e maior aceitação social. Em consideração com os avanços em fontes renováveis de energia, ampliando a eficiência e o acesso, a penetração de fontes com reduzido impacto ambiental cresce no mundo, com destaque

para fontes eólicas e solares.

A crescente capacidade instalada dessas fontes depara com obstáculos relacionados à intermitência, fenômeno natural, e que dificulta que a geração encontre a demanda. A exigência por uma tecnologia que facilita a instalação dessas fontes é satisfeita com a maturidade tecnológica dos sistemas de armazenamento de energia, com destaque para o armazenamento por meio de baterias, do inglês *Battery Energy Storage System* (BESS). O desenvolvimento desse sistema reduziu problemas de armazenamento e ampliou a vida útil, oportunizando a sua instalação e escalabilidade.

A operação específica desses sistemas, que permite o armazenamento de energia para utilização conforme a demanda de seu operador, corrobora uma situação já validada pelo crescimento dos Geradores Distribuídos. Ainda que o aumento de Geradores Distribuídos seja considerado como uma vantagem significativa nos anos futuros, para o setor elétrico, ampliar a quantidade desses geradores implica na definição de uma nova configuração da rede, com novos papéis e responsabilidades para os atores.

Para aqueles que empregarão o BESS como opção para atender a demanda durante o com foco na redução de custos e sob o viés da distribuição, as condições específicas de operação implicam em maior participação no setor, com vistas a ampliar o acesso à tecnologia. O caráter de aumentar a participação de geradores e ampliar vantagens sociais e econômicas para esses atores permite classificar o BESS como um sistema sociotécnico, com vistas a assegurar a transição energética. Assim, a análise da implantação do BESS engloba mais fatores do que somente os técnicos e o estudo de ferramentas que viabilizem a tecnologia para o Brasil.

Dado o estágio atual da implantação do BESS no Brasil, o direcionamento e gerenciamento da tecnologia pode contribuir para a escalabilidade, reduzindo barreiras e estabelecendo oportunidades. Essa tese tem como objetivo principal propor a viabilização estratégica de um BESS para consumidores brasileiros sob os vieses sociotécnico e de mercado. Para isso, é apresentada a análise de diferentes perspectivas que permitam determinar uma estratégia que direciona o acesso à tecnologia, identificando barreiras e apontando parâmetros que viabilizem oportunidades sob o viés dos Geradores Distribuídos.

É possível prever que a troca do Gerador a Diesel como fonte alternativa de energia durante o horário de ponta será feita por uma tecnologia que apresente, em curto prazo, vantagens de custo e de aceitação para esses usuários: dessa forma, fatores não diretamente quantificáveis podem influenciar na decisão desse grupo. Dessa forma, a tecnologia imediata deve assegurar a continuidade dos negócios, permitindo o acesso à serviços de energia elétrica de maneira mais acessível, mas ainda com qualidade, assegurando o desenvolvimento social e redução de

impactos ambientais.

1.1 Objetivos

O objetivo principal é analisar estratégias sociotécnicas e de mercado voltada à construção de modos viáveis para o acesso ao BESS para consumidores brasileiros que se beneficiam de tarifas com valor variável durante o dia. Para atingir esse propósito, os objetivos secundários para essa tese são:

- estudos de viabilidade técnica e econômica para condições operativas de BESS voltado para o setor elétrico brasileiro;
- desenvolvimento de ferramentas gerenciais e de análise de mercado com viés de viabilidade econômica;
- análise de condições de viés regulatório para a implantação de tecnologias de armazenamento;
- estudo de aspectos sociotécnicos que viabilizem a participação de consumidores como operadores de BESS;
- estudo de caso em consumidor real.

1.2 Metodologia

Uma pesquisa do tipo quantitativa é definida como aquela que pretende medir os resultados pode não possibilitar uma compreensão de toda a complexidade de novas tecnologias para um cenário de transição energética; a pesquisa do tipo qualitativa, por sua vez, permite avaliar os fenômenos no tempo, local e mudanças sociais e culturais. Para analisar um processo de mudança além da capacidade, mas incluir a avaliação da passagem de estados, a junção de uma pesquisa quantitativa e qualitativa é necessária [MARCONI; LAKATOS, 2017]. Assim, essa pesquisa pode ser classificada como qualitativa, dado o seu foco principal de avaliar e propor meios para a inserção de BESS no Brasil como uma tecnologia que acarreta mudanças significativas na configuração do setor elétrico, e também quantitativa por levantar métodos que permitem medir e redirecionar as decisões tomadas.

Para esse tipo de pesquisa, a proposta dessa implantação permite avaliar características mais complexas e que se referem ao processo de tomada de decisão de indivíduos, definindo

o BESS como uma tecnologia de viés sociotécnico. Com o objetivo de definir meios que viabilizem o BESS para consumidores brasileiros, as diversas variáveis referentes e necessárias no setor elétrico auxiliam na determinação de parâmetros técnicos que permitam a entrada de uma tecnologia que possibilite a substituição de uma fonte com maiores impactos negativos ao meio ambiente por outra com menor emissão de carbono. Como fator simultâneo, as possíveis mudanças culturais relativas à entrada de uma tecnologia também são passíveis de análise e mapeamento, implicando em parâmetros relativos à aceitação social e planejamento estratégico do setor elétrico. Dados esses motivos, a pesquisa em questão é classificada como sociotécnica.

Para estruturar a hipótese de que o BESS é uma tecnologia de caráter além do técnico, referências e trabalhos previamente publicados permitiram a apreensão de métodos que viabilizem a entrada de uma tecnologia pelos vieses propostos, auxiliando na medição da aceitação de um novo sistema para Geradores Distribuídos. Essas referências estabeleceram requisitos que necessários para estudo e avaliação da entrada de uma tecnologia, incluindo quais os pontos sob os vieses técnico, com a finalidade de manter a segurança no fornecimento de energia, e culturais, aqueles que confirmam os níveis de segurança e acessibilidade.

Esses vieses auxiliaram na construção de ferramentas e definições necessárias para ampliar o acesso ao BESS para o consumidor localizado no Brasil, fortalecendo a penetração de fontes renováveis de energia elétrica e contribuindo para a definição de um novo cenário de transição energética. A partir da definição da tecnologia e da compreensão do grau de interesse de atores internos, são definidos caminhos gerenciáveis para a implantação do BESS voltados a atender expectativas do setor elétrico nacional quanto à redução de custos, acesso ao sistema e continuidade de negócios. A implantação em caso real comprovou a efetividade de fornecimento de serviços para Geradores Distribuídos baseados na operação de sistemas de armazenamento de energia com o foco na continuidade dos negócios e ampliação da aceitação social.

Como hipótese é estipulada que o emprego de ferramentas e análises voltadas ao planejamento estratégico sob o direcionamento de vieses sociotécnico e de mercado viabilizem o BESS para o setor elétrico brasileiro. Como benefícios para o setor, os consumidores poderão se beneficiar da redução de custos, focada na continuidade de negócios, e o fornecimento de serviços baseados em energia elétrica com menor impacto ambiental e melhores índices de aceitação social, em comparação com os Geradores Diesel.

1.3 Organização

Essa tese está organizada em oito capítulos. O Capítulo 2 estrutura os conceitos e trabalhos prévios relacionados ao Estado da Arte. Este capítulo estrutura estudos sobre a transição energética e sistemas de armazenamento de energia, especialmente confrontando motivações para a mudança ou diversificação da matriz energética, teoria de grupos, regulação e mecanismos de participação social.

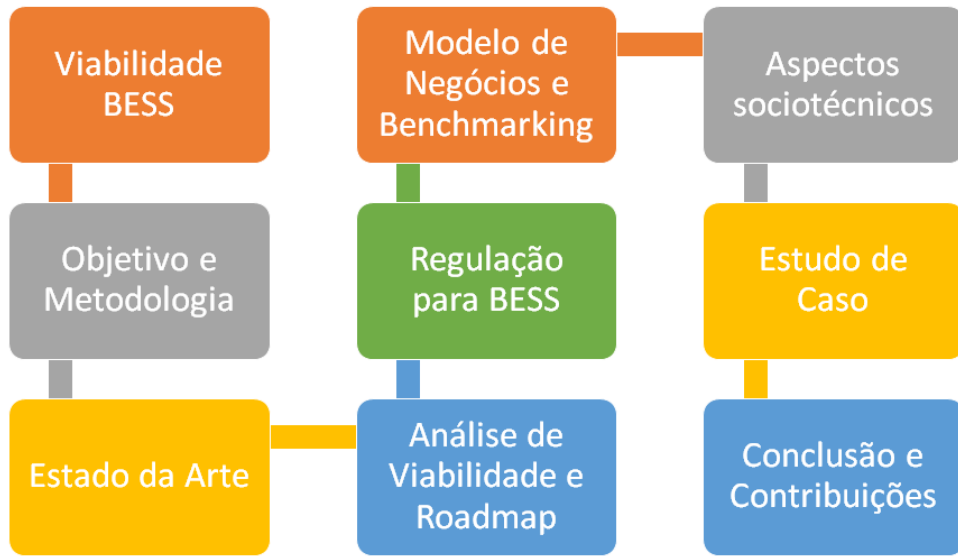
O Capítulo 3 apresenta os estudos iniciais de viabilidade para a implantação do BESS para o cenário brasileiro. Nesse capítulo são apresentados o mapeamento para a implantação de um sistema de armazenamento para um Gerador Distribuído real, a partir da delimitação de barreiras e oportunidades para o cenário atual, e uma análise de confiabilidade. O Capítulo 4 apresenta um panorama da regulação para sistemas de armazenamento de energia, e o estado da regulação brasileira para a geração distribuída e mini e microgeração, acrescentando pontos de atenção e futura definição para a regulação futura.

O Capítulo 5 apresenta pontos relacionados ao setor elétrico nacional, referentes à aspectos mercadológicos e planejamento estratégico do setor. O capítulo 6 avalia questões relacionadas à aceitação social de sistemas de armazenamento de energia, incluindo a participação ativa e parâmetros relacionados à redução de impactos ambientais. Esse capítulo finaliza com uma avaliação sociotécnica para o BESS, voltada à viabilidade do sistema sob a ótica de acesso da comunidade e impactos sociais e ambientais.

As análises técnicas para a implantação do BESS para um consumidor real são apresentadas no Capítulo 7. Para esse capítulo, são apresentados resultados de definição de nicho de potenciais consumidores, análise de viabilidade econômica, e estudo de demandas e consumo de um consumidor real pré-implantação, a infraestrutura instalada no local e, por fim, os dados relacionados ao fornecimento de serviços para esse consumidor que permitam atingir o objetivo dentro do foco de negócios. Por fim, o capítulo 8 contém os próximos passos da presente pesquisa, os resultados do período e a conclusão.

A Figura 1 ilustra a organização da tese por macrotemas e sequência de capítulos. Cada bloco a partir do segundo corresponde à um capítulo da tese e seu respectivo assunto.

Figura 1: Diagrama de Bloco referente aos macrotemas da tese



Fonte: elaborada pela autora

2 ESTADO DA ARTE

A transição significa a mudança de um estado ou condição para um novo, determinando uma reorganização dos processos para os envolvidos. Ainda que essa mudança possa estar ligada às questões tecnológicas, ela pode ser relacionada às inovações em processos e metodologias. A transição energética pode ser definida como um processo de mudança tecnológica, em que uma fonte de geração é substituída por outra que atenda critérios técnicos e sociais vigentes para o período. Assim, a transição não se caracteriza pela supressão de uma fonte, mas pelo surgimento e maturidade tecnológica de uma nova fonte.

O processo atual de transição energética é caracterizado pela redução no emprego de fontes de geração por meio de combustíveis fósseis por outras, com menor impacto ambiental. O crescimento da capacidade para fontes nomeadas renováveis, como a solar e a eólica, é constante nos últimos anos, mas a adversidade dessas fontes encontrarem a demanda criam uma barreira para sua ampla penetração no setor elétrico. Uma tecnologia que permita reduzir esse problema e consolidar esse cenário emerge, portanto, e consolida a transição energética voltada para a descarbonização do setor elétrico.

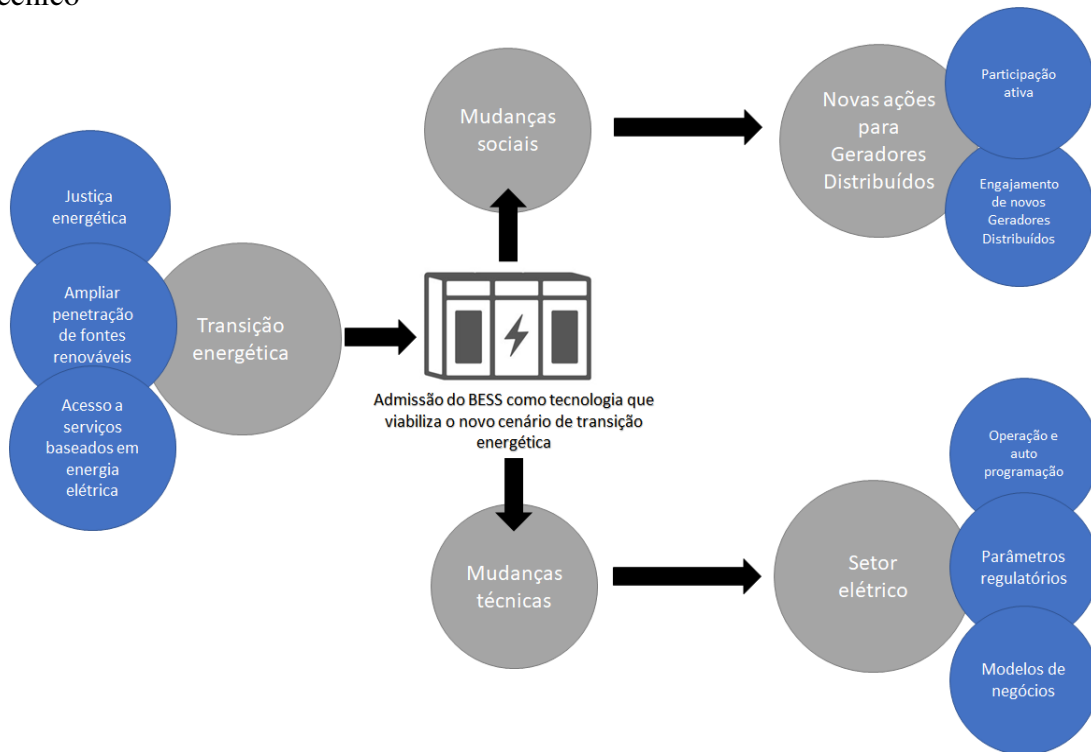
Dada a sua maturidade tecnológica, o BESS é tido como a tecnologia que viabiliza esse cenário. Particularidades referentes à sua operação e gerenciamento implicam em mudanças profundas no setor elétrico, como todo processo de mudança tecnológica intensa causa. Para apresentar os conceitos relacionados à transição e às mudanças que a implantação do BESS pode trazer ao setor elétrico, esse capítulo tem como objetivos:

- apresentar o conceito de transição energética e transição sociotécnica.
- Descrever o funcionamento de grupos e práticas de participação de grupos compostos por indivíduos em setores de interesse público.
- Evidenciar pontos concernentes ao desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia e sua entrada no setor elétrico.

Como forma de resumir os temas estudados para a construção desta tese, a Figura 2 apre-

senta de forma visual os conceitos e assuntos pertinentes ao tema de viabilização do BESS.

Figura 2: Estrutura das referências para a construção de viabilidade para o BESS sob viés sociotécnico



Fonte: elaborada pela autora

Para essa tese, a empresa distribuidora, agência reguladora e governo, Geradores Distribuídos, e consumidores finais são referenciados como atores, com diferentes graus de agência dentro do setor. O local onde o sistema será implantado atua como um Gerador Distribuído, de acordo com regras vigentes, e, por simplificação, esse ator será nomeado como consumidor.

2.1 Transição Energética

Estudos que permitem determinar a importância da energia na economia são recentes [MARTINEZ-ALIER; SCHLÜPMANN, 1991]. Questionamentos relacionados ao uso ou não de combustíveis fósseis compõem a sociedade a determinar valores ao estoque mundial dos recursos esgotáveis frente à uma possível demanda gradual de esgotamento, como se a demanda futura desses recursos pudesse ser medida com segurança atualmente [MARTINEZ-ALIER; SCHLÜPMANN, 1991]. Dessa maneira, ao supor um futuro de crescimento econômico e manutenção da sociedade, argumenta-se que o seguro é reduzir ao máximo o consumo de tais recursos, assegurando, portanto, a continuidade da vida [MARTINEZ-ALIER; SCHLÜPMANN, 1991]. Ao considerar

o cenário de desconhecimento das demandas futuras e suas preferências, implica-se na simplificação de como as próximas gerações irão utilizar esses recursos, ignorando, portanto, que a utilização de recursos energéticos depende de questões sociais, econômicas e ambientais acerca da produção e consumo [MARTINEZ-ALIER; SCHLÜPMANN, 1991].

O uso das fontes energéticas atuais implica em impactos ao meio-ambiente que terão consequências para as próximas gerações e que não são consideradas na sua contabilização futura [MARTINEZ-ALIER; SCHLÜPMANN, 1991]. A utilização de uma fonte energética em determinado período é marcada pela disponibilidade (elasticidade do recurso) apoiada às estratégias para seu manejo, criando uma dinâmica própria [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993]. Essa dinâmica é marcada por esforços na resolução dos problemas energéticos, aplicando alternativas técnicas e sociais possíveis e aceitáveis [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993].

Hémery, Debeir e Deléage [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993] citam que a saturação de recursos explorados causa uma crise no seu fornecimento e, conseqüentemente, a busca por novos recursos naturais que possam ser empregados para fins energéticos. A matriz energética mundial, para fontes primárias, ainda é composta majoritariamente por petróleo e carvão, ultrapassando 50% das fontes energéticas [AGENCY, 2018]. As crises do petróleo nos anos 70 são citadas como aquelas que desestruturaram as sociedades industrializadas, desestabilizando a indústria americana e causando repercussões nos países ocidentais [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993]. Essa crise não foi a única ou última associada ao petróleo: crises políticas e econômicas, especialmente em países em fase de industrialização, motivaram crises do recurso no período do final do século XX e começo do XXI. Esse fato nos mostra que o mundo ainda é vulnerável à disponibilidade do petróleo, não apenas quanto ao fornecimento, mas também às instabilidades dos países fornecedores e crises de preços [HAMILTON, 2011],[MADUREIRA, 2014].

Essas crises não implicaram em rupturas na demanda do petróleo como fonte primária de energia, visto que seu consumo ainda é superior às demais fontes [AGENCY, 2018] e não há perspectivas na redução da exploração do recurso [LOMBORG, 2003]. As crises, no entanto, estimulam questionamentos quanto à dependência do petróleo, avaliando as opções políticas e econômicas para diversificar as matrizes energéticas dos países industrializados [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993]. Não é um consenso que os recursos não renováveis, especialmente o petróleo, estejam acabando, tampouco que sua demanda seja tão alta - e em crescimento - que o seu consumo se torna insustentável [LOMBORG, 2003]. Eficiência e disponibilidade, aliados às novas técnicas de exploração obrigam a reconsiderar afirmações quanto ao uso sustentável do recurso, acrescido ao fato que o baixo preço dessa fonte em relação às demais ainda tornam o petróleo uma fonte energética rentável, sob perspectivas econômicas [LOMBORG, 2003].

As crises não causaram rupturas no consumo e exploração do petróleo, uma vez que a participação do recurso ainda é grande na matriz energética mundial. O alto consumo do petróleo incentiva a busca por novos locais de exploração e inovações técnicas para sua extração do petróleo, contradizendo teorias sobre o fim de combustíveis fósseis [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993],[LOMBORG, 2003]. A mesma realidade ainda vale para outras fontes não renováveis, como o caso do carvão que ainda é fonte primária de geração em diversos países e também possui participação de destaque na matriz energética mundial [AGENCY, 2018], mas as controversas políticas exploratórias - dominação política, financeira e comercial no processo de exploração e venda do petróleo, incluindo relação assimétrica de poder com países menos industrializados [HAMILTON, 2011],[DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993] - instituem o uso do petróleo como fonte energética passível de substituição.

A alta exploração do petróleo impõe dúvidas quanto à expectativa de que o fim do recurso estaria próximo: países industrializados e empresas exploradoras não despenderiam esforços em busca de um recurso em vias de acabar. Lomborg [LOMBORG, 2003] discute a dependência mundial de energia, mas apresenta dados que relacionam a não finitude breve do petróleo, ao contrário da perspectiva mundial. Ao considerar, portanto, um cenário em que o petróleo não irá findar tão brevemente, é questionável qual a ruptura causada pelas crises do petróleo, tão propagadas como o ponto de mudança para a sociedade e a importância da geração de energia empregando fontes renováveis.

As crises do petróleo, independentemente da sua causa, trouxeram questionamentos quanto à instabilidade política e econômica no fornecimento do recurso. Hamilton [HAMILTON, 2011] ao abordar as crises do petróleo apresenta o contexto histórico para que elas eclodissem e qual o resultado, político e econômico, gerado por elas. Em uma tentativa de generalizar as causas, preços e instabilidades políticas regionais geraram as citadas crises, aliadas à uma demanda crescente que pressiona a exploração do petróleo. No entanto, seus efeitos tendem a ser duradouros, especialmente aqueles na relação oferta e demanda. Aliado a questionamentos quanto a validade da exploração e suas consequências nos países explorados [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993], pode-se citar que a procura por alternativas ao uso do petróleo são balizadas por parâmetros sociais e ambientais. Desta maneira, fontes de geração de energia que sejam mais baratas e com menor impacto no meio ambiente, garantam a sustentabilidade do fornecimento, proporcionem relações comerciais menos assimétricas e a inclusão de um contingente sem acesso à energia elétrica [BANK, 2017],[LOMBORG, 2003] são parâmetros ponderados para as novas fontes energéticas.

A transição energética deve se referir à tomada de consciência sobre o atual modelo de produção, consumo e reaproveitamento da matéria e energia e qual a sua influência nas mudanças

climáticas, e deve levar à ponderação de aspectos sobre a origem e a eficiência energética de toda a cadeia de produtos e serviços prestados e oferecidos pelas instituições. Portanto, a transição energética englobaria não só a geração e consumo de energia de baixo carbono, como também a forma como otimizamos a utilização de bens e serviços, motivando mudanças na estrutura social, econômica, política e cultural. Dessa forma, a transição produziria mudanças mais significativas para a sociedade do que somente a discussão da substituição de um recurso energético por outro [SAREEN; HAARSTAD, 2018].

Ao considerar os questionamentos quanto à viabilidade da transição, a geração de energia por fontes renováveis é estabelecida como desejada, e é definida como uma mudança na matriz energética para um determinado intervalo de tempo; essa mudança não implica, obrigatoriamente, na inclusão de mais fontes de geração renováveis. Hémery, Debeir e Deléage [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993] apresentam que não há fatalidade ou ruptura que provoque mudanças desmedidas na sociedade a ponto de causar uma busca por novas fontes energéticas dadas que fontes primárias são elásticas. Os autores expõem que, sob um contexto histórico, as mudanças energéticas são incentivadas dada uma relação entre a infraestrutura geradora e as diferentes fontes existentes. Assim, quando os conversores, sob uma perspectiva de inovação e novas tecnologias, se tornam a base para uma nova fonte geradora, um novo sistema energético pode ser estabelecido [DEBEIR; DELÉAGE; HÉMERY, 1993]. Esse ponto, portanto, passa a ser a convergência necessária para que sistemas de armazenamento estacionário, notadamente as baterias, possam possibilitar a integração de fontes energéticas renováveis no sistema elétrico.

O fenômeno de transição, independente de qual seja o objetivo, implica em mudanças de tecnologia ou inovação no processo quem causem mudanças duradouras. A transição energética é um evento que engloba inovações tecnológicas, representada pela substituição ou melhoria de um sistema conhecido ou de um processo em que outra para um nicho - nível ou área de experimentação - por outra tecnologia definida [SORRELL, 2018],[GEELS, 2002]. A tarefa de substituição de uma tecnologia por outra, especialmente em referência ao setor elétrico, é dificultada pela própria estrutura dominante dos mercados, diversidade de perfil de consumidor e demandas, formação dos sistemas institucionais e regulatórios e infraestrutura. Esses fatores tornam a entrada de tecnologias um tema que demanda a definição de ferramentas e métodos que permitam descrever o sistema de transição e, simultaneamente, abranger todas as diferenças do contexto [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005].

A transição é um efeito social que implica em mudanças no estado atual do cenário; as transições sociotécnicas dependem da mudança de um regime para outro regime [GEELS, 2005]. Transições sociotécnicas avaliam os efeitos das inovações tecnológicas na sociedade, anali-

sando como as tecnologias estão diretamente ligadas às práticas sociais, instituições, sistemas e estruturas, portanto, um processo com múltiplos atores e setores envolvidos na mudança determinada [SORRELL, 2018], [LEVENDA et al., 2019]. A transição sociotécnica permite que diversas visões e objetivos contribuam para a construção de um novo cenário, permitindo um método de experimentação e aprendizado. A estrutura de transição sociotécnica possui algumas vertentes na qual a perspectiva em vários níveis se destaca por exatamente trazer resultado da interação entre as inovações em Nichos, Regimes e Conjunturas (em inglês, *Niches, Regime, Landscape*). Tais perspectivas destacam as divergências encontradas entre as experiências humanas com a mudança tecnológica e a busca da justiça nas transições sociotécnicas, e reforçam que os estudos sobre justiça energética devem conciliar os aspectos sociotécnicos no tratamento das transições de energia.

A transição para um modelo com baixa emissão de carbono, aderente à necessidade de redução dos efeitos das mudanças climáticas, depende de avanços tecnológicos quanto opções de geração de energia com menor impacto ambiental e eficientes, e possui o desafio de garantir que os benefícios, riscos e responsabilidades sejam alocados entre os diferentes setores sociais sociedade de forma justa. Dessa forma, um cenário de transição tem relação em como a tomada de decisão - também em consideração ao aspecto político do processo - molda a produção tecnológica e a disseminação de conhecimento [LEVENDA et al., 2019]. Essa transição, alinhada à contextos cultural, histórico, geográfico e político-econômico, forma valores econômicos que determinarão a forma em que as inovações serão absorvidas e dependem de apelo público para se concretizarem [LEVENDA et al., 2019]. Um cenário de transição passa a ter caráter não apenas técnico, mas também relacionado aos aspectos sociais pertinentes ao processo de inovação e entrada de determinada tecnologia [GEELS, 2005],[LEVENDA et al., 2019].

Uma das maneiras de analisar a transição sociotécnica é empregando o método de Perspectiva de Multiníveis (*Multi-Level Perspective, MPL*), que estabelece níveis com a finalidade de estudar hipóteses referentes à cenários de mudanças. Estruturam-se serviços de função social - serviços de utilidade pública utilizando um conjunto de conhecimentos técnicos e sociais - como aqueles baseados em um conjunto de normas e regras desenvolvidas no tempo por instituições e práticas [GEELS, 2002], [SORRELL, 2018]. O alinhamento de interesses e atividades das diversas instituições geram a estabilidade do regime, e definem quais os comportamentos e expectativas dos atores dentro do regime. Regime, portanto, é um sistema fechado de normas e regras, supostamente em alinhamento com os demais atores, e imutável no tempo [SORRELL, 2018]. Para que esses regimes sejam modificados, grandes transformações devem ser causadas dentro deles, causando mudanças profundas, e que acarretem alterações nas normas e regras vigentes; é comum que essas mudanças sejam causadas por tecnologias que compõem o núcleo

de operação do regime [GEELS, 2002],[GEELS, 2005].

Os regimes podem ser definidos em diferentes escalas de conhecimento e observação [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005], e a mudança no regime é causada por dois processos: mudanças das pressões que sustentam o regime ou alteração nos recursos internos e externos ao regime [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005]. Um regime é imutável, portanto, até que as pressões internas ou externas mudem a forma como ele é conduzido. As pressões devem ser estímulos que orientam os regimes para direções específicas; a articulação de quais pressões irão ocasionar essa mudança na rota do regime depende da coordenação dos estímulos dentro do regime. As pressões podem ser classificadas em técnicas, com funcionamento mais focado na manutenção do estado das empresas, e sociotécnicas, provenientes de mudanças sociais [GEELS, 2002], [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005].

Os elementos de sistemas sociotécnicos dependem de ações de determinadas instituições para que possam ser criadas e mantidas: no caso, as instituições são compostas por elementos de grupos sociais [GEELS, 2005]. A participação desses grupos na transição não depende estritamente de elementos técnicos, mas de vários parâmetros que podem alterar um regime [GEELS, 2005]. Regime é uma série de elementos complexos relativos à elementos físicos e naturais vinculados à atributos econômicos, culturais e cognitivos [GEELS, 2002], [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005]. Os regimes incorporam aspectos relacionados às tecnologias para satisfazer desejos da sociedade, e, por esse motivo, devem incluir interesses quanto às práticas e melhores maneiras de melhorar o próprio regime [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005].

As pressões podem ter como resultado a criação de novas configurações sociotécnicas, a inovação necessária para a determinação de um novo regime, competição entre regimes sociotécnicos que servem à mesma tecnologia ou inovação, surgimento de visões alternativas de futuro, geração de mudanças sociais que coloquem o regime em tensão e debates públicos focados nas mudanças de regimes existentes [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005]. As pressões irão determinar quais os regimes que irão permanecer, ou seja, aqueles com capacidade e recursos para responder à essas pressões. A capacidade de agir e determinar a direção de determinado regime é conhecida como agência.

A agência tem relação direta com entrada e permanência dos atores dentro do regime, o que implica em como as expectativas dos atores, os vínculos dentro do sistema e a coordenação dos recursos são administradas [SORRELL, 2018]; agência também é fortemente vinculada à ideia de poder [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005]. Agência é alterada em função do tempo, e pode também ser definida como a capacidade de intervir e alterar as pressões e adaptações

do regime, umas vezes que nem todos os atores e instituições estão abertos ou aptos a aceitar as mudanças [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005]. Assim, a análise de uma transição sociotécnica é feita em níveis, não refletindo apenas as mudanças que afetam determinado grupo ou instituição, mas incluindo fatores que possam exercer pressão em estruturas e convenções de conjuntura.

As pressões atuam em determinada direção, de forma a orientar as respostas e os conflitos do regime. Todos os regimes possuem capacidade e recursos para reagir às inovações, e aqueles que não se adaptam tendem a desaparecer [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005]. As adaptações ocorrem como respostas às pressões, e acontecem como novas práticas dentro do regime vigente, como, por exemplo, novas tecnologias.

A forma como a transição será mapeada depende do nível de atuação dentro do regime, ou seja, como a mudança é estabelecida e coordenada, o que inclui o processo de governança e o comportamento de resposta dos membros do regime, e a resposta aos recursos disponíveis e a capacidade de selecionar as pressões por seu uso. Essa avaliação da transição distingue como os processos são guiados e quais os atores e nível de acordo para que um novo regime seja estabelecido [SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005].

A análise da trajetória de entrada da tecnologia para o regime se diferencia dos nichos quanto às regras e estruturas, incluindo a forma como os atores interagem e definem as atividades dentro das comunidades em que estão inseridos. A conjuntura, setor mais vulnerável às estruturas externas e interação dos atores, é aquele mais fácil para direcionar a entrada de tecnologias, enquanto para os nichos há assistência para tecnologias que ainda não podem operar em grande escala [GEELS, 2005].

No caso dos nichos, os atores podem direcionar o interesse dos demais por meio de comprometimento com desenvolvimento e melhorias na tecnologia, e aplicações para o mercado. Dessa forma, esses atores mobilizam recursos financeiros - o que implica também em subsídios e apoios públicos, e investimentos estratégicos de atores - e cadeia de suporte para permitir que determinada tecnologia seja admitida [GEELS, 2005]. Dada a sua maior capacidade de mobilização e proteção, os nichos são aqueles que oferecem maior espaço para inovações.

Ao considerar essa capacidade de mobilização, esses atores podem estar dispostos a lidar com etapas de aprendizado e ajustes para a construção de cadeia de produção ou aprendizado técnico - as expectativas também são vinculadas ao apoio financeiro e estratégico do governo, com foco na redução de riscos. A estabilização para os nichos ocorre não com a relativa maturidade tecnológica, mas quando o determinado sistema está apto para disponibilidade dos interessados via comercialização, com estrutura de mercado e usuários confiantes na performance

[GEELS, 2005]. Assim, dada a expectativa com o processo de aprendizado e a composição de novos grupos e com novos usuários, é possível afirmar que transições iniciam nos nichos, com influência dos regimes atuais e da conjuntura sociotécnica do momento [GEELS, 2005].

Assim, as estratégias dos atores e os procedimentos sociais estabelecem estratégias para as novas tecnologias, influências as preferências pessoais e impactos referentes às mudanças no regime. Esses fatores podem atuar na substituição ou na emergência de tecnologias, ao mesmo tempo que custos e performance são melhorados por inovações [GEELS, 2005]. As mudanças desejadas e/ou necessárias para que uma nova tecnologia emergja, como novas políticas e organizações, novas práticas e nova infraestrutura, dependem de atrair os nichos, o que esclarece a relação entre as mudanças sociais e tecnológicas que permitem que a tecnologia pressione o ambiente e atinja as condições e estabilização.

O nicho, dessa forma, é o nível mais baixo, mas o mais dinâmico, e podem até ser analisados como nichos de mercado ou mercados específicos. O regime, então, abrange as instituições relevantes, com poder de criar e sustentar ambientes tecnológicos, enquanto a conjuntura contém fatores e eventos passíveis de mudanças mais lentas, com instituições e atores de maior amplitude e representantes de valores culturais, sociais e políticas mais extensos [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018].

O setor elétrico é um regime em si, com regras e práticas normalmente centralizadas, instituições que dão suporte e infraestrutura de larga escala. O setor possui diferentes níveis de organização e instituições, regras e modelos de mercado, e padronização. No entanto, para o caso de geradores distribuídos e consumidores, pode-se verificar como a organização e integração permite abranger um regime específico. Portanto, a avaliação de uma tecnologia para o setor deve considerar toda a inovação trazida por esse novo sistema, incluindo todos os serviços e produtos adjacentes, para os atores mapeados no processo, o impacto no sistema como um todo, descrevendo quais as novas habilidades, competências e práticas resultantes do processo de aprendizagem, e quais as características que incentivam a adoção da tecnologia proposta [HÖLSGENS; LÜBKE; HASSELKUSS, 2018]. Dessa forma, a transparência no processo e os fatores de sucesso junto ao grupo mapeado pode contribuir para a definição de práticas e interações dentro do regime.

A análise da transição sociotécnica não deve, assim, medir apenas qual a inovação e os impactos para o sistema, mas analisar quais os impactos reais para os atores e que implicam em mudanças nas ações e estratégias focadas em processos e estruturas voltadas para uma transformação. Ainda que se discuta qual o poder dessa transformação em mudanças profundas para a sociedade, a transição sob essa perspectiva implica em compreender como os níveis se

alinham e sua relação para atingir o alvo desejado [HÖLSGENS; LÜBKE; HASSELKUSS, 2018]. A medição de como as práticas alteram os níveis podem indicar os níveis de mudanças transformativas para a sociedade.

As análises apontam a atuação do governo para proteger a entrada da tecnologia e promover políticas e regras [DANTAS et al.,], [OSUNMUYIWA; BIERMANN; KALFAGIANNI, 2018], [MAH et al., 2012]. Essa análise admite a atuação governamental para viabilizar a tecnologia, incluindo desde subsídios e incentivos, mas também com requisitos legais e técnicos. O envolvimento governamental depende dos níveis envolvidos e interessados na entrada da tecnologia, já que algumas condições dependem da atuação na esfera federal, mas outras são resultados de decisões e estratégias tomadas em outras esferas governamentais [MOSER et al., 2021],[DANTAS et al.,]. A governança, como processo de organizar o processo e direcionar os objetivos, orienta a etapa de aprendizado e estabelece as dinâmicas para que a tecnologia em avaliação supere as etapas iniciais de viabilização [MOSER et al., 2021] [MAH et al., 2012]. Dessa forma, as esferas governamentais são atores com capacidade de influência nos demais níveis, estabelecendo as condições para a inovação e aplicabilidade da tecnologia em questão.

Como método para especificação da transição, o conhecimento de diferentes atores e representantes de instituições é aproveitado para a análise. Em comum, o interesse na diversificação da matriz energética e adoção de tecnologias [OSUNMUYIWA; BIERMANN; KALFAGIANNI, 2018], [DANTAS et al.,], [MAH et al., 2012]. Embora os aspectos sociotécnicos de desenvolvimento observem a interação de novas tecnologias em nichos específicos (lugares protegidos para testes de novas tecnologias), que possuem regimes sociotécnicos (aspectos regulatórios, práticas e instituições que promovam o avanço da tecnologia) e alguns aspectos específicos de uma sociedade, há a ausência em analisar a complexidade geográfica e os diferentes agentes presentes.

Os fundamentos de justiça energética analisam aspectos quanto à ao acesso universal à energia, assegurando que todos tenham acesso à serviços modernos de energia elétrica, além dos aspectos tecnológicos, a partir do prisma distribucional - analisa a alocação física desigual dos males e benéficos ambientais, bem como a desigual distribuição de responsabilidades reconhecimento e processual-, o reconhecimento de agentes e partes da sociedade que não estão sendo considerados para o cenário, e o processo aplicado em relação à igualdade de representação de todos os agentes nos processos de decisão [SAREEN; HAARSTAD, 2018]. Os aspectos levantados justificam que a melhor abordagem para a transição de tecnologias reside na consideração de ambos os aspectos dentro de um ambiente dinâmico e de várias espacialidades [SAREEN; HAARSTAD, 2018].

2.1.1 Justiça energética e cenários de transição

A discussão acerca da justiça energética não é foco dessa tese e não será amplamente apresentado nessa seção. No entanto, a análise dos termos que podem fomentar a agência dos atores dentro dos regimes e o papel das instituições pode ser delimitado por conceitos alinhados à justiça energética. A análise por essa perspectiva pode distanciar o debate da transição energética de uma questão econômica e aproximar de debates mais alinhados ao desenvolvimento social e ambiental, resultados esperados da inserção de uma nova tecnologia, como é o caso do BESS.

Um dos principais pontos referentes à justiça energética e demais conceitos apresentados aqui é a desigualdade de acesso de tecnologias por diversos grupos e países [CANTARERO, 2020]. O acesso às tecnologias e serviços baseados em energia elétrica modernos e com menor impacto ambiental depende de aspectos econômicos e políticos do que do acesso a fontes energéticas, o que comprova a desigualdade de consumo e capacidade instalada de fontes de geração de energia em países do Sul Global [CANTARERO, 2020]. Privatizações e reformas no setor elétrico com foco em performance econômica e competitividade do setor, e não na ampliação e melhoria dos serviços e ampliação da capacidade, e distribuição de subsídios para combustíveis fósseis é um fator que amplia a desigualdade de acesso desses países quanto às tecnologias [CANTARERO, 2020].

Esse fato é suportado por alta demanda e confiabilidade no setor de combustíveis fósseis, em que mesmo políticas focadas em desenvolvimento econômico são calcadas nessas fontes primárias, e com suporte da alta influência de empresas vinculadas à exploração de recursos naturais nesses países [CANTARERO, 2020]. Por fim, dada a desigualdade de percepção e participação nessas regiões, o planejamento energético e a tomada de decisão quanto às políticas energéticas são focadas em ganhos de instituições não vinculadas ao desenvolvimento do local [CANTARERO, 2020]. Esses são alguns fatores que podem contribuir para ampliar a desvantagem de desenvolvimento local e a assimetria no acesso às tecnologias.

A ausência de políticas energéticas focadas na definição de um mercado que permita a escalabilidade de novas fontes de geração e estruturas diferenciadas de participação também são citadas como desvantagens para esses locais [CANTARERO, 2020], [AGENCY, 2014]. Grande parte dos países do Norte Global possuem políticas e incentivos que auxiliam a transição energética, ainda que com um foco em ampliar a competitividade no setor e consolidar regras econômicas que possibilitem a construção de regras de mercado [AGENCY, 2014]. A definição das regras de mercado e políticas energéticas favorecem determinados grupos dentro do setor elétrico e contribuem para o aumento na assimetria de acesso à serviços energéticos e tecnologias de geração.

A descentralização é um dos pontos relevantes para a transição energética, conduzindo à questionamentos quanto a direito de acesso e como ter melhor aproveitamento e desenvolvimento das tecnologias que viabilizam esse cenário [LACEY-BARNACLE; ROBISON; FOULDS, 2020]. Esse questionamento é relevante dada a atenção às fontes de energia renováveis e ao papel esperado para a descentralização, ampliando a segurança energética e garantindo o acesso de comunidades e grupos à energia elétrica. Para grupos com maior poder e acesso ao processo de tomada de decisão, a mudança de padrões e produção atende às condições impostas por esses atores. Para os demais, com menor escala e focado no desenvolvimento local, é necessário reforçar as vantagens e aceitação social para que esses projetos possam ser desenvolvidos [LACEY-BARNACLE; ROBISON; FOULDS, 2020].

A participação de novos atores pode contribuir para a construção e manutenção de um sistema mais focado no desenvolvimento social e redução de impactos ao meio ambiente. Assim, esses atores contribuem para a construção e manutenção de um novo cenário de transição energética, com participação ativa quanto ao fornecimento da energia, mas também no gerenciamento de redes locais e/ou comunitárias e definição de políticas energéticas focadas em tecnologias. Da participação desses grupos, são esperadas a substituição ou redução de geração de energia por combustíveis fósseis, acelerando a descarbonização do setor, mas também aumento em níveis de emprego, fortalecimento de comunidades, ampliar a participação social, entre outros [CANTARERO, 2020].

As reduções de barreiras institucionais e incentivo ao planejamento energético local são alguns dos desafios, uma vez que alteram relações entre atores e setores governamentais: a participação pública, hoje vinculada à relação de poder, pode agregar valores mais vinculados aos imaginários da comunidade e ampliar os interesses na transição energética. O aumento da segurança energética, redução de impactos negativos ao meio ambiente, valores relacionados à participação social, e a justiça são parâmetros que permitem verificar o sucesso da transição energética [CANTARERO, 2020].

A introdução de determinados atores implica em uma transição energética focada em mudanças estruturais mais profundas do que apenas a substituição de determinada fonte de geração de energia por outra. Uma transição focada apenas no atendimento do fornecimento de energia elétrica foca apenas na entrada de determinada tecnologia no setor elétrico que possa atender às demandas de mercado, e não no atendimento do lado da demanda - consumidores finais e prosumidores. A introdução desses atores endossa, então, que a transição deve ser realizada de forma a assegurar a disponibilidade, acesso e custo razoável [JENKINS; SOVACOO; MC-CAULEY, 2018], criando, dessa forma, pressão nos regimes conhecidos e consolidando uma mudança.

A justiça energética, dessa forma, pode ser definida mais como uma metodologia para analisar a distribuição do acesso à serviços baseados em energia elétrica, relativa ao acesso e reconhecimento de diferentes atores, localizados em áreas diversas, quanto ao acesso aos recursos, participação e responsabilidade [DELLAVALLE; SAREEN, 2020]. A partir dessa definição, a análise da mudança de regime por meio da entrada de uma tecnologia deve ser avaliada sob a perspectiva das especificidades de estrutura e legais inerentes ao próprio setor elétrico, mas também em relação aos atores envolvidos e interessados enquanto ao atendimento de demandas e participação em processos de tomada de decisão. Ainda sobre o conceito, a introdução de novos atores também muda a ordem e os efeitos causados ao setor elétrico, agregando a compreensão de escala, alterando a percepção das tecnologias e mudanças no regime.

A introdução desses atores e o empenho para uma transição de regime de baixo carbono pressupõe não apenas a mudança em desigualdades de acesso, mas também no reconhecimento da responsabilidade e atuação de múltiplos atores atuando como produtores de energia elétrica. A entrada de uma tecnologia requer ações sociais e técnicas que causem a difusão e desenvolvimento de novas infraestruturas capazes de alterar o movimento corrente do regime e reduzir a resistência dos regimes existentes [DELLAVALLE; SAREEN, 2020],[HEALY; BARRY, 2017]. Essa transição, sob a perspectiva econômica e política, inclui a reorientação de investimentos e conceitos vinculados à extração e consumo de combustíveis fósseis [HEALY; BARRY, 2017], permitindo a mudança estrutural por meio de novas tecnologias e inovações técnicas que causem a aceleração na mudança do regime. Essa mudança estrutural, mais voltada para a descentralização de decisões e para efeitos mais próximos dos locais onde os novos atores residem, conduzindo a discussão e tomadas de decisão em menor escala de tamanho, mas garantindo acesso [HEALY; BARRY, 2017].

Essa nova perspectiva no processo de tomada de decisão pode atuar diretamente na forma como as infraestruturas e papéis dentro do setor são estruturados [HEALY; BARRY, 2017]. Sob uma perspectiva econômica, a precedência por atores e projetos vinculados à exploração de combustíveis fósseis aponta que a distribuição de subsídios e as intervenções radicais nas estratégias de redução de emissão de carbono são vitais para a mudança de regime pretendida [HEALY; BARRY, 2017]. A estrutura vigente que favorece a exploração desses combustíveis desfavorece a participação de atores, subsídios e investimentos em novas fontes de geração e a ruptura necessária para que o regime possa mudar [HEALY; BARRY, 2017], [CANTARERO, 2020]. Ainda que um novo regime sem uso de combustíveis fósseis seja não viável, a distribuição de poder e agência para esses grupos dificilmente favorecerá uma transição de baixo carbono.

A dinâmica para esses novos atores é orientada para questões de distribuição quanto à infra-

estrutura e serviços, e a análise sob a perspectiva da transição sociotécnica pode apontar onde há deficiências de acesso. Em relação ao acesso à infraestrutura e serviços, a localização de qual camada a dinâmica de transição acontece aponta onde a inovação ocorre e quem são os maiores beneficiados do novo regime [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018].

O nicho é o nível menos suscetível às influências de mercado e regulação, e é o mais acessível para inovações radicais e experimentação; porém, esse nível também é o mais vulnerável às mudanças de transição sociotécnica. Dada a definição desse nível, a análise da entrada de tecnologias nesse nível pode apontar quais os critérios sociais e quais normas são adaptadas e/ou definidas para que essa nova infraestrutura ou serviço possa ser admitido [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018]. Nesse nicho, os atores também são menos aptos a lidar com mudanças econômicas e políticas: inovações ou pequenas adaptações em tecnologias ou processos já existentes apenas acentuam as desigualdades, uma vez que as mudanças são inacessíveis na produção e integração [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018]. A análise dessas deficiências aponta parâmetros e indicadores que deveriam ser integrados ao processo de tomada de decisão, estabelecendo políticas energéticas e subsídios para a viabilização de tecnologias.

O nível de regime é descrito como aquele capaz de estabelecer as práticas dominantes quanto à entrada de novas tecnologias e inovações. Para esse nível, em que as regras e normas são estabelecidas, fornece dados e indicadores que permitem a análise das normas que regem os regimes, ou que deverão ser determinadas para serem admitidas nesse nível, que permitem julgar ou reavaliar como o processo de mudança está se concretizando [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018]. A análise dessas regras auxilia na validação de normas que podem afetar os grupos, em relação aos impactos ambientais e técnicos, e definir se os riscos inerentes à nova tecnologia também são válidos em relação aos impactos e viabilidade econômica [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018]. Por fim, o nível de conjuntura, o mais alto dos três níveis e aquele que abarca questões sociais, políticas, culturais e as visões das instituições quanto à conjuntura de mercado e econômicas.

Para esse nível, as mudanças podem ser mais lentas em comparação aos dois níveis anteriores. No entanto, pressões originadas nos demais níveis podem afetar a conjuntura em relação aos preços e reações à desastres e preços, especialmente quando afetam um determinado local com efeitos consideráveis na condução de todo um setor [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018]. Nesse caso, o nível possui uma capacidade de agência e poder maior em relação aos demais, o que mostra como as pressões são mobilizadas para até mesmo reduzir os riscos dos combustíveis fósseis em comparação à outras fontes de geração de energia [JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018]. Dessa forma, a ideia de justiça energética contribui com mudança na pressão exercida para mudar o regime, alterando valores e normas culturais.

A partir da análise dos nichos sob a perspectiva da justiça energética, os nichos e suas atuações frente ao regime podem ser estudados sob a perspectiva de impactos sociais e mudanças culturais. As escolhas de cada nível refletem a complexidade de dinâmica das mudanças dos regimes, mas especialmente apontam como as estruturas podem ser gerenciadas e planejadas para responder às pressões internas e externas. A avaliação da inserção de uma tecnologia capaz de atuar frente aos níveis não pode ser vista, dessa forma, como uma metodologia simples e teórica, sem considerar que os atores e as pressões alteram as mudanças em resposta à princípios e conceitos inerentes a cada nível. No entanto, a avaliação de cada nível fornece quais os requisitos e papéis dentro dos nichos que podem favorecer a transição sociotécnica.

A análise das pressões dentro de cada nicho ampara na definição de uma metodologia de tomada de decisão mais focada em ampliar o acesso de mais atores, definindo novos modelos de mercado e estabelecendo estratégias para procedimento dentro do setor elétrico. No caso de projetos para implantação de fontes que possam fornecer serviços modernos baseados em energia elétrica, assegurar a segurança no fornecimento, sem ampliar impactos negativos ao meio ambiente e reduzindo o consumo de carvão como fonte principal de energia local, muitas vezes as populações de áreas urbanas são favorecidas em detrimento daqueles atores localizados em áreas rurais [BROTO et al., 2018].

Esse cenário aponta que as tecnologias de geração são implementadas mais rapidamente em áreas urbanas, uma vez que são favorecidas por políticas energéticas que favorecem esses locais, até que novas agências foquem em ampliar o acesso aos serviços para demais localizações [BROTO et al., 2018]. A partir dessa condição, modelos de negócios focados em substituição do carvão e combustíveis fósseis podem ser desenvolvidos para o âmbito de autoadministração e controle da energia gerada. Um modelo de negócios voltados a esses pontos também atende aos objetivos e necessidades locais, fortalecendo a participação dos consumidores durante o processo de tomada de decisão e assegurando a inovação da rede local [BROTO et al., 2018].

A participação dos consumidores busca atender pontos em que as instituições públicas não têm atuação ativa, fator que reduz possibilidades de sucesso desse tipo de projeto [BROTO et al., 2018]. A atuação das agências, limitadas por seus papéis dentro do governo, e acentuadas por conflitos e políticas econômicas liberais, têm ação reduzida frente às necessidades da população, a depender da agenda governamental. Assim, o foco de novos projetos voltados ao atendimento das necessidades locais se volta para em ampliar o atendimento à população por fontes renováveis de geração de energia e promover melhorias técnicas da rede, em contraponto à modelos vigentes de ampliação da rede de atendimento, voltados aos consumidores/geradores com poder aquisitivo para atender às próprias necessidades [BROTO et al., 2018].

A implantação de projetos como o citado tem como principal objetivo assegurar que os consumidores tenham autonomia para determinar as próprias condições de acesso à energia elétrica, assegurando o controle das soluções implementadas e do fornecimento da energia de acordo com as necessidades locais. A atenção à aspectos do entorno e de preservação do ambiente, relacionado à preservação dos conhecimentos coletivos, divulgação de informações relevantes aos interessados e a participação nas instituições são elementos relevantes aos processos de decisão e mudanças significativas nos regimes sociotécnicos [JENKINS et al., 2016]. Assim, a justiça energética contribui com o gerenciamento da inclusão dos novos aspectos técnicos, relacionados à integração da tecnologia e sua relação com as demais tecnologias necessárias para o seu funcionamento, quanto requisitos relevantes para a sociedade, já que esses fundamentos estão intrinsecamente interligados e devem ser complementares [SAREEN; HAARSTAD, 2018].

A expectativa de como a transição será desenvolvida e as práticas futuras quanto ao desenvolvimento social e tecnológico são relacionadas aos imaginários sociotécnicos [SAREEN; HAARSTAD, 2018]. Ainda em relação a esse termo, como todas as instituições deverão contribuir e ser definidas para esse cenário também são relacionadas aos imaginários sociotécnicos [SAREEN; HAARSTAD, 2018]. Esses imaginários incluem práticas relacionadas à materialidade, que permite analisar as mudanças materiais e tecnológicas necessárias, a relacionalidade, que permite avaliar as relações dos diferentes agentes sobre o consumo e produção de energia, e instituições, relacionada aos impactos destas nas relações e avanços tecnológicos [SAREEN; HAARSTAD, 2018]. Quanto a avaliação do papel das instituições, como se dá a sua participação nas mudanças, e qual o papel que exercem para o desenvolvimento tecnológico devem ser analisados em todo o processo quanto à definição das políticas voltadas ao setor energético bem como a aplicação dessas regras, reconhecendo aspectos relevantes à justiça energética em toda a atividade institucional.

Aspectos sociais relacionados a políticas, visões e ideais, especialmente relacionadas à compreensão de bem-estar coletivo e ações que afetam toda a comunidade, impactam na compreensão da inovação sob aspectos geográficos, políticos e culturais [LEVENDA et al., 2019]. Esses aspectos apontam como as políticas nacionais podem ser direcionadas para objetivos locais, reconhecendo as inovações energéticas e as redes inteligentes como inerentemente sociotécnicas. As implicações desta análise sugerem que os futuros de energia são ativados e restringidos por meio de uma variedade de fatores sociotécnicos dinâmicos que refletem diferenças sistematicamente por meio de prismas locais, estaduais e nacionais. Reconhecer a mudança do papel de imaginários estáveis em padrões de governança multinível pode, portanto, ajudar a revelar oportunidades para visões alternativas criarem raízes em nosso conhecimento à medida que refratam crenças e valores culturalmente mais amplos que conectam ciência, tecnologia e

inovação ao bem público.

Nos Estados Unidos, dois planos nacionais publicadas no governo entre 2001 e 2009 tiveram impacto significativo na modernização da rede elétrica e na ampliação da geração distribuída no país: *Energy Policy Act*, com foco na desburocratização do setor e o aumento do interesse em fontes renováveis de energia, e o ato publicado em 2007, *Energy Independence and Security Act of 2007*, que estabeleceu o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes como plano nacional. Ainda para o ano de 2009, já em outro governo, o ato intitulado *American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA), que tinha o objetivo de promover investimentos em redes elétricas inteligentes, eficiência energética e usinas renováveis, também é destacado pelos autores como políticas nacionais com efeito em ações locais [LEVENDA et al., 2019].

Os dois atos tiveram resultados relevantes nas regiões noroeste e sudoeste dos Estados Unidos. A política nacional e as instituições federais forneceram meios para financiar novas inovações sem, no entanto, exigir formas universais de implementação. Isso permitiu o desenvolvimento regional de inovações em energia alinhadas com imaginários sociotécnicos mais localizados e frequentemente alternativos. Conceitos de valores de energia que englobam valores públicos e expectativas relacionadas a sistemas de energia e sua transição para um sistema mais limpo e com baixa emissão de gás carbônico são aplicados para avaliar a aplicação desses dois atos nas regiões citadas, baseados em dois temas centrais: estabilidade e confiabilidade; e democracia e independência [LEVENDA et al., 2019].

Como resposta às diretrizes nacionais, Portland e Phoenix estabeleceram metas de aumento da participação de fontes renováveis em suas matrizes de eletricidade, entretanto cada região reagiu de forma diferente aos valores de energia analisados pelo artigo (estabilidade e confiabilidade, e democracia e independência). Em relação aos conceitos de estabilidade e confiabilidade, a região de Portland buscava a eficiência do sistema, melhorias na rede, e a implementação de mecanismos de resposta a demanda. Sobre os valores de democracia e independência, a região de Portland mostra os exemplos de programas sociais de implantação de usinas solares fotovoltaicas em comunidades locais e políticas públicas que visam reduzir a expansão de investimentos em plantas de combustíveis fósseis; a política de oposição a expansão de usinas a combustíveis fósseis foi altamente contestada pela associação de petróleo da região.

Para a região de Phoenix, os órgãos reguladores de eletricidade da região entendem que a estabilidade só é atingida com o controle do sistema de forma centralizada. Devido ao entendimento encontrado pelos órgãos reguladores na região de que a estabilidade do sistema é conseguida a partir do controle centralizado da geração, desafios com a crescente inserção de geração distribuída de painéis solares na região ocorreram; uma das hipóteses é a ausência de

controle e variabilidade na geração. Esses geradores se beneficiam do mecanismo de compensação de tarifas (*Net-metering*). O tema resultou em diversas discussões da sociedade e as entidades da região, em que enquanto os órgãos reguladores atestam para o fim do mecanismo de compensação e buscam aumentar a participação da energia solar a partir de grandes usinas, a sociedade argumenta que a geração distribuída da fonte solar contribuiu para o aumento da democracia e independência, em que se permite o acesso de benefícios da fonte solar e uma distribuição equalizada dos riscos associadas com sua produção.

Iniciativas e políticas que buscam objetivos semelhantes divergem em regiões de um mesmo país, de acordo com o pensamento coletivo, a cultura e a história de cada lugar. As experiências de Portland e Phoenix indicam desafios e diferentes opiniões sobre o desenvolvimento de novas tecnologias que contestam o status quo de cada região. Em ambos os casos pode-se notar oposições de grandes órgãos e entidades, como a associação das indústrias de petróleo em Portland e o órgão regulador de Phoenix, em promover o desenvolvimento da geração distribuída. Enquanto a confiabilidade é recebida como um aspecto mais agradável, a estabilidade é desafiadora, e a democracia e independência são limitadas pela participação aos programas de utilidade pública e pilotos para preços de serviços baseados em energia elétrica, mas ambos são influenciados por grupos de ação cidadã que desafiam o status com diferentes de aceitabilidade por parte do governo e reguladores.

As instituições são meios de favorecer a sociedade, economia e atividades tecnológicas além de providenciar oportunidades de mudanças [SAREEN; HAARSTAD, 2018]. Para projetos de painéis fotovoltaicos em Portugal, em uma tentativa de avaliar questões quanto a viabilidade de tais projetos sob a perspectiva sociotécnica, mostra como essas dimensões podem ser analisadas. Para comunidades com altos valores de preservação ambiental, a viabilização de novas tecnologias fica restrita aos aspectos geográficos e carência de suporte institucional; para esses locais, a alta exigência de suporte institucional é presente para evidenciar o compromisso social e redução dos impactos ao ambiente do local. Para o segundo caso, as relações públicas e privadas no acesso a conhecimentos, fundos e parceiros estratégicos, apontam como as instituições se inter-relacionam durante o período de transição. Por fim, o desenvolvimento em larga escala da tecnologia necessária mostra como os materiais para suprir a infraestrutura demandada depende da construção de uma rede local que, no momento era ineficiente para a escala exigida e atender às dificuldades geográficas [SAREEN; HAARSTAD, 2018].

Dos três casos analisados, é possível verificar que os elementos de pontes da transição energética e a justiça estão presentes de maneiras inter-relacionadas e sobrepostas, e a análise de como essas relações são iniciadas e mantidas durante todo o projeto de implantação da tecnologia podem favorecer contextos futuros de tomada de decisão. Dos mesmos projetos, também

é possível apontar que a análise da relação desses elementos deve ser feita de forma interdisciplinas, de forma a atender à toda a abrangência conceitual exigida. As mudanças relacionadas à transição energética ocorrem em ambientes complexos em escalas desiguais, mas que permitem acumular aprendizado para caracterização futura de como as instituições e materiais se relacionam [SAREEN; HAARSTAD, 2018].

Os valores relacionados à riqueza e posição social, entre outros, implicam em desigualdade em processos de tomada de decisão, isto é, em como os atores de determinado grupo afetam o comportamento do grupo em que estão inseridos, mas também dos demais grupos que participam de processos decisórios [DAHL, 2005]. Aqueles possuidores de mais recursos têm acesso amplo às ferramentas de negociação, contribuindo para que as decisões favoreçam seus interesses e ampliando, assim, desigualdades sociais e econômicas [DAHL, 2005].

Ambos os casos citados visam assegurar que o investimento feito tenha algum retorno para o consumidor. Esse posicionamento do consumidor e, simultaneamente, atuar como um gerador ativo na rede e com interesse na governança do recurso é o que permite nomear esses cidadãos como prosumidores. Prosumidores (do inglês *Prosumers*) são aqueles consumidores que exigem produtos ou serviços com alto padrão técnico, e/ou aqueles que participam do processo produtivo de um artigo junto ao fornecedor, sempre sob o viés da Geração Distribuída. A definição de consumidores que será utilizada nessa tese, portanto, inclui apenas aqueles que terão participação no setor elétrico sob as características definidas para os prosumidores.

2.1.2 Aspectos voltados à análise social para novos processos e tecnologias

Downs define a escolha racional como aquela direcionada para a resolução de objetivos conscientes, e aplicar métodos para prever e analisar decisões, deve-se verificar quais os métodos para atingir esses objetivos de forma otimizada, isto é, com menor consumo de recursos [DOWNS, 2013]. O homem racional é aquele capaz de analisar as alternativas apresentadas e as classificar, sempre da mesma maneira, de acordo com o seu objetivo [DOWNS, 2013]. No caso dos prosumidores, eles serão considerados como aqueles capazes de analisar informações do setor elétrico, especialmente quanto à manutenção e ampliação dos serviços energéticos, motivados em adquirir tecnologias mais eficientes de geração, estimulados ao consumo racional do recurso, dispersos geograficamente e nos interesses, tanto econômicos quanto ambientais.

Os interesses econômicos, sobretudo em reduzir os impactos da variação do custo da energia elétrica adquirida da empresa distribuidora, são abordados como o maior interesse desse grupo. Nos impactos econômicos da decisão também são considerados incentivos governamentais para a adesão à essa participação no setor elétrico, subsidiando a compra de equipamentos e,

até, estabelecendo futuramente um mercado mais competitivo para esse setor. O custo da energia elétrica é visto como uma relação de custo-benefício por cada consumidor, e essa percepção depende de impressões pessoais de justiça quanto ao valor, qualidade do serviço fornecido, utilidade e o empenho demandado para o custeio desse recurso [MAYER; MARIANO; ANDRADE, 2013]. O total desses valores econômicos indicará se o custo da aquisição da energia elétrica, ou seja, seu peso no orçamento do indivíduo, é justo ou injusto [MAYER; MARIANO; ANDRADE, 2013]. Essa noção da vantagem econômica será avaliada à possíveis ganhos ambientais e sociais quanto à aquisição da energia elétrica.

Para aproximar os interesses econômicos do conceito de justiça energética, os incentivos à produção de energia por fontes renováveis serão aplicados como fator de peso para a tomada de decisão desses indivíduos. Portanto, os interesses em reduzir os possíveis impactos ambientais da geração de energia e na capacidade de equidade de consumo do recurso e demais benefícios associados à suprimimento de energia (interesses sociais) pode ser considerado, portanto, como valores importantes, mas não determinantes para consumidores. Esses valores irão delimitar a decisão, mas não poderão ser excluídos. Como esses interesses são concernentes à valores de cada indivíduo, que irão analisar as possibilidades e, então, decidir o que é mais vantajoso de acordo com os propósitos ansiados.

A defesa de interesses puramente pessoais é passível de ser promovida até o ponto em que o agrupamento com indivíduos com interesses comuns possa realizar essa tarefa de maneira mais eficaz, ou seja, partindo do pressuposto que o objetivo da maior parte dos indivíduos é comum. Assim, grupos de interesses são definidos como aqueles em que os objetivos em comum de indivíduos podem levar ao agrupamento, isto é, à formação de grupos de interesses. Ao formar tal grupo, as ações dos indivíduos que o formam passam a ser focada no propósito de existência e continuidade do grupo, ou seja, o incentivo à satisfação dos interesses dos membros [OLSON; FERNANDEZ, 1999].

A defesa dos interesses frente às possibilidades de decisão do poder público existentes é chamada de *lobby* [MANCUSO; GOZETTO, 2018], ou seja, a defesa de interesses da maioria em arenas de tomada de decisão e que possam afetar a deliberação do poder público. Ao contrário do imaginário popular, *lobby* não é uma prática negativa, mas relacionada à defesa dos interesses de determinados grupos: o conceito de *advocacy* também é relacionado à defesa de interesses, mas corresponde à defesa de interesses de grupos com maior vulnerabilidade ou de interesse público. Para o setor elétrico, há as duas práticas, mas a tendência é de classificar a defesa de interesses relacionados à ampliação de geração por fontes renováveis, aumentar acesso à serviços baseados em energia elétrica e multiplicidade de geradores são considerados como *advocacy*.

A defesa de interesses não se restringe somente às arenas de tomada de decisão relacionadas ao legislativo e executivo: no caso do setor elétrico, como decisões de caráter financeiro - tarifa, expansão da infraestrutura, diversificação da matriz e, até mesmo, subsídios- são tratados nas agências reguladoras. O papel dessas agências será explicado posteriormente nesse texto. Assim, todos aqueles com interesses, independentemente da atuação, no setor elétrico serão definidos como atores, ou seja, todos aqueles com interesses e com possibilidade de agência dentro do setor elétrico.

O agrupamento de consumidores para a defesa de interesses é aderente à ideia de repensar o planejamento energético baseado na atuação desses atores, visto que o planejamento energético inclusivo envolve também o lado da demanda para estimar crescimento necessário no fornecimento da energia, aplicar medidas mais eficientes de consumo do recurso e medir sucesso de políticas energéticas [ONU, 2009]. Como esse planejamento é mais focado na administração urbana, pode-se acrescentar o incentivo à produção de energia pelo consumidor e pesquisas que envolvam o aproveitamento do espaço urbano para produção de energia mais próxima dos centros consumidores, reduzindo perdas e custos. Esses parâmetros definem uma política energética mais focada no consumidor do recurso, ou seja, na demanda, e estão aderentes à redução e conserto de falhas no acesso à energia limpa e redução de impactos climáticos. Esses conceitos são relacionados à justiça energética [JENKINS et al., 2016],[CARNEGIE et al., 2017].

A justiça na distribuição da energia, garantindo o acesso à infraestrutura de geração, mas também à serviços e benefícios relacionados, como a redução de custos. A justiça energética também divide a responsabilidade pela geração com os consumidores, que podem participar da discussão de uma matriz energética mais limpa e acessível a todos. Esse conceito de equidade nas responsabilidades e nos benefícios, traduz-se em um planejamento mais inclusivo da energia, permitindo que mudanças sociais também sejam parte da inclusão de consumidores na rede elétrica [JENKINS et al., 2016].

Para a construção desse novo modelo, restringem-se os objetivos e valores que promovem a justiça ambiental. Para um possível agrupamento de consumidores, considera-se que essas pessoas são vinculadas de maneira racional e com possível habilidade para compreender e processar os estímulos providos. Não serão consideradas como estímulo somente informações técnicas do setor, que seria de compreensão para essas pessoas, mas demandaria um conhecimento especial: ainda que esse tipo de informação seja necessário para o entendimento dos indivíduos quanto a geração e consumo mais eficiente da energia elétrica, os estímulos serão conceituados como crenças culturais, sociais e ambientais. Esses estímulos também serão aplicados como os termos de racionalidade, isto é, quais os meios que discriminam as tomadas de decisões dos consumidores.

O conceito de regulação é antigo e varia de acordo com o campo de estudo a que se refere. Com destaque para a regulação no campo da economia e para a sociologia, a regulação refere à determinação de normas que possam direcionar o comportamento de cidadãos e do próprio mercado [OLIVEIRA, 2014]. Essa intervenção, então, permite classificar o Estado como aquele caracterizado por maior ou menos controle na política econômica, e a identidade do regulador, que permite que o mercado seja autorregulado ou parte de um Estado regulador [OLIVEIRA, 2014]. A regulação não é focada apenas em garantir a livre-concorrência em determinado país ou mercado, mas também assegurar a regulação de serviços públicos e repressão de condutas danosas à própria condução do mercado [OLIVEIRA, 2014].

A partir da década de 70 e 80, o conceito de regulação é pautado por parâmetro de macroeconomia referenciada por economistas franceses, classificando o termo como aquele que caracteriza as ações de caráter social necessárias para manter o equilíbrio em determinado sistema, isto é, que assegurem a dinamicidade entre demanda e oferta [OLIVEIRA, 2014]. No caso de serviços públicos, tidos como aqueles necessários para assegurar o desenvolvimento social de um país, o Estado assume um papel mais interventivo, assegurando o acesso ao recurso e a qualidade do serviço fornecido [OLIVEIRA, 2014],[BELTRAME; NETO, 2018]. Nesses casos, a regulação é conduzida por órgãos especializados, como é o caso das agências reguladoras [BELTRAME; NETO, 2018]. No caso brasileiro, a regulação do setor elétrico é conduzida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão subordinado à demais setores do governo federal, mas com membros não eleitos por voto direto popular [BELTRAME; NETO, 2018],[SILVA, 2012].

Desde o início dos anos 90 e a adoção de uma agenda liberal no Brasil, com foco em privatização e reformas institucionais, as agências reguladoras são convertidas em arenas de decisão. Em estudo sobre o *lobby* no Brasil, Santos et al. [SANTOS et al., 2017] registra o estudo quantitativo de diferentes grupos de interesse em setores governamentais - o estudo não é restrito à quantidade de pessoas envolvidas na atividade, mas também aponta como é realizado o *lobby* e quais os interesses desses grupos. A pesquisa aponta a profissionalização do *lobby* no Brasil, inclusive frente às agências reguladoras. Ao avaliar a relevância das agências reguladoras, 93.7% dos representantes do empresariado brasileiro as classificou como de muita ou moderada importância como arena de decisão, enquanto 64.3% dos trabalhadores e 57.7% de representantes do setor público agregaram a mesma importância à essas agências [SANTOS et al., 2017].

A mesma pesquisa aponta que todos os respondentes vinculados à grupos empresariais consideraram o *lobby* nas agências reguladoras como produtivos, valor expressivo frente aos 36.4% dos trabalhadores que apontaram esses locais como produtivos [SANTOS et al., 2017].

Esses dados apontam uma maior facilidade de grupos vinculados ao empresariado em praticar a atividade dentro dessas agências, demonstrando que o caráter de atuação social desses locais pode não atender as expectativas existentes na sua criação.

Em seu conceito original, a ANEEL possui o papel de garantir o acesso universal à energia elétrica, assegurar a competitividade, controlar ajustes no valor das tarifas, e assegurar a qualidade da concessão, ao mesmo tempo reduzindo possíveis conflitos entre consumidores e empresas do setor [BELTRAME; NETO, 2018],[SILVA, 2012]. Essas agências atuam de maneira autônoma, e não são controladas por representantes políticos escolhidos diretamente por voto popular; a escolha daqueles que irão compor o quadro técnico dessas agências deve ser feita por conhecimento [SILVA, 2012]. As audiências e consultas públicas foram os métodos escolhidos para garantir que a sociedade pudesse ser ouvida nos processos de tomada de decisão da agência [SILVA, 2012]. Esse método foi escolhido para assegurar a contribuição de diferentes setores da sociedade no processo decisório [SILVA, 2012].

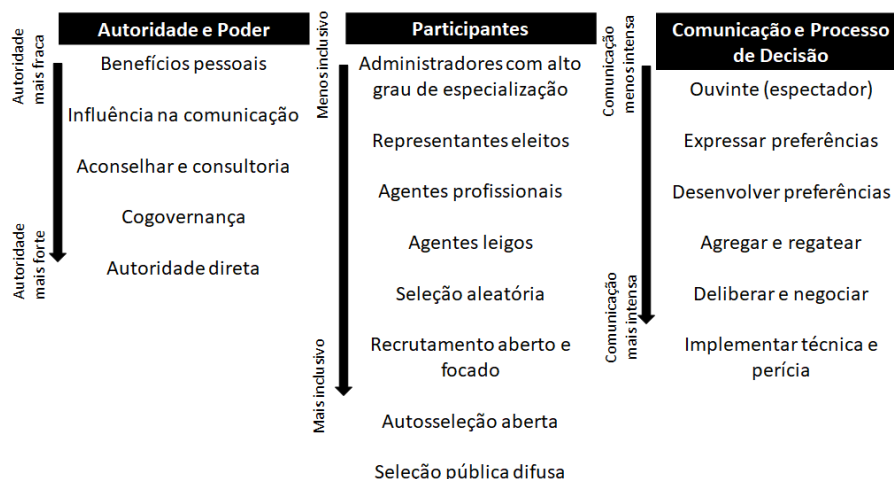
Os dados citados sobre a produtividade nas agências reguladoras e a comparação com a concepção de agência regulatória apontam que a participação social, ainda que assegurada, não está sendo plenamente cumprida. Essa divergência é comum nesse tipo de processo: ainda que a participação seja incentivada e aberta a todos os interessados, há uma seleção prévia daqueles que irão participar [FUNG, 2006b]. A participação de cidadãos em processos de decisão de políticas é citada como um desafio para aqueles que o estudam, dada a complexidade e escala que são comumente relacionadas a esses eventos. Fung [FUNG, 2006a] aponta que a participação de cidadãos em processos de decisão de políticas conta com o apoio daqueles que participam, mas, dadas as demandas individuais, os participantes tendem a deixar a participação para representantes profissionais ou administradores. O autor cita que delegar a participação para outros, com maior grau de especialização, implica em deficiência na defesa de interesses dos cidadãos, mas podem ser justificadas dada a expertise que a participação pode exigir.

O processo de participação precisa, portanto, de mecanismos que delimitem seus participantes, métodos para a troca de informação e divulgação das decisões tomadas, e a correlação entre o período de decisão e a efetivação das ações necessárias [FUNG, 2006b]. O processo é mais ou menos inclusivo conforme a maior quantidade de cidadãos que participam, não restringindo a seleção somente àqueles eleitos como representantes de um determinado grupo ou escolhido por maior conhecimento no tema. A troca de informações deve favorecer a comunicação entre os participantes, transmitindo pontos de vista e as preferências individuais para uma decisão coletiva. A troca de informação deve também fortalecer a ideia de que todos serão ouvidos, incentivando a participação ativa e desestimulando aqueles que atuarão como ouvintes no processo.

O impacto das decisões tomadas pelos participantes e a comunicação eficiente entre eles é, portanto, uma forma de medir a capacidade do público de influenciar as ações públicas. Esse impacto reflete na medição dos benefícios das decisões e a quantidade de pessoas de serão beneficiadas, fortalecendo o senso de participação ativa. As três dimensões permitem verificar a intensidade da participação coletiva a partir de parâmetros concernentes à interação, intensidade de comunicação, e poder e autoridade. As dimensões e seus parâmetros formam o Cubo Democrático (em inglês *Democracy Cube*), uma metodologia de participação definida por Fung [FUNG, 2006b].

Fung estuda a participação de cidadãos em processos decisórios em três ramos diferentes: o primeiro relacionado ao modo de escolha das pessoas que participarão do processo, o segundo relativo à metodologia de comunicação e divulgação da informação entre os participantes e, por fim, um ramo relacionado à legitimidade do participante. A Figura 3 mostra os parâmetros criados pelo autor e traduzidos para essa tese. É possível verificar que o autor estabelece parâmetros que permitem determinar uma metodologia para a participação social em processos de governança desde termos mais inclusivos, isto é, que admitem a participação da maior parte das pessoas e provenientes dos mais diferentes perfis, até termos menos inclusivos, restritos por aspectos técnicos e poder individual.

Figura 3: Parâmetros para seleção dos participantes, difusão de informações e distribuição de poder em processos de decisão



Fonte: elaborada pela autora baseado em [FUNG, 2006b]

A partir desses parâmetros, o autor desenvolve o Cubo Democrático, um mecanismo de governança para esses processos e que permite avaliar a participação pública em audiências públicas e agências. Essa avaliação pode ser expandida para a verificar a participação de diversos grupos em diferentes processos, como, por exemplo, a participação de grupos de consumidores em decisões do setor elétrico.

2.2 Considerações para aspectos de viabilidade de tecnologias para Geradores Distribuídos

A expectativa de crescimento na geração por fontes renováveis nos próximos anos [BLOOMBERGNEF, 2018] ainda esbarra com questões quanto à validade do seu uso na rede, incluindo questões legais e regulatórias. Os custos da infraestrutura em relação à eficiência e altos custos de geração, aliado a fatores como a intermitência e impactos dessas fontes no setor elétrico são incertezas quanto à aplicabilidade no fornecimento [EUROBAT, 2016], [AGENCY, 2018].

Como solução para ampliar a geração de energia elétrica por fontes renováveis, discute-se a ampliação da Geração Distribuída como alternativa. Esse tipo de geração adia investimentos em transmissão e distribuição, aproxima a geração do consumidor final, possibilita a redução no carregamento das redes e a minimização das perdas, beneficia a geração limpa e amplia a resiliência da rede. Como uma estrutura auxiliar à geração distribuída, os sistemas de armazenamento de energia, com destaque para as baterias, são apresentados como a tecnologia que poderá reduzir os efeitos da intermitência das fontes renováveis, ampliando a segurança energética e o encontro da demanda, e permitindo o acesso à serviços modernos de energia elétrica [EUROBAT, 2016], [GALLO et al., 2016], [COMMISSION,]. Sob esse ponto de vista, os sistemas de armazenamento, especialmente do tipo baterias poderão ser a tecnologia que direcionará a transição energética nos próximos anos.

O armazenamento para energia elétrica é uma tecnologia aplicada em diferentes momentos da vida diária, como, por exemplo, em dispositivos eletrônicos. Com a crescente preocupação com a emissão de carbono por uso de combustíveis fósseis, a importância desse sistema para uso em veículos elétricos e em centrais geradoras, para ampliar a penetração de fontes não renováveis, implicou em aumento de interesse por essa tecnologia, especialmente quanto à redução de custos e melhoria de design e material que permitisse a redução de perdas e o aumento do ciclo de vida das baterias [WHITTINGHAM, 2012]. Destaque para os avanços em baterias eletroquímicas, ou seja, aquelas em que a energia elétrica é armazenada como energia química e posteriormente convertida em energia elétrica.

O destaque das baterias do tipo eletroquímica é, por equilíbrio entre custo e maturidade tecnológico, o lítio [WHITTINGHAM, 2012]. Após pesquisas nos anos 70 para melhorar a capacidade de recarregamento dessas baterias, com o desenvolvimento de técnicas de intercalação com íons ou moléculas cristalinos na estrutura sem alterar as suas propriedades. Nos anos futuros, as pesquisas foram focadas em melhorar a qualidade do material, com foco no ânodo e cátodo e em aumentar a estabilidade das conversões, para tornar a solução comercialmente hábil. A expectativa, no momento, é quanto às melhorias no material, visando o crescimento de

baterias em maior escala, e a pesquisa por soluções de baixo custo e maior grau de simplicidade para aplicação em residências e locais de menor escala [WHITTINGHAM, 2012].

Há diferentes tipos de tecnologias para armazenamento de energia, como *Pumped Hydro-electricity Storage*, *Supercapacitor*, *Battery Storage*, *Compressed Air Energy Storage*, entre outros [GUNEY; TEPE, 2017]. O tipo de sistema dependerá dos níveis de hábitos e atividades do consumidor, confiabilidade e custo [GUNEY; TEPE, 2017]. Os benefícios relacionados ao emprego dessa tecnologia são importantes para o desenvolvimento de uma nova realidade na demanda e fornecimento de energia. No entanto, as responsabilidades entre os beneficiados e interessados, bem como políticas de emprego desse tipo de sistemas ainda se encontram diluídos em grande parte dos locais onde ela já se encontra em desenvolvimento. O ressarcimento à prestadores de serviços, quais serviços esses sistemas estão aptos a atender, garantia de segurança da rede e de qualidade no atendimento, e operação dos sistemas ainda são questões em desenvolvimento [EUROBAT, 2016],[USERA et al., 2017].

Líderes em projetos que empregam tecnologias de armazenamento de energia, setores nos Estados Unidos e Europa desenvolveram documentos referentes a discutir políticas e papéis necessários para sua utilização. Destacam-se o documento questionamentos quanto a definição de políticas e estratégias de mercado para incentivar o emprego dessas tecnologias [UGARTE SERGIO, 2015]. Focando na criação de um mercado único de energia, o documento estabelece cinco dimensões: segurança e confiança, integração do mercado de energia europeu, eficiência energética contribuindo para controle da demanda, descarbonização da economia, inovação e competitividade - para fortalecer esse mercado. O documento complementa que a utilização e desenvolvimento do armazenamento de energia valoriza o esse mercado integrado.

O texto detalha como o armazenamento contribui para a criação considerando as dimensões citadas, mas destaca que o posicionamento dessa tecnologia no mercado ainda precisa ser esclarecido. O documento questiona a propriedade e controle do armazenamento, em referência à segurança da rede e prover serviços auxiliares, o posicionamento do armazenamento nos ambientes regulatórios para medição, serviços de terceiros e operação da rede, parte financeira da rede, incluindo pagamento de impostos e taxas relacionadas à rede elétrica, criação de negócios específicos que permitam lidar com a múltipla funcionalidade do armazenamento.

Também é enfatizado no texto que o papel do armazenamento no mercado, especialmente em relação à outras opções já disponíveis, é flexibilizar a rede, mas destaca que estabelecer a posição da tecnologia pode ampliar investimentos e aumentar a competitividade [EUROBAT, 2016]. Uma das condições destacadas para a etapa corrente da transição energética é o seu direcionamento por políticas, e não por competitividade de custos [BLAZQUEZ; FUENTES-

BRACAMONTES; MANZANO, J. A orientação governamental, sob a perspectiva de redução de emissão de carbono, mas também sob estratégia de desenvolvimento social e posição econômica, estimulam a adoção de tecnologias e estabelecem regras e incentivos para ampliar a geração por fontes de geração renováveis [BLAZQUEZ; FUENTES-BRACAMONTES; MANZANO, J. As regras quanto à tarifa e incentivos fiscais, mas também apoio à pesquisa e desenvolvimento são pontos direcionados por políticas.

O desinvestimento em fontes não renováveis, e incentivos às políticas de preço e fornecimento estabelecem regras para mercado não somente focadas na geração, mas também no atendimento imediato à demanda e choque no fornecimento. A transição focada na tecnologia amplia o acesso à serviços modernos de energia elétrica, produzindo efeitos positivos no fornecimento e com possibilidade de redução de custos, mas precisa de regras e termos que estimulem mudanças significativas no fornecimento e atendimento à demanda [BLAZQUEZ; FUENTES-BRACAMONTES; MANZANO, J], e estabelecendo regras e novos modelos de negócio, a depender do estímulo praticado.

Esses estímulos, dessa forma, criam regras mais focadas nas preferências dos consumidores quanto ao uso de fontes renováveis e energia produzida mais próxima do consumo e independente de outros atores, alterando o papel dos consumidores finais e o acesso à tecnologia e sistemas. A possibilidade de atuação no setor, como fornecedor de serviços em menor escala como despacho para a rede ou acordo com outros usuários, alteram a forma como a energia elétrica, como uma commodity, pode ser negociada e a cadeia de valor.

O controle regulatório e central evita o desregramento em políticas de preços e regras para a pulverização de tomadores de decisão [BLAZQUEZ; FUENTES-BRACAMONTES; MANZANO, J. A competitividade, assim, poderia ser voltada para fomentar o uso de baterias conectadas na rede por meio de análise de barreiras legislativas e regulatórias atuais, forçando a revisão do papel desses sistemas e a revisão do seu papel no planejamento, evitando gargalos [EUROBAT, 2016],[ASSOCIATION, J. Alguns argumentos relacionados à capacidade de deslocamento temporal e consumo de energia por sistemas de armazenamento não permite a sua classificação como geradores; assim, questões quanto ao seu gerenciamento também são citadas como questões para esses sistemas, quanto ao seu posicionamento na rede [EUROBAT, 2016].

Nos Estados Unidos, a ESA (*Energy Storage Association*) é uma organização comercial com foco em pesquisa, inovação, incentivos financeiros referentes ao emprego de armazenamento no país. A associação apresenta como resultado da sua atuação a queda de barreiras legislativas referentes à remuneração e mercado interno de energia para terceiros que provém serviços relacionados ao emprego de armazenamento de energia. A associação apresenta o

plano de implantar 35 gW de potência em sistemas de armazenamento no país até o ano de 2025 e destaca que reguladores devem estabelecer regras quanto à participação do armazenamento no mercado e elementos para incentivos financeiros, garantir a inclusão de plantas de armazenamento na modelagem e planejamento da rede, estabelecer processos e padronizações justas e seguras para a provisão dos serviços, efeitos nas taxas, custos e medição desses sistemas [ASSOCIATION,].

Ainda que aspectos relacionados à regulação e padronização dos sistemas, questões relacionadas ao gerenciamento e à estratégia de mercado ainda carecem de delineamento [USERA et al., 2017]. Um dos principais pontos relacionados à padronização e descrição do BESS é a ausência de definição do papel do armazenamento de energia no setor elétrico, quanto à categorização como elemento de rede, geração ou até mesmo como uma categoria separada [USERA et al., 2017],[EUROBAT, 2016]. A escalabilidade do sistema também suscita dúvidas quanto a falta de transparência nas regras para a operação, propriedade e desenvolvimento de projetos de armazenamento, permissão de entrada de proprietários no mercado de venda da energia armazenada e a estruturação dos serviços possíveis de serem prestados [USERA et al., 2017].

A regulação pode definir e guiar a entrada de armazenamento de energia no mercado e na rede, e podem contribuir com a determinação de estratégias e padronizações que auxiliam a entrada desses sistemas no setor elétrico. A regulação deve, portanto, ser atualizada, para definir a melhor estratégia de operação e prestação de serviço desses sistemas. A regulação e a legislação ainda carecem de uma definição transparente dos papéis de proprietários, operadores de sistemas de armazenamento de energia, bem como definir estratégias financeiras para remuneração e pagamento de impostos do setor. Como uma das tecnologias que beneficiariam da regulação das tecnologias de armazenamento de energia, microrredes (em inglês, *microgrids*) está crescendo em importância e projetos ao redor do mundo.

Microrredes são definidas como um sistema elétrico que contém diferentes cargas elétricas e fontes elétricas distribuídas, e que podem ser controladas e monitoradas de maneira autônoma, como uma ilha, ou interligada à rede elétrica; a microrrede deve ser capaz de operar por um tempo controlado de maneira independente da rede principal, ainda que a definição não estabeleça qual o período mínimo de funcionamento [MARNAY et al., 2015]. Essas redes podem ser classificadas quanto ao tipo de armazenamento de energia empregado, fontes geradoras e tipos de cargas elétricas [MARNAY et al., 2015].

Além da propagação do uso de fontes renováveis de energia, a garantia de fornecimento de energia em caso de emergências ou para cargas mais sensíveis faz com que a quantidade de projetos de microrredes cresce de maneira acentuada no mundo. Como exemplo, cita-se Porto

Rico, território não incorporado americano, que submeteu documentos de proposta para o desenvolvimento de microrrede no país (*Case N° CEPRMI-2018-0001*) no final de 2017. Outro exemplo é a microrrede da Universidade de Illinois já capaz de funcionar de maneira independente da rede elétrica e provendo energia para aproximadamente 190 residências, em casos emergenciais [UNGER,].

A Comissão de Energia de Porto Rico (CERP), com o objetivo de garantir o fornecimento de energia na ilha em caso de outros desastres naturais, registrou potenciais proprietários de microrredes, estabelecendo regras para a construção das mesmas como a utilização somente de fontes renováveis, CHP (Combined Heat and Power), ou um híbrido entre CHP e fontes renováveis [MERCHANT,]. Com o foco em ampliar a resiliência do território após os efeitos negativos da passagem do furacão Maria, em 2017, o governo porto-riquenho propôs o fortalecimento da rede elétrica. Para tal, o governo local estuda a implantação de microrredes pelo território, permitindo que, em caso de desastres ambientais como o citado, o país consiga se reestruturar rapidamente [CUOMO ANDREW; ROSSELLÓ, 2017].

O governo formou um grupo de estudos para definir o método mais apropriado para implantar as microrredes. Esse grupo de estudo foi composto por centros de pesquisa, empresas do setor, com destaque para empresas do estado de Nova York e Porto Rico, e empresas e alianças americanas [CUOMO ANDREW; ROSSELLÓ, 2017]. O estudo buscou estruturar a infraestrutura, destacando quais setores necessitam de rápida reestruturação, metodologias de reestruturação, alterações no planejamento energético do território e até custos previstos para a implantação das benfeitorias previstas.

O documento produzido como resultado dessa consulta [CUOMO ANDREW; ROSSELLÓ, 2017] é utilizado como fonte bibliográfica para os pontos resultantes dessa consulta pública. Em caso de outras fontes serem citadas, elas serão referenciadas durante o texto. O relatório anuncia que a calamidade oferece a oportunidade de reconstrução do sistema elétrico de Porto Rico. O foco, portanto, é fortalecer o sistema, torná-lo mais automatizado, mais eficiente, acelerar a recuperação do sistema e ampliar a oferta de energia gerada a partir de fontes renováveis, como solar e eólica. Para tanto, o grupo prevê o aumento na distribuição de tecnologias de recursos energéticos, isto é, ampliar a geração distribuída, tendo como base armazenamento de energia e microrredes.

Para obter sucesso na reconstrução da rede, o grupo de trabalho propõe medidas, de curto a longo prazo, que poderão ser implantadas na ilha. Desde a compra e instalação de Geradores a Diesel até a modificação do planejamento energético da ilha são medidas previstas; as decisões também incluir aumentar a automação da infraestrutura do setor, estimulando investimentos

e promovendo melhorias estruturais em todo o sistema elétrico, incluindo subestações, torres, linhas etc.

A proposta de investimento para a reconstrução e modernização da rede está estimada em 13,9 bilhões de dólares e as lições aprendidas durante a recuperação do sistema após a passagem do furacão irão apontar quais as próximas etapas. A proposta também visa utilizar equipamentos mais modernos para ampliar a troca de informação, baseado em Tecnologia da Informação e Comunicação, e aprimorar a operação dos equipamentos.

Para a rede de distribuição da ilha, o foco é ampliar a robustez de forma a garantir que ela suporte eventos climáticos mais severos. Para isso, a operação dos sistemas seria de responsabilidade da empresa responsável pelo setor elétrico nacional. Esse fato permitirá que a empresa tenha controle das fontes geradoras, desde as tradicionais até as distribuídas, e dos sistemas de armazenamento. Também a empresa ficará responsável por ligar ou religar os sistemas de armazenamento de locais considerados críticos, como hospitais; a reestruturação das áreas isoladas será também uma responsabilidade dessa empresa, e poderá ser feita remotamente.

A busca da ilha por uma infraestrutura para o setor elétrico a prova de eventos climáticos rigorosos está além de fortalecer a estrutura física, mas também de diversificar a matriz energética, a ponto de incluir esse termo como ponto vital para os planejamentos energéticos futuros da ilha. O grupo de trabalho determina que até 20% de toda a ilha deverá ser provida por fontes energéticas renováveis, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, importados. Em alguns casos, esses combustíveis também poderão ser substituídos por gás natural. A inclusão de fontes renováveis de energia visa, também, permitir que os recursos estejam mais dispostos ao longo do território e a busca por uma transição energética, para fontes mais limpas de energia.

Esse texto auxilia na compreensão de como estruturar uma rede elétrica local para suportar eventos climáticos extremos. A reestruturação empregando recursos distribuídos e uma infraestrutura mais diluída localmente facilita a recuperação. Também o fato de a operação ser de responsabilidade da empresa exclui a barreira de identificar responsáveis, em caso de emergências. O texto pouco trata de aspectos de operação e gerenciamento das microrredes, especialmente em caso de emergências; esse caso de exceção poderia prover informações e parâmetros aplicáveis para essas estruturas. Como o próximo passo da consulta pública é a estruturação da infraestrutura, também concernente à regulação e legislação, as próximas etapas da reestruturação das microrredes em Porto Rico são aguardadas.

Os exemplos de Porto Rico e Illinois mostram o crescimento da importância de microrredes, especialmente relacionado à aumento da resiliência e confiabilidade do sistema elétrico, e desenvolvimento na geração de energia por fontes renováveis. No entanto, diversas barreiras

ainda impedem uma maior disseminação da tecnologia. Cita-se, por exemplo, a indefinição de protocolos de comunicação e infraestrutura, incertezas quanto à tarifação e benefícios financeiros, impactos de microrredes para empresas do setor elétrico, especialmente quanto à operação e controle delas, e como realizar a conexão de microrredes no sistema elétrico convencional [MAIZE, 2017],[HATZIARGYRIOU et al., 2007]. À essa lista, soma-se a inexistência de marcos regulatórios, políticas e legislações específicas, que poderiam reduzir as incertezas e definir os papéis para o desenvolvimento dessa tecnologia.

Nos Estados Unidos, três estados estabeleceram grupos de trabalho para estudar o emprego de microrredes: Maryland, Califórnia e Nova York. Os três grupos de trabalho liberaram, entre os anos de 2014 e 2015, relatórios com recomendações para que o acesso e implantação de microrredes cresça nesses estados. Não há regulação específica para a utilização, acesso e construção de microrredes em nenhum estado do país, tampouco nos estados citados. O estado da Califórnia divulgou em 2014 um relatório sobre a perspectiva de regulação de microrredes e em 2015 um documento contendo recomendações para acesso e investimentos. O primeiro relatório aponta a definição do relacionamento de microrredes com a rede elétrica e problemas atuais das políticas e regulação. Esse relatório aponta que a rede elétrica convencional seja vista como um conjunto de microrredes. Dessa maneira, microrredes seriam conectadas como recursos da rede, capaz de realizar o despacho de energia, operando de maneira confiável, provendo serviços ancilares, como ajuste de frequência, recurso para alteração no padrão de carga e recurso consumidor de energia [MICROGRIDS. . . ,].

O documento ainda relata, como impedimento ao desenvolvimento de microrredes, o modelo atual dos serviços elétricos no estado: como uma forma de monopólio, que presta serviços de geração, transmissão e distribuição da energia, em todo o território. O texto ainda relata que, mesmo com a entrada de novos fornecedores independentes, uma mesma empresa fornecedora de serviços é a responsável por medir e cobrar os consumidores de energia [MICROGRIDS. . . ,]. Essas definições já estão presentes nos marcos regulatórios do estado. Os autores sugerem que essas definições sejam revistas quanto à conexão das microrredes, tarifas e cobranças, estado das cargas e situações passíveis de despacho de energia para o sistema. Os autores citam esses termos como necessários também para permitir a entrada de novos agentes no mercado, fato também descrito no documento sobre investimentos no setor [LAHIRI SUDIPTA; BYSTROM, 2015].

O estado de Maryland, com receio de se tornar vulnerável em caso de desastres naturais, também estabeleceu como foco disseminar o uso de microrredes. O relatório produzido cita a necessidade de reduzir barreiras para a entrada de terceiros no setor, ampliando assim a oferta de serviços [FORCE, 2014]. O grupo recomenda revisão de procedimentos de interconexão, fo-

cando na segurança e condições para isolar as redes, garantindo assim a segurança dos usuários e redução de custos. O documento também solicita revisão na metodologia de tarifas, focando em um cálculo para o fornecimento do serviço mais próximo dos serviços providos pela rede atual e valor para a sociedade.

No mesmo relatório, também é descrita a ausência de normas para a operação e gerenciamento de microrredes. No entanto, o documento detalha o papel das empresas fornecedoras de serviços quanto à modelagem, construção e operação de microrredes, e da possibilidade dessas empresas fornecerem serviços de geração e armazenamento de energia aos consumidores do varejo [FORCE, 2014].

2.2.1 Aspectos Técnicos para sistemas de armazenamento

Sistemas de armazenamento de energia são recursos que permitem a conversão de uma forma de energia para outra, apta a ser armazenada, e reconvertida quando for conveniente de ser utilizada. A primeira célula combustível é um pote de argila com um tubo interno enrolado em folha de cobre posicionado na extremidade superior de um disco de cobre [DĂNILĂ; LUCACHE, 2010]. Os primeiros estudos científicos referente à sistemas eletroquímicos de armazenamento de energia datam do século XVIII, com os experimentos de Alessandro Volta e Luigi Galvani sobre o uso de metais e determinados sais para a produção de energia elétrica [DĂNILĂ; LUCACHE, 2010].

No final do século XIX iniciam experimentos intensos de uso de processos eletroquímicos para gerar eletricidade, com o desenvolvimento dos dínamos e da energia elétrica [DĂNILĂ; LUCACHE, 2010]. Há registros de aumento de capacidade de armazenamento e geração de energia elétrica, e melhorias nos materiais do ânodo e cátodo com a finalidade de melhorar a performance do recurso [DĂNILĂ; LUCACHE, 2010],[WHITTINGHAM, 2012]. Há registros de projetos com o uso de células combustível para uso em telégrafos, e prover energia elétrica para cidades nos Estados Unidos [DĂNILĂ; LUCACHE, 2010], [HUGHES; HUGHES, 2004]

Ainda no mesmo período, após melhorias significativas nas tecnologias de motores e geradores para sistemas de corrente contínua, cientistas empregam baterias para resolver problemas de transmissão e distribuição durante a instalação de estações centrais em Nova York e Londres, permitindo que a energia fosse transmitida a maiores distâncias [HUGHES, 1993]. As baterias foram empregadas como método de equilibrar os custos, e permitindo a transmissão em grandes distâncias [HUGHES, 1993]. A transição de sistemas de corrente contínua por sistemas de corrente alternada causou a substituição das instalações baseadas em baterias, causando o abandono desses recursos por historiadores ainda que haja apontamento do uso de baterias em

subestações como forma de suprir a demanda por iluminação [HUGHES, 1993].

A cidade de Londres ainda empregou por algum tempo baterias para assegurar o fornecimento de energia, mesmo após a evolução para sistemas de corrente alternada, com foco nos custos e na expansão da infraestrutura de distribuição [HUGHES, 1993], [SCHALLENBERG,]. Após a fase da substituição dos sistemas de corrente contínua, o emprego e o desenvolvimento desses sistemas reduziram, mesmo com o emprego por serviços baseados em energia elétrica [HUGHES, 1993]. Com o desenvolvimento de diversos sistemas tecnológicos, progressos mais acentuados em sistemas eletroquímicos de armazenamento de energia aconteceram.

Com o crescimento da importância do uso de energia no setor de transportes, no começo do século XX há uma predominância por veículos elétricos, especialmente motivados por fatores sociais e tecnológicos da época [SCHIFFER, 1994]. Com o sucesso do *lobby* da indústria de petrolífera, os veículos elétricos, naquele momento, foram suplantados pelos veículos a combustão, o que postergou avanços referentes à veículos elétricos até o começo do século XXI [WHITTINGHAM, 2012],[SCHIFFER, 1994]. Com o crescimento na relevância de fontes renováveis de geração de energia elétrica, com destaque para as fontes eólicas e fotovoltaicas, há também o crescimento em pesquisas para tecnologias que permitam o aumento na penetração dessas fontes no setor elétrico, reduzindo os problemas de intermitência e o encontro da demanda [WHITTINGHAM, 2012].

Acentua-se após acordos ambientais e discussões acerca do uso de combustíveis fósseis como fonte principal de energia elétrica a pesquisa por uma tecnologia que facilitasse fontes renováveis de geração e tivesse melhor aceitação por parte da sociedade. Dessa forma, no século XIX se intensificam pesquisas para melhorar a capacidade e o ciclo de vida de baterias do tipo eletroquímicas [WHITTINGHAM, 2012].

Baterias é a forma mais conhecida para armazenar energia elétrica, e suas dimensões podem variar de tamanho para atender dispositivos eletrônicos como celulares, por exemplo, até aplicações que demandam alta carga [WHITTINGHAM, 2012]. Essa também é uma forma eficiente para armazenar energia, com energia despachada varia entre 60% e 90% em relação à energia injetada (*round trip efficiency*) [WHITTINGHAM, 2012], e se destaca a flexibilidade, confiabilidade e rápida resposta, modularidade e baixa emissão de gás carbônico quando em operação [CHAUHAN; SAINI, 2014].

O BESS, como um sistema que converte energia elétrica em energia química e, posteriormente e quando conveniente, converte novamente em energia elétrica, é classificado de acordo com os materiais em que é fabricado, determinando quando as reações químicas acontecem durante a operação, e desenho [CHAUHAN; SAINI, 2014], [GUNEY; TEPE, 2017]. Como

resultado dessa reação, a corrente elétrica é gerada para um determinado tempo e voltagem [GUNEY; TEPE, 2017].

As baterias são formadas por células eletroquímicas, por uma ou mais células, classificadas em categorias conforme a operação; as baterias também podem ter uma classificação secundária, caracterizada pela profundidade de descarga (*discharge depth*), e uma terceira classificação de acordo com as características do eletrólito, identificado como inundado ou molhado e selado [GUNEY; TEPE, 2017]. A primeira característica determina que uma célula primária é aquela que não pode ser carregada mais de uma vez, enquanto as células secundárias podem ser recarregadas.

Uma célula reserva é uma variação da célula primária, e são normalmente empregada em baterias que exigem armazenamento por tempos longos. Nesse caso, a célula reserva e a primária são diferenciadas pela forma de montagem, o que torna a célula reserva mais confiável em diversas condições dado o material de confecção e desenho [GUNEY; TEPE, 2017].

A segunda categoria classifica em baterias de ciclo profundo (*deep cycle batteries*, de característica mais voltada para aplicações renováveis, e ciclo raso (*shallow cycle batteries*. Por fim, as baterias do tipo inundado ou molhado (*flooded or wet*) são as mais empregadas em aplicações renováveis [GUNEY; TEPE, 2017]. Para cada tipo de célula há diferentes tecnologias de construção e possibilidades de materiais, e ainda é intensa a pesquisa por novos materiais e desenhos para baterias.

Um BESS é composto por três blocos principais: Operação do sistema, Bateria e Sistema de Conversão de Energia [HESSE et al., 2017]. O bloco de Operação do Sistema é composto pelos Sistemas Centrais de Gerenciamento, Monitoramento, Controle e Sistema Central Térmico. O Sistema Central de Gerenciamento Térmico controla todas as funções relacionadas à climatização do sistema de baterias - aquecimento, ventilação e condicionamento do ar. As tarefas do BESS são comandadas pelo *Energy Management System* (EMS), que tem a função de controlar o fluxo de energia, gerenciar o despacho da malha e realizar uma interface de outros sistemas como o *Battery Management System* (BMS) – monitoramento dos parâmetros de estado da bateria, e aplica os comandos do EMS na bateria -, *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), *Power Conversion System* (PCS) e sistema de climatização.

O bloco Bateria é composto pelos elementos *Rack*, Módulo e Célula. Os conjuntos de *Racks* são a união das células químicas que armazena energia através das conexões série e paralelo para atingir os níveis de tensão, corrente e potência solicitados. O BMS tem funções chave como proteger as células de operações prejudiciais em termos de tensão, temperatura e corrente para garantir uma operação segura e confiável do sistema de armazenamento de energia e monitora

parâmetros como resistência interna da bateria, número de ciclos, compara quanta energia a bateria realmente armazena com o seu valor nominal, com a finalidade de determinar o estado da carga e o estado de saúde, realiza o balanceamento da tensão entre as células. Esses dados são repassados ao EMS que pode gerenciar o sistema baseado na melhor resposta para controle do fluxo de energia dentro dos limites da bateria. Há ainda o gerenciamento térmico da bateria, que regula a temperatura da célula de acordo com o que é especificado pelo fabricante, o que reduz os efeitos negativos ocasionados pela temperatura fora de padrão. O controle térmico deste bloco tem a função de prolongar a vida útil da bateria e manter a segurança.

O último bloco previsto para um BESS é o Sistema de Conversão de Energia, em que há um sistema eletrônico de conversão de energia Corrente contínua/Corrente Alternada(DC/AC) e AC/DC, controlado pelo EMS. O PCS também é afetado pela temperatura, com o objetivo de para manter os parâmetros elétricos nominais e de eficiência, e, por esse motivo, esse sistema também precisa ser monitorado e climatizado. Por fim, caso necessário, é introduzido um transformador para adequar a tensão de conexão do sistema com a rede elétrica principal.

A disponibilidade para comercialização e o possível equilíbrio entre investimentos e expectativas para a aplicação são pontos que determinam o propósito dessas tecnologias. Nos últimos anos, cresce a expectativa do emprego de baterias para emprego em diversas funções, como em larga escala, para atender mercado no nível da rede, mas também para mercados residenciais e comerciais [KIM; SUHARTO; DAIM, 2017]. As tecnologias disponíveis hoje dependem de critérios como finalidade do sistema de armazenamento, viabilidade econômica, tipo de projeto - o que inclui a localização do sistema -, e maturidade tecnológica para a escolha do sistema mais apropriado. Há a expectativa de que as tecnologias disponíveis atualmente ainda estarão aptas para a prestação de serviços no futuro próximo, e por isso alguns dos tipos mais comuns de bateria são apresentados. Para a descrição das baterias foram usadas as fontes [BEARD, 2019] e [HEALY; BARRY, 2017].

2.2.1.1 Baterias de chumbo-ácido (Pb-ácido)

A baterias de chumbo-ácido (Pb-ácido) são construídas com duas placas de diferente polaridade, um ânodo de dióxido de chumbo e um cátodo de chumbo, isoladas por separadores e imersas em um eletrólito de ácido sulfúrico diluído. As placas atuam para reter a matéria ativa e conduzir a corrente elétrica, armazenando a energia.

Durante o processo de carga, o eletrodo positivo tem um depósito de dióxido de chumbo e o negativo acumula chumbo. Esse processo acarreta a liberação de ácido sulfúrico ao eletrólito, aumentando a concentração. Ao descarregar-se, a reação química que ocorre faz com que tanto

a placa positiva quanto a negativa tenham um depósito de sulfato de chumbo, absorvendo ácido sulfúrico do eletrólito e, conseqüentemente, diminuindo sua concentração. Esta mudança pode ser medida com um densímetro, que permite verificar o SOC. Contudo, o processo não é completamente reversível. Pequenas quantidades de sulfato de chumbo não voltam a se dissolver (sulfatação).

Como resultado do processo de carga/descarga, a capacidade da bateria diminui, que é maior conforme a DoD. Se for utilizada apenas uma parte da capacidade da bateria, então a diminuição é relativamente pequena, pelo que a vida útil da bateria, isto é, o seu número de ciclos, aumenta consideravelmente para operações caracterizadas por pequenas descargas.

O chumbo puro é demasiado macio para ser utilizado diretamente nos eletrodos da bateria, e elementos químicos como o cálcio (Ca), o antimônio (Sb) e a prata (Ag) são adicionados aos eletrodos das baterias (ligas) com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas e reduzir a perda de matéria ativa. As ligas das grades são classificadas em chumbo-antimônio (PbSb), chumbo-cálcio (PbCa) e chumbo-cálcio-prata (PbCaAg). Quando essas baterias são submetidas à altas temperaturas, há o aumento da capacidade total; apesar de ser uma vantagem, o aumento da taxa de autodescarga, redução do ciclo de vida e sulfatação acelerada em baterias que não estão totalmente carregadas são alguns dos prejuízos sofridos durante essa exposição.

As baterias de chumbo-ácido podem ser classificadas em função do eletrólito em baterias ventiladas - úmidas - e baterias reguladas por válvulas (*Valve Regulated Lead Acid*, VRLA). As baterias ventiladas são aquelas que possuem eletrólito líquido e livre dentro da célula e que permitem a adição de água durante a vida útil. Emitem quantidades consideráveis de gases e não podem ser instaladas junto com equipamentos eletrônicos. Cada célula da bateria possui uma abertura superior, chamada de bujão de enchimento, usada para o enchimento inicial da bateria e a saída de gás oxi-hidrogênio durante o processo de recarga. Esta abertura implica que o eletrólito pode-se derramar acidentalmente fora da bateria, apresentando riscos durante o transporte dela. Esta característica torna as baterias ventiladas inadequadas para a maioria das aplicações portáteis. Além disso, a perda constante de hidrogênio conduz a uma redução de água no eletrólito, precisando assim de manutenções periódicas para repor o nível do eletrólito.

Os primeiros momentos da gasificação proporcionam uma homogeneização do eletrólito devido ao movimento causado pelas bolhas dos gases liberados. Esta homogeneização é um fator muito importante para evitar a estratificação, que consiste no aumento da densidade do eletrólito, na medida em que se caminha para regiões mais internas, e que provoca a corrosão das partes mais inferiores das grades onde está impregnada a matéria ativa. O uso estratégico de carga adequadas para prevenir a estratificação é importante e deve ser considerada pelas

unidades de condicionamento de potência utilizadas para o carregamento das baterias.

As baterias reguladas por válvula, popularmente denominadas seladas, possuem eletrólito imobilizado na forma de gel ou em separadores de fibra de vidro (*Absorbed Glass Mat*, AGM), e não necessitam adição de água e emitem uma quantidade de gases desprezíveis. Por esse motivo, essas baterias podem ser instaladas junto aos equipamentos eletrônicos. Devido à sua construção, não necessitam de ventilação, podendo ser montadas em qualquer posição. Por esta razão, são também conhecidas como baterias livres de manutenção.

O gel eletrólito das baterias VRLA-Gel é composto por ácido sulfúrico com sílica. A adição da sílica ao ácido sulfúrico produz um efeito de espessamento no eletrólito, não necessitando reabastecimento, pois nesse estado não existe evaporação. Já as baterias VRLA-AGM diferem das do tipo gel, em que o ácido sulfúrico é imobilizado através da absorção em separadores formados por uma manta de microfibras de vidro absorvente, não apresentando eletrólito livre dentro do vaso, impedindo derrames acidentais de ácido. Este tipo de bateria também apresenta uma baixa taxa de emissão de gases sendo também livres de manutenção.

Ambos os tipos empregam como um dos componentes principais uma válvula reguladora de pressão interna destinada a aliviar o excesso de hidrogênio produzido durante o processo de recarga do elemento. A válvula também impede que o oxigênio da atmosfera seja admitido na reação química, o que prejudicaria o rendimento e a vida útil do dispositivo. O gás produzido durante os ciclos de carga e descarga são recombinados no interior do elemento e retornam para a composição do eletrólito. A baixa quantidade de gás liberado por uma bateria do tipo VRLA, operando em condições normais e carga e temperatura, é completamente livre de componentes corrosivos e representa um volume quase desprezível quando comparado com baterias ventiladas.

As principais vantagens das baterias VRLA em relação às ventiladas são a ausência de problemas de estratificação e reduzida sulfatação do ácido; maior ciclo de vida quando operadas em condições controladas de temperatura ambiente; não liberação de gases e invólucro completamente selado; ausência de cuidados de manutenção, uma vez que não existe a necessidade de repor o nível do eletrólito durante o seu tempo de vida. Já como desvantagens, pode-se citar a maior dependência da vida útil com a temperatura; necessidade de controladores de carga adequados às suas características, dado que as baterias VRLA são altamente sensíveis a sobrecargas; impossibilidade de checagem do nível da carga por meio de aparelho de medição da concentração do ácido, indicativo da densidade do eletrólito.

A bateria chumbo-ácido é amplamente conhecida por seu uso em automóveis e é composta por placas planas - eletrodos positivo e negativo - e pelo fluido eletrólito; a matéria ativa pode

ser simplesmente espalhada na estrutura da grelha o que justifica o seu baixo custo de produção. Essas baterias podem ser construídas com muitas placas finas, resultando em uma extensa superfície ativa. A corrente inicial será alta para um curto período, dada a característica de seu uso, fato que reduz a capacidade da bateria e o tempo de vida útil da bateria. Por este motivo, a aplicação de baterias desse tipo é desaconselhada em sistemas elétricos que demandam DoD maiores que 50%.

Em contraste com as referidas baterias, os acumuladores utilizados em aplicações fotovoltaicas são constituídos por placas espessas com o foco na ampliação do ciclo de vida. Para isso, as grelhas de chumbo são endurecidas com um aditivo de antimônio (Sb) e o eletrólito possui um conteúdo ácido ligeiramente inferior para reduzir a corrosão e aumentar a vida útil da bateria. Os dois tipos de baterias chumbo-ácido mais comumente utilizados em sistemas de armazenamento de energia que demandam ciclos profundos de descarga, têm sido as baterias ventiladas com liga de baixo-antimônio nas placas positivas e baterias VRLA-GEL com liga de cálcio nas placas positivas. Mais recentemente, as baterias VRLA-AGM começaram a entrar também neste segmento do mercado.

As baterias ventiladas com liga de baixo antimônio nas placas positivas possuem placas empastadas de média espessura, e são geralmente contidas em invólucros de plástico transparente para facilitar a inspeção do nível de eletrólito de cada célula e das condições físicas das placas e separadores. O uso do antimônio e placas de média espessura aumentam a vida cíclica das células para descargas profundas. A baixa porcentagem de antimônio reduz o efeito da gaseificação e da autodescarga. O principal inconveniente deste tipo de bateria é que, apesar da pequena quantidade de manutenção, ela necessita ser feita regularmente.

Pelo contrário, as baterias VRLA-GEL com liga de cálcio nas placas positivas não necessitam de manutenções periódicas. O único requisito de manutenção é que os terminais precisam ser limpos a cada 12 meses aproximadamente. Há duas desvantagens destas baterias quando utilizadas como ESS. Uma é a reduzida vida-cíclica para ciclos profundos em temperaturas ambiente elevadas quando comparadas com as placas positivas de baixo-antimônio. A outra desvantagem é que elas são sempre fornecidas com eletrólito. Isto dificulta seu transporte e aumenta o risco de deterioração durante o período de armazenamento, sendo necessário recarregá-las periodicamente enquanto estiverem armazenadas, para evitar a ocorrência de sulfatação.

Para operações permanentes, durante períodos que vão de dez a quinze anos, e para aplicações de armazenamento de médio e grande porte, as baterias de placas tubulares ou estacionárias fornecem uma quantidade maior de energia uniforme e confiável em relação às baterias de placa plana do mesmo tamanho. As baterias de placas tubulares estão disponíveis como baterias ven-

tiladas do tipo OPzS (*Ortsfeste Panzerplatte Spezial*), que contêm eletrólito fluido e separadores especiais, ou como baterias seladas VRLA, com eletrólito de gel e válvulas de segurança do tipo OpzV (*Ortsfeste Panzerplatte Verschlosse*).

Estes produtos são confiáveis e possuem várias décadas de existência, sendo amplamente utilizados em aplicações solares autônomas. Diferenciam-se das baterias solares e de arranque pelo desenho dos eletrodos positivos, que são constituídos por placas tubulares. Nestas placas existem tubos permeáveis que rodeiam as varetas, através dos quais passa o eletrólito. O tubo protetor mantém mecanicamente a matéria ativa no espaço interior e limita a sedimentação, dada a queda de finas partículas de matéria ativa no fundo da caixa da bateria.

As placas tubulares são particularmente estáveis, incrementando os ciclos de vida da bateria, que para as baterias OPzS e OPzV é significativamente maior em comparação às demais. Para uma DoD de até 50%, as baterias OPzS e OPzV têm um ciclo de vida útil de aproximadamente 1500 ciclos, atingindo os 3500 ciclos quando a DoD não ultrapassa 30% da sua capacidade nominal. As baterias OPzS requerem cuidados de manutenção em períodos que variam entre seis meses e três anos, e as baterias OPzV dispensam qualquer intervenção em termos de manutenção.

A temperatura ambiente ótima para o uso das baterias estacionárias varia entre vinte e 20°C e 30°C, embora temperaturas entre -40°C e 50°C sejam toleradas. Elevadas temperaturas incrementam a autodescarga, reduz a vida útil e causa outros efeitos adversos.

As baterias de bloco de eletrólito fluido também estão classificadas entre as baterias estacionárias. Os eletrodos positivos neste caso são placas planas, um compromisso entre as placas radiais - grelha - e as placas tubulares. As varetas não estão encaixadas individualmente, mas sim inseridas em um elemento protetor comum. Consegue-se assim simplificar o processo e reduzir os custos de fabricação em relação às placas tubulares, mantendo uma expectativa de vida superior à das placas radiais. Os eletrodos negativos da bateria de bloco são novamente radiais.

As baterias de bloco caracterizam-se pela sua elevada confiabilidade e ciclos de vida. Em condições normais atingem ciclos na ordem de 600 ciclos para 75% de profundidade de descarga e de 2500 ciclos para 30%. Este tipo de bateria é frequentemente utilizado em sistemas fotovoltaicos na Europa, dado que mesmo as pequenas intensidades de corrente podem ser aproveitadas para a recarga.

2.2.1.2 Baterias Níquel-Cádmio

A bateria de níquel cádmio (NiCd) foi o segundo tipo de pilha ou bateria recarregável a ser desenvolvida. A primeira foi o acumulador de chumbo-ácido. As baterias níquel-cádmio têm estrutura física similar às de chumbo-ácido. Só que ao invés de placas de chumbo, utilizam-se hidróxido de níquel para as placas positivas, e óxido de cádmio para as placas negativas. O eletrólito é o hidróxido de potássio, que é um álcali, tão prejudicial quanto o ácido sulfúrico das células chumbo-ácido. Estas baterias tem alta resistência a baixas temperaturas sem alterações de alto impacto no desempenho, e temperaturas elevadas têm menor efeito em comparação com as baterias chumbo-ácido.

As baterias de níquel-cádmio são menos afetadas por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas, não estão sujeitas à sulfatação e seu carregamento não sofre influência da temperatura. Além disso, o curto-circuito que pode danificar as baterias de chumbo-ácido não são demasiado perigosos para as baterias de níquel-cádmio. Todavia, o metal cádmio é raro, tóxico e, de difícil manuseio. Outra diferença para as células chumbo-ácido é que as células de níquel-cádmio podem sofrer ciclos profundos e ser deixadas descarregadas, sem causar qualquer prejuízo às placas. Uma desvantagem das células níquel-cádmio é que os meios de medição do SOC não são simples. Isto deve-se ao fato de existir muito pouca variação da tensão e do peso específico do eletrólito, durante a descarga. Desta forma, não há possibilidade de indicação do momento em que a bateria se encontra completamente descarregada, o que é um inconveniente para os usuários.

Uma forma de contornar o problema, para determinar o SOC das baterias NiCd, é usar uma unidade de controle sofisticada que revela a carga em ampère-hora, calculando-a automaticamente, através de medições contínuas do fluxo de corrente e as perdas envolvidas. As baterias de níquel-cádmio podem sofrer de um problema chamado *efeito memória*. Quando isso ocorre, a bateria deixa de ser carregada totalmente por sua composição química dando sinal de que a carga está completa. O efeito memória acontece quando resíduos de carga na bateria induzem a formação de pequenos blocos de cádmio.

As baterias de níquel cádmio, de forma similar às de chumbo-ácido, podem ser classificadas em função do eletrólito em baterias ventiladas e baterias reguladas por válvula VRLA, do tipo seladas. O projeto pioneiro e mais confiável para baterias de NiCd - aquelas de primeira geração - é a construção de placas tipo bolsa (*pocket plate*) ventiladas. Os materiais ativos são encapsulados entre fitas de aço dobradas que são perfuradas em ambos os lados. Este modelo duplamente perfurado garante à placa uma área útil superficial 30% maior. Quanto maior a área útil maior a capacidade máxima de carga. O eletrólito alcalino reage somente com a placa e

não com a estrutura de aço, eliminando assim a chance de falha mecânica interna. Consequentemente, a bateria torna-se forte o suficiente para suportar qualquer choque ou vibração que possam ocorrer.

O conjunto de separadores são feitos de polipropileno/Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) resistente que são quimicamente inertes. Os elementos estão disponíveis em recipientes de polipropileno, podendo suportar tensões mecânicas, choques e vibrações, não perdendo sua resistência mesmo em temperaturas extremas, com uma ótima isolamento e boa resistência a corrosão. Além disso, a translucidez natural do polipropileno permite uma visibilidade visual do nível do eletrólito, facilitando a manutenção. Este tipo de bateria suporta vários tipos de operação inadequada como sobrecarga, descarga profunda, carga reversa acidental e pode ser armazenada em qualquer estado de carga. Além disso, podem ser carregadas por qualquer método ou carregador conhecidos ou disponíveis como por exemplo, carregador decrescente, carregador de corrente constante, carregador de tensão constante ou flutuação. A segunda geração de baterias de níquel-cádmio, denominadas de placas sinterizadas (*sintered plate*) começou a ser desenvolvida nos anos 1940. A placa sinterizada é construída de forma mais fina do que a placa tipo bolsa (0,4 a 1,0 mm), resultando assim, em uma resistência interna inferior com melhor desempenho a baixas temperaturas. É elétrica e mecanicamente resistente, muito confiável e exige pouca manutenção podendo ser armazenada por longos períodos com ou sem carga.

Este tipo de bateria é utilizado principalmente em aplicações de alta potência, tais como turbinas de aeronaves e partida de motores Diesel. A bateria é apropriada pra aplicações que exigem uma alta potência de pico e recarga rápida. O custo de fabricação das baterias de placas sinterizadas é muito elevado e complexo. Utiliza-se uma grande quantidade de níquel e é impraticável para células maiores do que 100 Ah.

A terceira geração de baterias de NiCd utiliza eletrodos de fibra de níquel-cádmio. O eletrodo de fibra de níquel-cádmio empregado neste tipo de bateria é de alta eficiência, pois 90% dos materiais que constituem as placas são materiais ativos. A estrutura tridimensional possibilita alta densidade de condução da energia, mínima resistência interna e assegura que todo o material ativo seja envolvido nas reações eletroquímicas durante o fluxo de corrente na carga e descarga, razão pela qual é considerada uma bateria de excelente desempenho elétrico. As baterias com fibra de níquel-cádmio utilizam materiais ativos isentos de grafite e ferro. A ausência do grafite previne a formação do carbonato, responsável pela necessidade de troca de eletrólito durante a vida e, a ausência de ferro reduz o nível de manutenção. O eletrodo de fibra de níquel-cádmio absorve choques mecânicos e vibrações, devido a sua natureza elástica. Junte-se a isso as dilatações das placas durante os ciclos de carga e descarga, resultando uma bateria capaz de oferecer mais que 3000 ciclos a 50% de profundidade de descarga. Este tipo

de bateria possui uma larga gama de capacidade para aplicações que envolvem de baixas intensidades de corrente de descarga até altíssimas intensidades, como por exemplo partidas de motores de grande potência.

2.2.1.3 Baterias de níquel-hidretos metálicos

A tecnologia das baterias de níquel-hidretos metálicos (NiMH) data do final da década de 1980, e a comercialização teve início no Japão em 1990. Apesar de ser uma tecnologia posterior a de NiCd, as baterias de NiMH apresentam funcionamento bastante semelhante com suas antecessoras. Fundamentalmente a diferença introduzida relativamente às baterias NiCd reside na alteração dos materiais que constituem o cátodo, uma liga de elementos metálicos que serve para anular o indesejável efeito de memória.

As baterias NiMH empregam hidrogênio na forma de hidreto metálico ao invés de cádmio em seu eletrodo negativo. Pelo fato de o hidreto metálico ser mais denso que o cádmio, existe uma maior presença de níquel no eletrodo positivo da bateria, dando à bateria de NiMH maior capacidade de fornecer energia nas mesmas condições do que as de NiCd. Além disso, outra vantagem com relação à de NiCd consiste em ser menos tóxicas.

Embora esta tecnologia seja utilizada atualmente em pequena escala - em equipamentos eletrônicos portáteis como celulares e notebooks - a sua utilização em grande escala está crescendo rapidamente devido às suas vantagens técnicas em relação as outras tecnologias. Aplicações na indústria e na área automotiva é o grande nicho de aplicação desta tecnologia. Entre as principais vantagens das baterias NiMH podem ser incluídas a flexibilidade no tamanho das células, entre 0,3 Ah a 250 Ah; operação segura em tensões elevadas (valores acima de 320V); excelente densidade energética; alta tolerância ao abuso da descarga e sobrecarga; não requerem cuidados de manutenção; alta tolerância as variações de temperatura; dispensam o uso de controladores de carga sofisticados; circuitos de carregamento simples e baratos atendem as necessidades; materiais utilizados na manufatura ambientalmente aceitáveis e recicláveis.

Entre as desvantagens das baterias NiMH cita-se a redução da vida útil da bateria por repetidos ciclos de carga e descarga profunda - seu desempenho se deteriora após 200 a 300 ciclos; corrente limitada de descarga, embora as baterias NiMH possam fornecer altas correntes de descarga, repetidas descargas com altas correntes podem reduzir a vida útil da bateria; melhores resultados são conseguidos com correntes entre 20 e 50% da corrente nominal; alta taxa de autodescarga. As baterias de NiMH se auto descarregam em torno de 50% mais rápido que as baterias de NiCd.

O metal ativo do eletrodo positivo da bateria NiMH, no estado carregado, é o oxy-hidróxido

de níquel. O material ativo negativo, no estado carregado, é o hidrogênio na forma de hidreto metálico. Esta liga metálica é capaz de sofrer uma reação reversível de hidrogênio no processo de carga da bateria. Uma solução aquosa de hidróxido de potássio é o componente principal do eletrólito. Durante a descarga, o oxy-hidróxido de níquel é reduzido a hidróxido de níquel e o hidreto metálico é oxidado.

O componente fundamental das baterias de NiMH são as ligas de armazenamento de hidrogênio. A composição da liga é formulada para que a bateria possa obter a maior capacidade de descarga e uma alta estabilidade de ciclos de carga – descarga. Dois tipos de ligas metálicas são geralmente utilizados. A primeira são as compostas de lantânio e níquel ($LaNi_5$), conhecidas como ligas da classe AB_5 . Outro tipo comumente usado é a liga do AB_2 , em que tanto a parte A quanto à parte B podem ser um metal de transição, e apresentados geralmente como $ZrNi_2$. Em ambos os casos, os metais são substituídos por outros com a finalidade de melhorar as características de desempenho. Estas substituições são os principais métodos de desenvolvimento de novas ligas de armazenamento de hidrogênio.

Do ponto de vista das características construtivas dos eletrodos, as baterias de NiMH podem ser classificadas em baterias de eletrodos cilíndricos, prismáticos e botão. A construção em formato cilíndrico é a mais conhecida e utilizada comercialmente. Os eletrodos são concebidos com estruturas altamente porosas com uma grande área superficial para proporcionar uma resistência interna baixa. O eletrodo positivo nas baterias NiMH de eletrodo cilíndrico é altamente poroso, podendo ser sinterizado ou eletro depositado em substrato de níquel. O eletrodo negativo, de forma semelhante, é uma estrutura altamente porosa com uma folha de níquel perfurada ou tipo grelha.

As baterias de NiMH podem também ser classificadas em função do eletrólito em baterias ventiladas e baterias seladas. A célula de NiMH selada utiliza um mecanismo de recombinação de oxigênio para evitar o acúmulo de pressão que pode resultar da geração de gases no final do processo de carga da bateria.

2.2.1.4 Bateria íon-lítio

Um acumulador de íons de lítio (Li-íon) é constituído basicamente por um catodo de lítio, um anodo de carbono poroso e um eletrólito composto por sais de lítio num solvente orgânico, solução não aquosa. Estas baterias são leves e tem um tempo de vida útil elevado, podendo ser carregadas com correntes altas, tal como as NiCd. As principais desvantagens deste tipo de baterias residem no preço elevado, devido à complexidade de fabricação provenientes de circuitos especiais para proteger a bateria, e o efeito prejudicial que a descarga profunda tem no

seu ciclo de vida.

Suas vantagens são diversas e variadas sendo justamente por isso que elas são empregadas em larga escala nos novos eletrônicos. Não-tóxicas, com capacidade de carga duas vezes maior que as de NiMH, três vezes maior que as de NiCd e quatro vezes maior em relação às baterias de PbA, sem efeito memória e mais leves, afinal o lítio é um dos metais mais leves já conhecidos. A densidade do lítio também permite a criação de baterias com maior capacidade. Como o lítio é um elemento pequeno e leve, as baterias de lítio apresentam maiores níveis de potência e energia por unidade de massa. Portanto, para aplicações em que o tamanho e o peso são requisitos importantes, as baterias de Li-íon tornam-se candidatas naturais.

Outro ponto que dá muito mais vantagens às baterias de Li-íon é o fato destas baterias dispensarem ciclos completos de cargas, ou seja, não é necessário esperar a carga acabar para carregá-la novamente e quando carrega não é necessário esperar até ela ser completamente carregada. Estas baterias, porém, demandam um cuidado maior por parte de seus usuários, como por exemplo, a não exposição a altas temperaturas que podem causar danos definitivos e até mesmo sua explosão.

Como no caso das baterias de NiMH, o grande nicho de aplicação das baterias de Li-íon é a área automotiva. Embora o princípio de funcionamento de uma bateria de íon-lítio pareça semelhante ao dos demais tipos de baterias, ele é diferente pelo fato de o íon de lítio não passar por reações de oxirredução. Dessa forma, os íons de lítio são transferidos do eletrodo negativo para o positivo por meio do eletrólito, ou seja, juntam-se aos materiais do ânodo e do cátodo. Essa propriedade é fundamental para o desenvolvimento da tecnologia dessa bateria.

As baterias de íon-lítio não são de um tipo único, mas uma categoria de baterias que utiliza o lítio como componente, geralmente no cátodo e no eletrólito. Nessas baterias, os anodos e catodos podem conter variados materiais em suas composições. O material mais frequente para os anodos é a grafite (C), enquanto os catodos podem ser de vários tipos.

A bateria mais comum para aplicações comerciais é do tipo LCO, que equipa os telefones celulares e laptops, por exemplo. Nos automóveis em comercialização, é possível observar uma relativa variedade de tipos, sendo eles o NCA, LFP, LMO e LVP. As baterias de Li-íon estão começando a serem introduzidas no mercado de energia elétrica, tanto para aplicações conectadas à rede quanto nas aplicações isoladas. No entanto, sua viabilidade econômica, ainda é incerta.

Aparentemente, o custo das baterias de Li-íon é atualmente muito alto para que seja viável, no entanto, a viabilidade econômica dos sistemas de armazenamento em geral depende de muitos parâmetros, como, por exemplo, a relação entre geração e demanda, perfil de carga, e

o preço da eletricidade, o que dificulta uma análise técnico/econômica a longo prazo. Todavia, é evidente a necessidade de reduzir os custos das baterias de Li-íon para torná-las mais atraentes. Por não haver ainda uma tecnologia dominante nas baterias de íon-lítio, as melhorias para as tecnologias disponíveis são feitas baseadas em novos materiais e desenho. Sabendo que os acumuladores NiMH estão praticamente no seu limite de potência, estimada em 75 Wh/kg, as baterias de Li-íon ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento sendo que poderão atingir os 300 Wh/kg em pouco tempo.

Recentemente existiram desenvolvimentos no campo das nano fibras de carbono. Estas são cobertas com silício usando a deposição química, criando elétrodos mais leves e com maior capacidade de armazenamento de energia. Como resultado, espera-se no futuro conseguir armazenar até seis vezes mais energia do que nas baterias tradicionais de Li-íon. Todavia, ainda está por responder se é viável produzir ou não nano estruturas em grandes volumes de produção, e quais os seus custos associados.

Uma das grandes desvantagens das baterias de Li-íon está relacionada com a segurança e a operação equilibrada quando as células são interligadas em série e/ou em paralelo, pois o eletrólito opera em uma faixa bem-definida de tensão. Caso os limites sejam ultrapassados, podem ocorrer reações exotérmicas, culminando na explosão e queima da bateria. Isto acontece porque nestas condições o óxido metálico do catodo torna-se instável e reage com o oxigênio, podendo iniciar uma ignição do eletrólito e do lítio depositado no anodo. Uma maneira de viabilizar a utilização da bateria de íon-lítio é a introdução de um circuito eletrônico na célula, a fim de controlar sua operação, impedindo condições de risco (sobrecarga, temperatura elevada, curto-circuito externo). Se um dos limites é ultrapassado, o circuito desabilita a bateria, prevenindo a ocorrência desses riscos. É o sistema conhecido como *Battery Management System* (BMS), que, além de proteger a bateria, pode monitorar essas condições.

O maior custo associado à fabricação de baterias de Li-íon está concentrado na matéria prima e em seu processamento, que responde por 39% do total. Desta porcentagem, os catodos respondem por cerca de 14% do custo de uma célula, enquanto os outros três elementos - ânodos, eletrólitos e separadores - representam outro 14%; outros materiais somam 11%. Os demais custos de uma célula estão relacionados diretamente à escala de produção. Do ponto de vista das características construtivas dos eletrodos, as baterias de Li-íon podem ser classificadas em baterias de eletrodos cilíndricos e prismáticos. Formatos cilíndricos são utilizados geralmente em células pequenas (para valores abaixo de 4Ah), porém, em células de grande porte, formatos prismáticos de placas planas são mais comuns. Já do ponto de vista do eletrólito, as baterias de Li-íon são unicamente fabricadas no tipo selado.

2.2.1.5 Bateria de sódio-enxofre

Com o avanço da tecnologia, um tipo de bateria que vem sendo aplicado para armazenamento de energia em larga escala é o do tipo sódio-enxofre (NaS). A bateria NaS é um tipo de bateria construída a partir dos elementos químicos sódio (Na) e enxofre (S). Essa bateria possui uma alta densidade de energia, alta eficiência na carga e descarga (de 89 a 92%), longo ciclo de vida, além de ser construída a partir de materiais não muito caros.

Três vezes mais leve do que a de chumbo, a bateria de sódio é também mais adequada do que as de lítio para países de clima tropical, isto devido ao fato de a partir dos 40°C, a cada incremento de 10°C, a vida útil da bateria de lítio se reduz à metade. Por outra parte, devido a temperaturas de operação na faixa de 300 a 350°C, e ainda à natureza altamente corrosiva dos materiais empregados na construção de tais baterias, elas possuem manuseio e segurança problemáticos, sendo mais susceptíveis a aplicações estacionárias e em larga escala tais como armazenamento de energia para redes de energia elétrica. Todavia, alguns modelos mais recentes operam a uma variação de temperatura menor, de 245°C a 350°C.

Esta tecnologia possui um período de vida útil estimado entre os 12-20 anos, durante este período apresenta também uma perda de capacidade inicial de potência e energia na ordem dos 10%. Os custos de manutenção destes sistemas estimam-se em 0,5%/ano do custo do investimento, com capacidade cíclica razoável, entre 2.500-4.500 ciclos. Esta bateria torna-se mais econômica à medida que seu tamanho aumenta. Em aplicações comerciais estas baterias são organizadas em blocos para melhor conservação do calor e são armazenadas em caixas com isolamento a vácuo.

As baterias de NaS pertencem a uma classe de baterias elétricas de alta temperatura, que utilizam sal fundido como eletrólito. Por esta razão são comumente denominadas de baterias de sal líquido. Este tipo de bateria apresenta alta densidade energética devido à seleção adequada dos pares reagentes e à alta densidade de potência graças à alta condutividade do eletrólito de sal fundido.

Uma série de opções de bateria a base de sódio têm sido propostas ao longo dos anos, mas uma variante, referida como bateria de sódio-beta, tem se mostrado como a mais viável. Esta designação é utilizada devido a duas características comuns importantes: sódio líquido é o material ativo no eletrodo negativo, o eletrodo positivo é composto de enxofre fundido e a cerâmica beta-alumina - cerâmica com alta resistência à corrosão e alta dureza - é o eletrólito. As células devem operar a uma temperatura suficientemente elevada, 270°C a 350°C, para manter os materiais dos eletrodos ativos de forma a garantir a condutividade iônica adequada por meio da alumina.

Durante a descarga, o sódio, eletrodo negativo, é oxidado na interface sódio/beta-alumina formando íons de sódio. Estes íons migram através do eletrólito e combinam-se com o enxofre que está sendo reduzido no eletrodo positivo para formar pentassulfeto de sódio. O pentassulfeto de sódio é imiscível com o enxofre remanescente, formando assim, uma mistura líquida de duas fases. Após ser consumido todo o enxofre livre, o pentassulfeto de sódio é progressivamente convertido em polissulfuretos de sódio com progressivamente mais alto teor de enxofre. Durante a carga da bateria, estas reações químicas são invertidas.

Embora as características elétricas das células de NaS são dependentes do seu projeto, o comportamento geral da tensão pode ser previsto pelas leis da termodinâmica. Do ponto de vista construtivo, a configuração preferida pela maioria dos desenvolvedores de baterias de NaS é denominada de *sódio central*. Neste caso, o sódio é colocado no interior de um tubo no eletrólito. O recipiente de metal interno restringe o fluxo de sódio ao eletrólito, portanto, reduz eficazmente a quantidade de sódio que pode ser exposto ao enxofre no caso de falha na vedação. Por outra parte, para evitar a exposição dos reagentes das células à atmosfera exterior, são necessários vedantes herméticos, sendo que sua concepção física e materiais utilizados na fabricação dos mesmos são muito importantes por causa da elevada temperatura de operação da célula e a presença de líquidos corrosivos internos. Já as tentativas de fabricar eletrodos de placa plana, com desempenho satisfatório, têm sido infrutíferas até o momento. Problemas significativos foram relatados com os vedantes em torno do perímetro das placas, assim como problemas estruturais delas.

Configurações multitubo dos eletrodos também têm sido propostas para a obtenção de níveis de energia altos e vários protótipos têm sido construídos. Todavia, problemas associados à dificuldade de fabricação dos eletrodos, compartilhamento de reagentes dos eletrodos positivos, enchimento excessivo de alguns tubos durante a recarga e a incapacidade de evitar a autodescarga, têm evitado o desenvolvimento em grande escala desta configuração. Como mencionado anteriormente, aplicações estacionárias representam o grande nicho de utilização das baterias NaS. Quase todos os desenvolvedores de baterias NaS já adotou um projeto semelhante para os seus sistemas, que envolve o uso de módulos independentes, cada um com 10 a 50 kW de potência e 50 a 400 kWh de energia.

2.2.1.6 Baterias de Lítio-Polímero

A bateria de Lítio-Polímero se diferencia dos outros sistemas de baterias no tipo de eletrólito usado. O projeto inicial, anterior aos anos 70, usa somente um eletrólito seco de polímero sólido. Esse eletrólito se assemelha a um filme tipo plástico que não conduz eletricidade, mas

permite uma troca de íons, átomos eletricamente carregados ou grupos de átomos. O eletrólito de polímero substitui o separador poroso tradicional, que é embebido com eletrólito. O projeto de polímero seco oferece simplificações no que diz respeito à fabricação, rugosidade, segurança e geometria de perfil fino. Não há perigo de inflamação porque nenhum eletrólito líquido ou de gel está sendo usado. Com uma espessura de célula, medindo apenas poucos milímetros, aproximadamente 0,039 polegadas, projetistas de equipamentos são deixados à sua própria imaginação em termos de modelo, forma e tamanho. Para fazer uma pequena bateria de Lítio-Polímero condutora, um pouco de eletrólito com gel é adicionado. A maioria das baterias comerciais de Lítio-Polímero usadas hoje para telefones celulares é híbrida e contém eletrólito com gel. O correto termo para esse sistema é *Lítio-Íon-Polímero*.

Embora as características e desempenho das baterias Lítio-Íon e Lítio-íon- polímero sejam muito similares, a diferença da Lítio-Íon-Polímero é que usa um eletrólito sólido, substituindo o separador poroso. O eletrólito com gel é simplesmente adicionado para aumentar a condutividade de íon. Uma das vantagens da bateria de Lítio-Íon-Polímero, contudo, é a embalagem mais simples, porque os eletrodos podem facilmente ser empilhados. Atualmente, o empacotamento laminado similar ao usado em indústrias alimentícias está sendo usado.

Entre as vantagens para essa tecnologia estão o baixo perfil, com medida aproximada a um cartão de crédito são praticáveis; flexibilidade do modelo, não limitados por formatos padrão da célula; volume elevado, qualquer tamanho razoável pode ser produzido economicamente; leveza; maior resistência à sobrecarga; menor possibilidade de vazamento de eletrólito. Como desvantagens, incluem-se a baixa densidade de energia e contagem de ciclo diminuída, quando comparada à bateria de Lítio-Íon; alto custo.

2.2.1.7 Baterias de fluxo regenerativas

As baterias de fluxo regenerativas, também conhecidas como pilhas de combustível regenerativas, são sistemas de dois eletrólitos, sendo que ambos se encontram em estado líquido. Armazenam e liberam energia elétrica por intermédio de reações eletroquímicas reversíveis entre dois eletrólitos de soluções salinas, que ocorrem através da membrana da pilha de combustível regenerativa. Os eletrólitos circulam em dois circuitos separados. Este tipo de bateria supera as limitações das baterias tradicionais, as quais estão limitadas pela área de superfície dos componentes sólidos das reações químicas.

Na atualidade, as tecnologias maduras de baterias de fluxo incluem as baterias de zinco (ZnBr), sódio (NaBr), vanádio (VBr), polissulfeto de bromo (NaS-NaBr) e ferro-cromo (FeCr). Esta tecnologia tem a grande vantagem de facilmente aumentar a capacidade de armazena-

mento, sendo isto possível simplesmente com o acréscimo de tanques de eletrólito. Além disso, operam em temperaturas próximas da temperatura ambiente. Por outro lado, tem a desvantagem de difícil manuseio devido à baixa relação energia-volume assim como devido aos elevados custos de manutenção. Estas baterias têm sido objeto de pesquisas nos últimos anos para aplicações em veículos elétricos e armazenamento de energia em grande escala por parte das concessionárias de energia.

Uma bateria de fluxo regenerativa, quando carregada, apresenta uma diferença de potencial de circuito aberto de aproximadamente 1,5 V, a depender da concentração eletroquímica. É possível aumentar o potencial acrescentando módulos de células em série, com um eletrodo partilhado entre duas células, funcionando como cátodo em uma delas e tornando-se ânodo na outra. Os módulos são ligados eletricamente em série, de forma a se obter o potencial desejado em corrente contínua, e ligados hidraulicamente em paralelo, de modo a obter a capacidade de armazenamento desejada. A desvantagem da ligação série consiste no aumento das perdas que se produzem pela passagem da corrente pelos múltiplos eletrodos.

Para estes sistemas de armazenamento, os custos por kWh diminuem à medida que a capacidade de armazenamento aumenta, devido ao acréscimo de somente tanques de eletrólito.

2.2.1.8 Baterias de Bromo-Zinco

A tecnologia de bromo-zinco vem sendo desenvolvida principalmente para aplicações estacionárias de armazenamento de energia. A tecnologia oferece uma boa densidade de energia e flexibilidade de projeto, além disso, podem ser feitas a partir de materiais baratos e facilmente disponíveis através de processos de fabricação convencionais. A bateria de cloro-zinco foi a predecessora da bateria de bromo-zinco, sendo desenvolvida a partir dos anos 1960 e 1970.

Nas baterias de bromo-zinco, duas soluções aquosas (baseadas em zinco e bromo) armazenadas em reservatórios separados, fluem através das células eletrolíticas onde as reações eletroquímicas reversíveis são produzidas. Durante o processo de descarga, íons de brometo Br^- são convertidos em bromo Br_2 no eletrodo positivo, que reage com outras aminas orgânicas e cria um óleo espesso de bromo que se deposita na parte inferior do reservatório. Enquanto isso, no eletrodo negativo, os íons zinco positivos Zn^{2+} são convertidos em zinco metálico. Reações inversas ao descrito ocorrem durante o processo de carga da bateria. As células dos eletrodos são compostas por um composto de carbono-plástico e são separadas por meio de uma membrana microporosa de poliolefina.

Desde a concepção das baterias de bromo-zinco pela Exxon em 1970, esta tecnologia evoluiu a tal ponto que está disponível comercialmente em tamanhos de 1MW/3MWh para aplica-

ções de grande escala, com a capacidade de fornecer potência nominal durante dez horas. As principais vantagens podem ser listadas como alta capacidade de armazenamento e por longos períodos de tempo; elevada energia específica, entre duas a três vezes maior do que as baterias de chumbo-ácido; elevada eficiência energética entre 75% a 85%; ciclos de vida superiores à 2000 ciclos de carga e descarga em 100% de DoC sem qualquer dano; podem ser construídas a partir de plástico reciclado, reduzindo o custo de fabricação; rápido tempo de resposta; não emissão de poluentes perigosos; alta tolerância às sobrecargas.

Como desvantagens, lista-se a alta complexidade, em comparação às baterias convencionais; necessidade de bombas, sensores, unidades de controle durante o funcionamento; baixa densidade de energia, em comparação às baterias de íon-lítio; elevados custos de manutenção.

2.2.1.9 Baterias de Polissulfeto de Bromo

O funcionamento das baterias de polissulfeto de bromo baseia-se em reações eletroquímicas entre dois eletrólitos à base de sal: o brometo de sódio (NaBr) e o polissulfeto de sódio (Na_2S_x). Os eletrólitos são separados por uma membrana de polímero, o que só permite o intercâmbio de íons de sódio positivos. Durante o ciclo de carga, os íons de brometo (Br^-) são transformados em íons de tribrometo (Br_3^-) no eletrodo positivo. No eletrodo negativo, as partículas de sódio dissolvido (S_4^{2-}) no eletrólito de polissulfeto é reduzido a íons de sulfureto (S_2^{2-}). O ciclo de descarga é constituído pelo processo inverso.

A potência nominal e capacidade de energia deste tipo de baterias está na faixa dos 15MW e 120 MWh respectivamente, podendo atender a carga até por 10 horas contínuas. O rendimento energético do sistema é de 75%, aproximadamente, com um tempo de vida relativamente longo, superior a 15 anos. Entre as vantagens, lista-se a baixa taxa de autodescarga, permitindo o armazenamento da energia por longos períodos; os elementos químicos presentes nas baterias em abundância na natureza; elevada eficiência energética. A principal desvantagem está associada ao uso do bromo que é um gás tóxico, mas também são relacionadas a necessidade de bombas, sensores, unidades de controle, durante o funcionamento.

2.2.1.10 Baterias Redox de Vanádio

As baterias Redox de Vanádio possuem características similares as baterias de fluxo regenerativas anteriormente mencionadas, com a diferença do vanádio possuir a capacidade de ser explorado em quatro estados diferentes de oxidação, o que permite a substituição dos dois eletrólitos por um único elemento, e contribuindo para a não degradação da membrana. A energia é armazenada em dois reservatórios, um reservatório de anólito, eletrólito do anodo, e outro

católito, eletrólito do cátodo, contendo soluções de ácido sulfúrico. No reservatório anólito, V^{2+}/V^{3+} são usados como eletrólitos, enquanto os eletrólitos V^{4+}/V^{5+} são utilizados no reservatório católito.

Quando ocorre a reação eletroquímica, os eletrodos de carbono permitem o fluxo de elétrons através da carga, enquanto o equilíbrio elétrico é conseguido por meio da migração de um íon de hidrogênio através da membrana que separa os dois eletrólitos. Uma vez que os produtos das reações químicas permanecem dissolvidos nos eletrólitos, o processo inverso leva as soluções para seu estado inicial. Além disso, não existe o perigo de contaminação cruzada dos eletrólitos, uma vez que ambos contêm o mesmo tipo de íon metal. Atualmente, a tecnologia redox de vanádio está voltada a aplicações estacionárias de grande porte, principalmente por parte das concessionárias de energia elétrica. As baterias de fluxo de vanádio, associadas a conversores eletrônicos, podem ser empregados para o controle do fator de potência, regulação das variações de tensão provenientes das variações de carga, controle e estabilização da frequência, melhoria da qualidade de energia, compensando a distorção harmônica, e fornecimento de energia ininterrupta.

O seu uso em instalações fotovoltaicas e eólicas também é promissor, sendo uma das candidatas mais fortes para a substituição das baterias de chumbo-ácido convencionais nos próximos anos. A vida útil do sistema está em torno dos 15 aos 20 anos, com ciclos de descarga de 100% da profundidade de descarga. No entanto, enquanto os eletrólitos não requerem manutenção especial, é recomendável a substituição do separador da membrana a cada cinco anos. A sua eficiência em torno de 78%, resulta em um custo relativamente baixo para armazenar grandes quantidades de energia por longos períodos. A baixa energia específica e DoC - entre 25 a 35 Wh/kg e 20 a 33 Wh/litro, respectivamente -, reduz a potencial utilização desta tecnologia em aplicações não estacionárias.

Como vantagens para essa tecnologia, podem ser citados o rápido tempo de resposta; tempo de vida longo; tolerância às sobrecargas; facilidade de aumento da capacidade de armazenamento; operação à temperatura ambiente com pouca sensibilidade às variações de temperatura; desempenho do sistema superior aos 75%; baixíssima taxa de autodescarga; capacidade de repetidas cargas e descargas profundas sem degradar o rendimento do sistema; reduzido impacto ambiental. Como desvantagens, cita-se a fraca relação energia e volume, elevado custo de manutenção e alto grau de complexidade.

2.2.1.11 Bateria Redox híbrida de Ferro

As baterias de ferro-cromo são outro tipo de baterias de fluxo cujo baixo custo as torna atraentes para sistemas de armazenamento de energia em grande escala, principalmente em aplicações envolvendo *Energy-time-shift* e regulação de frequência. Estas baterias utilizam ferro como eletrólito para as reações, incluindo um eletrodo negativo onde a deposição do eletrólito ocorre, aqui também chamado como eletrodo de galvanização, e um eletrodo positivo onde uma reação de redox ocorre, também conhecido como o eletrodo redox.

O desempenho de uma bateria ferro-cromo pode ser dividido em desempenho do eletrodo de galvanização, eletrodo negativo, desempenho do eletrodo redox, eletrodo positivo e perda de resistência ôhmica. No eletrodo de galvanização, o íon ferroso (Fe_{2+}) ganham elétrons e se “galvanizam” como camadas de ferro em um substrato durante a carga, e o ferro sólido dissolve-se como íons ferrosos liberando dois elétrons durante a descarga. O potencial de equilíbrio para a reação de galvanização é de $-0.44V$. No eletrodo redox, ocorre a reação redox entre os íons ferrosos e férricos (Fe_{3+}) durante a carga e descarga. Já no eletrodo positivo, dois íons Fe_{2+} perdem dois elétrons para formar íons Fe_{3+} durante a carga, e dois íons Fe_{3+} ganham dois elétrons para formar Fe_{2+} durante a descarga. O potencial de equilíbrio entre íons ferrosos e férricos é $+0,77 V$. Assim, a reação em uma bateria de fluxo redox ferro-cromo é reversível e tem uma tenção nominal de $1,2 V$ por célula.

Como vantagens para essa tecnologia, são elencada a alta segurança para o ambiente, sem alto risco de toxicidade, inflamabilidade, ácidos corrosivos, e emissão de gases nocivos; flexibilidade de transporte, dado o reduzido peso; baixo custo de transporte; sem limite de ciclos de carga e descarga; DoC de até 80%; sem necessidade de refrigeração, e com temperaturas de funcionamento que entre $-5^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$. Entre as desvantagens para esse tipo de bateria, cita-se a menor densidade de energia, em comparação às outras tecnologias; funcionamento dependente de bombas eletromecânicas, responsáveis pela circulação dos eletrólitos.

2.2.2 Serviços fornecidos por sistemas de armazenamento

A operação dos sistemas de armazenamento viabiliza diversos serviços de forma direta ou indireta para a geração, setores de transmissão e distribuição, e consumidores, tanto para aqueles geradores quanto para consumidores finais. Quais serviços serão fornecidos, a capacidade, as condições e qualidade dependem de condições definidas por estratégias de negócios, parâmetros de mercado e regulação, estado da rede e capacidade de articulação dos atores, nível de automação e tecnologias disponíveis [SHAQSI; SOPIAN; AL-HINAI, 2020].

As características do sistema de armazenamento escolhido determinam quais os serviços que podem ser oferecidos: o tipo de aplicação, as possibilidades de operação em razão do tempo, e o resultado esperado. Essas características são relacionadas à fatores técnicos e operacionais, que podem ser gerenciadas no tempo e de acordo com a disponibilidade e viabilidade do sistema em questão, delimitando termos de qualidade e custo para o provedor de serviços e demais atores.

A *capacidade de armazenamento* determina qual a quantidade de energia armazenada pode ser disponibilizada após o processo de carga e antes do processo de descarga do sistema. Como o próprio sistema tem a característica de autodescarga, intrínseco ao material e desenho dos sistemas, a energia apta a ser fornecida está vinculada às características operacionais de carga e descarga e limitada à Profundidade de Descarga (*Depth of Charge, DoD*), que representa a taxa mínima de carga. Essa característica se diferencia da *energia disponível*, uma vez que a última é referente à parâmetros de estrutura e tamanho do sistema, e faz alusão à aspectos como a máxima energia de carga e descarga.

A DoD é uma característica do BESS que associa a velocidade de descarga do sistema em relação à capacidade, estabelecendo o tempo de descarga e a taxa de entrega de um serviço determinado, diferente do *tempo de descarga* que é o tempo máximo de duração do fornecimento de energia para a rede. Essa característica não é constante e depende de condições operacionais do sistema, fato que não a torna constante para os sistemas, mas dependente de dimensões horárias por parte dos operadores. Portanto, a *eficiência*, que poderia ser definida como a taxa entre a energia liberada e a energia disponível, também é caracterizada como um fator de operação, estabelecendo ciclos de operação para cada aplicação definida e vinculada a autodescarga do sistema e ao estado de carga (SoC) do sistema em análise.

A *autonomia* é a relação entre a capacidade e a máxima energia descarregada, e se refere ao tempo que o sistema pode fornecer determinado serviço. Essa característica pode ser determinante para operadores que precisem operar de forma isolada da rede, e cujos serviços fornecidos dependam desse critério para serem disponibilizados. A *autodescarga* é a característica que mede a quantidade de energia armazenada e dissipada no tempo, fenômeno natural das baterias, aliada à *densidade de energia* que descreve o máximo valor de energia armazenada por volume, massa ou unidade de armazenamento.

A capacidade de carga e descarga dos sistemas de armazenamento, determinada como *ciclos*, refere-se à quantidade de vezes que o sistema pode fornecer os serviços. Essa característica mede não a qualidade do serviço e tem referência a condições operacionais, mas é limitada por questões de desenho e material do sistema, e à própria degradação esperada por uso. A quanti-

ficação dos ciclos varia, e deve ser analisada durante a fase de escolha de um sistema, uma vez que é uma característica que impacta diretamente nos *custos*. A duração dos ciclos, as perdas esperadas por degradação e autodescarga devem ser analisadas durante a aquisição do sistema, aliada aos custos de operação e manutenção.

O equilíbrio entre as expectativas do operador e os custos iniciais e de operação do sistema são fatores que afetam a longevidade de todo o sistema. Por consequência, os estudos de viabilidade econômica e análises de custos operacionais devem considerar a proporcionalidade entre os investimentos iniciais e condições de funcionamento do sistema para avaliar a continuidade do negócio em função do tempo. A *viabilidade*, portanto, é o resultado do tipo de aplicação almejada e produtos que deve fornecer. Esse fator depende fortemente do estado da rede, tanto físico quanto em relação ao mercado em que o operador se situa.

O controle e operação do sistema depende de equipamentos de *monitoramento* que auxiliam no controle da segurança e qualidade dos níveis de armazenamento. Esses equipamentos contribuem para medições que podem prevenir acidentes graves e assegurar a disponibilidade dos serviços, em termos operacionais. A *confiabilidade* é uma característica relacionada à segurança, mas também associada à estabilidade na provisão de serviços, assegurando que a demanda será sempre atendida e nos termos de qualidade contratados. Por fim, características relacionadas à impactos ambientais e aceitação social, bem como características de desenho e flexibilidade também devem ser consideradas para esses sistemas [IBRAHIM; ILINCA; PERRON, 2008].

A combinação de fatores econômicos e técnicos, como os apresentados anteriormente, determinam quais serviços podem ser fornecidos para a rede e quais as características que permitem a sua remuneração e termos de qualidade. As decisões acerca dessas características influenciam nos custos de operação e em atuação quanto à provisão e formação de preços. Assim, são apresentados a seguir os possíveis serviços a serem fornecidos por serviços de armazenamento de energia [GEPEA, 2019c].

2.2.2.1 Arbitragem de Energia (*Electric Energy Time-shift*)

A Arbitragem de Energia é um serviço que permite ao operador gerenciar a carga e descarga do sistema de armazenamento em função da demanda, geração de energia e custos. Assim, esse serviço prevê a compra de energia elétrica mais barata, disponível durante os períodos em que os preços ou os custos marginais do sistema são baixos, para carregar o sistema de armazenamento, e a utilização desta energia num momento posterior, quando os preços ou custos são elevados, ou a carga durante períodos de excesso de geração de energia e descarga quando for necessário encontrar a demanda.

O custo operacional não se refere somente à energia elétrica, mas também engloba diversos parâmetros, e devem ser observados para processos de tomada de decisão quanto às vantagens e expectativas dos operadores para esse serviço ser fornecido. Os baixos custos de operação e manutenção tornam o BESS atrativo, visto que a análise de estado de mercado, com méritos econômicos baseados na diferença entre o custo de compra, armazenamento e descarga da energia elétrica e os benefícios derivados desta aplicação para a rede tornam esse o serviço mais conhecido e com potencial emprego em instalações de Geradores Distribuídos. Todavia, qualquer aumento no custo operacional variável e/ou redução da eficiência do BESS também reduz o número de transações para os quais o benefício desta aplicação excede o seu custo. Ressalta-se que o sistema é bastante sensível ao custo de descarga, portanto, um aumento modesto desta variável pode reduzir consideravelmente seu campo de aplicação. Duas características de desempenho que têm um impacto significativo no custo de descarga do BESS são a eficiência global do sistema e a taxa de degradação do sistema.

2.2.2.2 (Peak-shaving)

Dependendo das circunstâncias nas quais opera um determinado sistema de potência, o BESS pode ser usado para adiar e/ou reduzir a necessidade de incrementar a capacidade de geração de uma central geradora e/ou a necessidade de comprar capacidade extra no mercado de eletricidade. Ao contrário do serviço de Arbitragem Tarifária, neste caso a capacidade de geração que o armazenamento pode adiar e/ou reduzir é igual à capacidade nominal do BESS medida em termos de potência, mas do que em termos de energia, sendo necessário uma associação entre a capacidade da bateria (em MWh) e o conversor de potência (em MW).

O perfil operacional do BESS utilizado como fornecimento de potência, caracterizado pelas horas anuais de operação, frequência de operação e duração de cada operação, é específico da localização e características de um determinado Sistema de Potência, o que dificulta generalizações sobre a duração da descarga da bateria. Outro parâmetro fundamental que afeta a duração da descarga da bateria nesta aplicação é o esquema tarifário para a capacidade de geração

2.2.2.3 Serviços auxiliares

A *Regulação* é relacionado ao intercâmbio de potência entre diferentes áreas de um Sistema de Potência, de forma a equilibrar, em tempo real, as pequenas flutuações no suprimento e na demanda. As unidades geradoras que proveem serviço de regulação devem estar aptas para responder aos sinais automáticos de controle de geração a partir do operador do sistema, e alterar a sua geração em curtos períodos, usualmente na ordem de um a alguns segundos. Uma

consideração importante desta aplicação é que grandes usinas térmicas, quando utilizadas como unidades de regulação, incorrem em desgaste significativo devido à potência variável que devem fornecer para propósitos de regulação.

Alguns mercados oferecem apenas uma única regulação como produto, enquanto outros podem oferecer produtos separados, tais como, Regulação-acima, capacidade disponível para aumentar potência, e Regulação-abixo, capacidade disponível para reduzir potência; outros mercados estabelecem também a Rápida Regulação de Frequência, tipicamente provido por sistemas de armazenamento e recursos de resposta de demanda que podem alterar a potência de forma mais rápida do que os geradores tradicionais. Devido à rápida resposta do conversor de potência associado ao sistema de armazenamento, a regulação por meio de BESS efetivamente fornece um amortecimento dos picos, devidos às diferenças entre geração e demanda.

A *Reserva operativa girante, não-girante e suplementar* é outro serviço ancilar, referente à capacidade de reserva de um sistema de armazenamento. A operação segura de um SEP requer capacidade de reserva, que pode ser solicitada caso haja perda de uma ou várias unidades geradoras que estão operando normalmente em um determinado momento. Geralmente, a reserva é, pelo menos, igual à maior unidade geradora do sistema e situa-se entre 15% e 20% da capacidade total do sistema em condições normais.

Dois tipos de reserva são previstos. A *Reserva operativa girante* também podem ser referidas como reservas sincronizadas, e tendem a auxiliar o sistema respondendo rapidamente às interrupções forçadas e ou outros eventos de contingência, normalmente em até 10 minutos. Há um tipo especial de reserva girante, denominado *frequency-responsive spinning reserve* que responde em até 10 segundos, com o intuito de manter a frequência do sistema em valores aceitáveis durante as contingências. As reservas girantes são providas por unidades de geração que estão em linha, mas não gerando com capacidade nominal, podendo assim aumentar rapidamente sua potência de saída, fornecendo capacidade adicional para o sistema.

As *Reservas operativas não-girantes* podem ser referidas como reservas não-sincronizadas, e a auxiliam o sistema a recuperar-se de contingências não planejadas. As reservas não-girantes permanecem fora de linha, e à medida que estas estejam aptas a dar partida e aumentar sua potência até o nível estabelecido, demoram um período predefinido, usualmente 10 a 30 minutos, para atender à demanda. Destaca-se que unidades em linha com capacidade disponível podem também prover reservas não-girantes. Assim, a quantidade de reserva não-girante de um sistema é frequentemente calculada incluindo qualquer possível excedente de capacidade de reserva girante.

Reservas operativas suplementares são um tipo de reserva não-girante que podem aceitar

carga tipicamente em até uma hora. Seu papel é essencialmente servir de backup para os outros tipos de reservas operativas. A aplicação do ESS como reserva operativa consiste exatamente em suprir os picos de potência requeridos pelo sistema a um custo inferior ao da “reserva girante”, evitando a queda de frequência que ocorre quando a geração é incapaz de atender às exigências da carga. Destaca-se que, ao contrário de outras aplicações do ESS, neste caso, o sistema de armazenamento não deve ser totalmente descarregado, pois ele deve estar pronto e disponível para fornecer potência quando necessário, recebendo e respondendo rapidamente aos sinais de controle apropriados.

O *Suporte de Tensão* relaciona-se com a manutenção da integridade do sistema, mantendo a tensão dos barramentos dentro de limites específicos. Na maioria dos casos, isso requer a injeção ou absorção de energia reativa. A provisão deste serviço assegura que as tensões do sistema sejam mantidas dentro de limites desejáveis, procurando também minimizar a congestão causada pela potência reativa no sistema de transmissão e maximizando a transmissão de potência real.

Normalmente, unidades geradoras especialmente projetadas para este fim são utilizadas para fornecer Potência Reativa (var), contudo, a potência reativa não deve ser suprida remotamente, pois isso aumenta as perdas do sistema e aumenta o risco de colapso de tensão do sistema. Pelo contrário, estas unidades devem ser alocadas nas posições mais favoráveis da rede para contribuir eficazmente para o suporte do perfil de tensão do sistema. Conclui-se, portanto, que estas unidades geradoras podem ser substituídas por sistemas de armazenamento estrategicamente localizados em pontos específicos da rede ou, adotando uma abordagem distribuída, instalados muito perto das cargas.

O conversor de potência do BESS para esta aplicação deve ser capaz de operar em fator de potência não-unitário, de forma a fornecer e a absorver energia reativa. Normalmente, o suprimento de potência ativa não é necessário nesta aplicação e, conseqüentemente, a duração da descarga e ciclagem da bateria não são relevantes para esta aplicação. O tempo nominal necessário para o suporte de tensão é de aproximadamente 30 minutos, tempo necessário para o sistema se estabilizar e, se necessário, aplicar esquemas de alívio de carga para equilibrar a geração e a demanda.

Após problemas em um Sistema de Potência, as unidades de geração requerem energia adicional para dar partida e entrar em operação; por esta razão, os sistemas de potência devem manter uma capacidade de *Blackstart* para que estejam aptos a restaurar as operações em caso de uma interrupção de grande porte. Estes geradores de *Blackstart* são tipicamente geradores Diesel destinados a prover a energia inicial necessária para o reinício do sistema. Os sistemas

de armazenamento podem ser utilizados para fornecer esta reserva de potência e energia dentro de um Sistema de Potência, auxiliando na energização de linhas de distribuição e transmissão e fornecer energia às subestações para reiniciar o sistema elétrico após uma situação de colapso (*blackout*).

O *Suporte de Rampas de Geração e Seguimento de Carga* são serviços normalmente vinculados à geração de energia por fontes renováveis, como forma de reduzir os efeitos da intermitência. Esses efeitos podem ser reduzidos pela conexão das fontes intermitentes a um sistema “forte”, isto é, capaz de absorver as oscilações instantâneas de demanda e com grande capacidade de armazenamento – idealmente, um sistema que tenha como base usinas hidroelétricas ou térmicas.

A política adotada para o despacho dessas fontes intermitentes consiste em permitir a geração máxima, acomodando as flutuações de geração por meio da modulação inversa no despacho de fontes que permitam armazenamento. Em outras palavras, quando uma usina eólica ou solar está em sua produção máxima, uma usina hidroelétrica deverá estar em sua produção mínima, armazenando água em seu reservatório. Já na situação de produção mínima da fonte intermitente, a usina hidroelétrica deverá estar em sua produção máxima, compensando perdas e utilizando a reserva de energia armazenada durante o momento de baixa produção.

É intuitivo e natural admitir que há um limite máximo de geração intermitente que pode ser absorvido pelo parque hidráulico sem comprometer a segurança operativa, estabilidade dinâmica, oscilações de frequência, entre outros, ou a economicidade do despacho, níveis de tensão e perdas técnicas, ambos associados ao transporte de energia a longas distâncias ou em fluxo não otimizado. Desta forma, é também intuitivo e natural admitir que o sistema é especialmente adequado para amortecer a variabilidade deste tipo de geração, ao agir como *buffer*. Tecnicamente, os requisitos operacionais para um sistema de armazenamento nesta aplicação são os mesmos de um BESS voltado a reduzir as rápidas variações aleatórias de um perfil de demanda variável (seguimento de carga – *Load-Following*). As características do armazenamento nesta aplicação estão associadas à taxa de rampa (o tempo necessário para aumentar ou diminuir a produção ou consumo), especificada em função de sua inclinação (em MW/minuto) e sua duração (em minutos).

Destaca-se que o BESS é bastante apropriado para realizar Suporte de Rampas de Geração e Seguimento de Carga por várias razões. Primeiro, a grande maioria de sistemas de armazenamento pode operar em níveis de saída parciais sem comprometer consideravelmente sua eficiência. Em segundo lugar, o BESS pode responder muito rapidamente às variações de potência se comparado às unidades de geração convencionais. Finalmente, o armazenamento pode

ser utilizado efetivamente no seguimento de carga, tanto para variações positivas, incremento da demanda, quanto para variações negativas, perda de demanda, à medida que a bateria pode ser descarregada ou carregada respectivamente. Todavia, nota-se que quando o ESS é carregado, a bateria absorve energia da rede, sendo que o proprietário do armazenamento deve pagar por esta energia. Este é um ponto importante que deve ser levado em consideração nas análises econômicas, especialmente para tecnologias de armazenamento de relativa baixa eficiência, pois o custo da energia pode exceder o valor pago pelo serviço ancilar.

O serviço ancilar de *Resposta de Frequência*, é muito semelhante ao serviço de *Regulação*, exceto que nesta aplicação o ESS deve reagir às necessidades do sistema em períodos ainda menores (abaixo de um minuto) quando acontece a perda repentina de uma unidade de geração ou linha de transmissão.

2.2.3 Expedientes para Viabilizar o BESS no setor elétrico

A flexibilidade de uso propagandeada para sistemas de armazenamento de energia, fato que consolida a tecnologia como aquela que ampliará a entrada de fontes renováveis de energia, é antagônica aos altos custos e diversas barreiras ainda existentes para o seu emprego. Devido a esses fatores, os sistemas de armazenamento ainda dependem de mudanças significativas na regulação e na condução da sua entrada para que se tornem tecnologias acessíveis a todos os interessados.

Um modelo de negócios pode ser empregado como uma ferramenta que ajuda a guiar a responder questões dos envolvidos quanto à extensão dos efeitos da entrada da tecnologia para resolver problemas conhecidos do sistema elétrico, determinando quais os elementos reais de aplicação e qual a melhor utilização para o sistema de armazenamento de energia, baseado na localização e aplicabilidade do sistema. Dessa forma, é possível calcular os benefícios esperados e reais para determinado projeto.

Como o mercado para essa tecnologia ainda está em construção, a contabilização e criação de valor para todos os produtos negociáveis ainda não são totalmente possíveis. Uma vez que o mercado está sendo estruturado, os benefícios começam a ser medidos e quantificados [BANK,]. O papel mais tradicional para sistemas de armazenamento é a capacidade de estocar energia em condições específicas e despachar ou utilizar essa mesma energia em períodos de maior demanda ou preços mais altos. Essa capacidade de mudança de padrão horário de consumo da energia é adequada à demanda mais atual do setor elétrico, que é de assegurar a confiabilidade no fornecimento de energia.

O fornecimento desse tipo de serviço por parte dos operadores dos sistemas, uma vez que propriedade demanda outro tipo de discussão, depende do equilíbrio entre os custos para montar e gerenciar essa infraestrutura e os valores de mercado para a aquisição do sistema. As tecnologias mais antigas, como reservatórios hídricos, permitem que a energia a ser armazenada possa encontrar o melhor momento para utilização, os altos custos e diferente capacidade de armazenamento das baterias eletroquímicas conferem outras características para esses equipamentos.

Gissey et al. [GISSEY; DODDS; RADCLIFFE, 2018] descrevem as barreiras de caráter regulatório e de mercado para a entrada desses sistemas. Os autores apresentam a falta de incentivos, tanto para apoio tecnológico quanto para financeiro, incluindo a forma de cobrança e modelos de participação desses sistemas no setor elétrica; a falta de classificação e incertezas quanto ao gerenciamento e propriedade dos sistemas; falta de uma estrutura de mercado com classificação específica dos serviços fornecidos, pagamento e contratação destes serviços, e a definição dos papéis e atuações. Por fim, os autores também incluem o reduzido interesse governamental e de instituições como uma barreira para os sistemas de armazenamento de energia.

Ainda que o estudo se refira à Grã-Bretanha, as críticas à ausência de um mercado que possibilite a negociação de serviços ancilares, serviços que se referem ao atendimento à demanda e venda da capacidade, e tributos para redução de impactos ambientais são citados no artigo. Os autores citam que ações públicas e dirigidas ao aumento da escala dos sistemas de armazenamento serão fatores determinantes para encorajar a entrada de novos atores no setor e, dessa forma, ampliar a disponibilidade de serviços baseados em energia elétrica.

Também como resolução para as barreiras determinadas, os autores apontam a criação de novas regras de mercado que permitam a operação e venda de serviços ancilares, e a definição de subsídios e incentivos que impulsionem a entrada de novos interessados no setor. Baumgarte et al. [BAUMGARTE; GLENK; RIEGER, 2020] descreve possíveis aplicações para um sistema de armazenamento de energia, com foco em aproveitar ao máximo as características temporais da tecnologia e ampliar as vantagens de investimento nesse tipo de tecnologia. Os autores classificam as possíveis viabilidade sob o ponto de vista de redução de custos para atores, e incluem a venda e compra de energia, de acordo com a previsão de demanda e fornecimento, e a energia como backup como usos possíveis para aqueles que desejam implantar a tecnologia. No entanto, ao avaliar do ponto de lucratividade foi apontado que a possibilidade de ganhos financeiros ainda é baixa para investidores.

Os autores também apontam barreiras regulatórias e de mercado como fatores que impactam a entrada de novos atores. Dessa forma, ao considerar as barreiras existentes para a entrada de sistemas de armazenamento, nesse momento é assumida uma proposta para viabilizar a en-

trada dessa tecnologia no Brasil, via um modelo que permita a continuidade dos negócios via a redução de custos do consumo de energia elétrica períodos de maior custo ou problemas com o fornecimento de energia, e não os ganhos financeiros da venda de serviços.

O Banco Mundial [BANK,] afirma que a análise econômica e financeira para sistemas de armazenamento exige um mesmo conjunto de parâmetros, ainda que a conclusão possa ser que a possibilidade financeira de operar esse tipo de infraestrutura não é economicamente interessante. O mesmo texto apresenta que a confiabilidade do fornecimento dos serviços deve ser medida pela segurança, prontidão para a resposta em tempo real do fornecimento da demanda -, consistência do fornecimento da geração e disponibilidade da rede, adequação da capacidade de geração e da rede disponíveis para atender à demanda, e políticas energéticas estratégicas referentes à disponibilidade de recursos e infraestrutura para o fornecimento de serviços, incluindo também os custos e atendimento à uma agenda de diversificação de matriz energética e preços. Esses fatores se diferenciam pelo período de ocorrência.

A utilização de sistemas de armazenamento contribui para a satisfação desses atributos. Embora quantificar esses parâmetros possa ser difícil, eles devem ser empregados para analisar o emprego em larga escala de sistemas de armazenamento e direcionar os investimentos e estratégias de satisfação de políticas energéticas para o período estipulado. Esse emprego dos sistemas varia de acordo com o país estudado, uma vez que os desafios são dependentes da capacidade e dos objetivos estipulados nas políticas energéticas locais, estado do setor e reformas esperadas, recursos humanos experientes e aptas para atividades necessárias à operação, manutenção e reparos da infraestrutura, e, inclusive, estrutura para compra, transporte e instalação dos equipamentos [BANK,].

O papel que os sistemas de armazenamento desempenham e desempenharão no setor traz o benefício da variabilidade de custos e quantidade da energia como fatores que podem consolidar o mercado futuro. Essas vantagens, além da atração de novos atores, também colaboram com a descarbonização do setor e a ampliação no acesso à energia. No entanto, a fama de investimento não rentável dessas estruturas, isto é, sem lucratividade para investidores, implica em não atratividade para esse tipo de sistema de geração de energia. Para aqueles integrados verticalmente, há a possibilidade de captura do valor do armazenamento, o que permite determinar a economia que esses equipamentos poderão proporcionar e direcionar os investimentos para a redução no custo do fornecimento dos serviços.

Os modelos de negócios para sistemas de armazenamento de energia podem ser classificados de acordo com a sua escala e com a criação de novas funcionalidades. Como funcionalidades, o arbítrio de preço e o peak load shifting são os mais comuns e citados, devido as diversas

possibilidades horárias e de custo durante o dia. Essas funcionalidades podem ser aplicadas no nível de transmissão, distribuição ou consumidor, e com variação durante diferentes períodos do dia e do ano. Essas aplicações são as mais utilizadas, mas devido às características das baterias, o mais comum é um ciclo de carga e descarga por dia.

Hamelink & Opdenakker [HAMELINK; OPDENAKKER, 2019] apontam que um modelo de negócios inovador beneficia o crescimento do mercado relacionado à sistemas de armazenamento de energia, e o crescimento desse mercado traz benefícios ao remover barreiras ao uso de fontes renováveis de energia. Para o caso de aplicações focadas em autoconsumo, isso é atender às próprias demandas. Os autores apontam que os novos modelos de negócios para esses casos, implicam em mudança nos parceiros chave significativa, mas menor impacto nos recursos chave e no segmento de clientes. O resultado mostra que a flexibilidade da aplicação dos sistemas é maior para os consumidores almejados, mas esse ponto não implica em maior inovação nos modelos de negócios aplicado.

A descrição de novos papéis, incluindo a definição de serviços dos sistemas de armazenamento, e o estabelecimento de um novo mercado com estrutura mais ativa e mais participatória exige regras regulatórias e de mercado que não prejudiquem alguns operadores, e, ao mesmo tempo incentivem a entrada desses novos atores como fator vital para a descarbonização do setor elétrico. Dessa forma, o foco de um modelo para a continuidade de negócios tem um foco de redução de impactos ambientais, incentivo à entrada e participação de novos atores, e a definição de serviços de energia elétrica mais variados e com foco na redução de custos e confiabilidade do fornecimento.

Os sistemas de armazenamento podem fornecer diferentes tipos de serviço, o que implica em condições para maior ou menor aproveitamento do sistema, de acordo com as metas estipuladas. A escolha dessa combinação de serviços depende da configuração de mercado em que o sistema está inserido, incluindo o arranjo de tarifas, e o próprio modelo de fornecimento de serviços. O modelo de serviços pode contribuir, inclusive, para a ampliar a vida útil do sistema de armazenamento, reduzindo o tempo para substituição e aumentando a confiabilidade do sistema.

Um modelo de negócios baseado no custo do serviço é o mais comum em ambientes integrados verticalmente ou para ambientes de empresas distribuidoras, ambos controlados por agências reguladoras. O argumento para esse modelo é a necessidade de retorno dos investimentos e custos durante a operação dos equipamentos, o que permitiria aplicar métricas para ajustar a taxa de retorno no investimento ou grau de custo baseado somente na rentabilidade e fatores relacionados. Masiello et al. [MASIELLO; ROBERTS; SLOAN, 2014] afirmam que o

modelo de acordo de compra de energia entre as empresas distribuidoras e geradores é o mais comum, e o custo desse recurso pode ser recuperado pelas empresas como custos de operação e por provedores de serviços podem obter benefícios ao participar do mercado como terceiro componente.

Os autores apontam a participam de sistemas de armazenamento em diferentes mercados de energia mesmo se localizados no sistema de distribuição ou atrás do medidor, sempre que esse tipo de mercado possua requisitos de confiabilidade por meio de granularidade e consequências em caso de não-performance, estabelecendo incentivos econômicos para as características desses sistemas. A dinâmica de fornecimento e demanda deve refletir o estado do sistema econômico e dos sistemas envolvidos, incluindo quais os tipos de serviços e tecnologias devem operar e quais condições, e a granularidade do mercado deve atrair novos recursos a ponto de compensar os investimentos.

Ainda que os autores citem a granularidade e posicionamento do sistema como vantagens para a atração para o mercado americano, a dinâmica de venda e posicionamento de serviços pode ser analisada pelo mercado brasileiro, bem como a retirada ou contorno das condições impostas pelas barreiras regulatórias e de mercado. Como as barreiras regulatórias são complexas, independentemente do país referido, aqueles referentes ao planejamento de recursos e práticas regulatórias para serviços baseados no preço [MASIELLO; ROBERTS; SLOAN, 2014]. As barreiras regulatórias relacionadas às práticas regulatórias podem ser de mais simples resolução, uma vez que são dependentes de regras e direcionamentos dadas pelo mercado, mas também submissas às regras de que esses serviços devem ser mais viáveis economicamente que todos os demais recursos disponíveis.

Essa premissa varia conforme a dinâmica de fornecimento e demanda muda, incluindo a dinâmica de competição dos recursos disponíveis, afetando o retorno para seu operador. Assim, o operador deve ser capaz de analisar todas as variáveis econômicas envolvidas e decidir se o investimento é viável ou não. Essa análise deve considerar a variação das tarifas de energia, e incentivos às fontes renováveis, o que aumenta a percepção de valor dado a esse tipo de recurso. Assim, o uso de armazenamento por usuários finais impõe a criação de regulação e políticas específicas sobre a interação do recurso com o tempo e com as tarifas.

No caso americano, os preços para a compra dos serviços fornecidos por esses sistemas dependem dos preços marginais, como função nodal ou da zona em que está inserido. A performance dos recursos também deve entrar como variável para a compensação energética. A venda de serviços baseados em energia elétrica depende da flexibilidade do armazenamento, ou seja, fato que implica na confiabilidade da performance e resposta rápida nos períodos demandados.

O desenho atual do mercado, ou da maioria dos mercados, impacta fortemente no período em que esses recursos poderão operar, impondo as condições para maior ou menor aproveitamento do potencial do armazenamento [MASIELLO; ROBERTS; SLOAN, 2014].

A variação horária reflete aspectos de previsão da carga e da disponibilidade dos recursos, o que impacta na previsão de operação e nas instruções necessárias para o despacho, produção ou reserva para períodos estimados. A resposta depende de protocolos que devem ser estipulados entre os participantes, o que impacta os custos e a performance desses equipamentos. A etapa de compra e requisição dos serviços fornecidos por esses sistemas deve estipular esse período, uma vez que o operador de sistemas de armazenamento depende de programação própria para carregar e descarregar, ao contrário do gerador convencional. O estágio apto para o mercado pode ser estipulado para esse tipo de equipamento. Assim, todos os parâmetros anteriores implicam na determinação de um portfólio de serviços para armazenamento que permita a compensação direta dos operadores, e a participação deles no setor com a menor intervenção possível.

A intervenção não exclui a necessidade de um árbitro para toda a base de serviços disponíveis e os requisitos para que eles sejam oferecidos e atendidos nos termos acordados. Essa intervenção exclui a lógica de venda de serviços somente quando o custo da geração é menor que o custo marginal do armazenamento. Atualmente, a decisão de carregar ou não o sistema de armazenamento não envolve riscos para seu operador, uma vez que a variação de preços não é tão grande entre os períodos do dia; essa reflexão vale para a grande maioria dos locais em que se estude a inserção desses sistemas, inclusive para o Brasil. Assim, os incentivos à novas fontes poderiam alterar a lógica de entrada em operação.

O posicionamento do sistema e o estabelecimento de um árbitro para as decisões, no entanto, implicam que a deliberação de entrada ou não em operação devem sempre caber ao operador do sistema de armazenamento, respeitando a independência desses atores. Ainda que a independência desses atores seja respeitada, a posição da empresa distribuidora deve ser analisada, sobretudo em relação à compensação, alocação de custos ? inclusive aqueles causados pelos impactos diretos desses equipamentos nos custos de sistemas - e venda de serviços baseados em armazenamento.

Os benefícios sociais e ambientais do emprego de novas fontes devem ser reconhecidos pelos atores e interessados, e fazer parte de modelos de continuidade de negócios como um ativo que fornece um serviço que deve ser precificado em relação direta com as benfeitorias que fornece. Assim, no momento de valorar o serviço, a contribuição para a manutenção na qualidade dos demais serviços fornecidos, inclusive para a rápida recuperação em casos de problemas de fornecimento, ou a definição do armazenamento como estrutura de negócios da própria em-

presa, e, portanto, um ativo capaz de recuperar o investimento, devem ser considerados como possibilidades. Para o último caso, a entrada em operação pode ser mais facilmente combinada entre os atores, permitindo um acordo em que a demanda e o fornecimento possam ser encontradas e equilibradas de acordo com as expectativas de manutenção de negócios de operadores e distribuidoras.

Os modelos de continuidade de negócios relacionados às baterias podem correlacionar fortemente a performance do sistema, incluindo fatores de eficiência e a complementaridade à demais serviços. Os serviços de maior escala poderão oferecer uma nova percepção de geração centralizada, mais focada em nível de serviço diretamente aos usuários. Ao atender aspectos mais relacionados ao controle, acessibilidade, performance e atender à hábitos mais próximos aos hábitos dos usuários, o valor para esses atores poderá mudar. Os serviços passam a ser um serviço adicional ou um produto direto para esses atores, alterando a sua configuração na rede e os tornando consumidores mais ativos.

O armazenamento, assim, oferece um baixo nível de inovação como modelo de negócios, enquanto para maiores escalas pode oferecer um modelo mais inovador. O nível de inovação fica vinculado às aplicações que o armazenamento oferece: ao enquanto um produto para o consumidor, o seu valor é mais baixo, e varia em grau de inovação quanto mais aplicações e serviços estiverem vinculados ao seu emprego.

O emprego desses sistemas está fortemente vinculado à aplicação do sistema, o papel que ele desempenha no mercado e o fluxo de receita obtido por essa operação. A aplicação do sistema deve considerar todas as atividades que esse tipo de sistema pode performar no tempo, de acordo com a posição do operador no mercado, o que limita a ação do sistema e o tipo de retorno que esses sistemas gerarão durante a operação.

Como papel no mercado, Baumgarte et al. [BAUMGARTE; GLENK; RIEGER, 2020] estabelece quatro papéis principais: comercialização, gerador, transmissão e distribuição, e consumidor, de acordo com a função do interessado em sistemas de armazenamento e possibilidades de atuação. Como comercialização, aquele que opera um sistema de armazenamento pode comprar a energia de diferentes produtores ou do mercado e vender de acordo com a tática determinada; o produtor deverá gerar e vender a energia, enquanto como transmissor e distribuidor, o operador deverá transportar a energia gerada e assegurar a operação segura da rede, e, por fim, como consumidor, o operador irá consumir e comprar a energia. Um operador de sistema de armazenamento deverá assumir diferentes papéis, de acordo com o período em que a energia estiver no sistema, ou apenas assumir um. No entanto, independentemente do papel escolhido, esse consumidor terá um papel mais ativo no setor, similar ao de empresas e operadores na

configuração atual.

Os diferentes serviços e operação para um BESS determina que a estrutura regulatório e de mercado mudem para abranger as características de geração e demanda e a flexibilidade no tempo desses sistemas [ANUTA et al., 2014]. A decisão de como entrar no setor ou as atividades e funções desempenhadas dependerá, do papel escolhido para o operador do BESS, mas também da descrição e benefícios esperados para consumidores, geradores, fornecedores de serviços e operadores. Essas definições permitirão a distinção entre os papéis de geradores e consumidores a partir de uma perspectiva de despacho de energia para a rede, conexão na rede, e possíveis serviços fornecidos.

O fluxo bidirecional de energia, a partir do excedente de energia gerado e o gerenciamento da rede para evitar o fluxo excessivo de energia ou capacidade superestimada e problemas de qualidade de serviço, implica em regras para o planejamento temporal das atividades e pagamentos e tarifas para esses operadores. O planejamento de operação e gerenciamento de baterias causa discussões acerca da integração de fontes renováveis, a prioridade dada às essas fontes e o planejamento da expansão da capacidade, e subsídios e incentivos; a transparência na cessão de incentivos e classificação desses sistemas impõe a discussão sobre o papel das agências e instituições, bem como da redução de incerteza de benefícios e regras para os atores [ANUTA et al., 2014],[SARKODIE; ADAMS, 2018].

As questões atuais sobre as tarifas e subsídios para renováveis e possível acréscimo dos BESS depende dos direcionamentos dados para os sistemas - como aquela que poderá ampliar a penetração de sistemas de armazenamento de energia, a classificação como um ativo que permitirá a nova fase da transição energética dependerá de classificação e direcionamento do BESS como tecnologia que viabilizará a diversificação da matriz energética. Sob esse ponto de vista, a capacidade multifuncional do BESS requer a descrição de usos finais e características de operação do sistema [ANUTA et al., 2014].

Essa classificação também tem como produto a padronização e classificação dos serviços fornecidos pelo setor da transmissão e distribuição de energia elétrica. Como um dos efeitos, a inovação de planos de negócios, estudo de acessibilidade e riscos, e lentidão na adesão à tecnologia podem ser citados como efeitos negativos da não regulação e padronização de tecnologias. A comercialização, escalabilidade e variabilidade de serviços depende de questões quanto à classificação e descrição da tecnologia nos locais de interesse de implantação, o que também causa impactos no desenvolvimento de outras tecnologias e pesquisa e desenvolvimento [ANUTA et al., 2014].

A competitividade, dessa forma, se dá não por acesso econômico e poder de determinação

de custos, mas por criação de soluções que atendam as demandas de redução de emissão de carbono e desenvolvimento social - quantificar os valores gerais para o investimento dependerá também desses benefícios, uma vez que esses serviços também podem ser fornecidos para interessados. A partir da classificação e padronização dos sistemas, as políticas não limitam a operação do sistema, mas descrevem os parâmetros mínimos para manutenção da qualidade de todos os serviços previstos e o potencial de crescimento para as novas centrais de geração.

Dada a dificuldade em dimensionar e antecipar o fornecimento de serviços, a reserva dos serviços, especialmente quando é necessário o despacho de energia para a rede, é um ponto que requer atenção para esses sistemas. A contratação de serviços não garante o fornecimento, mas as penalidades e formação de preço dependem também de questões relacionadas ao tempo e intermitência das fontes. As regras devem atentar para determinar a duração e o tempo de fornecimento dos serviços, estimulando a criação de regras em que as penalidades possam ser flexíveis e com alta capacidade de recuperação em caso de resposta positiva dos operadores. As penalidades e formação de preço podem prejudicar o acesso de geradores de menor capacidade, como o caso de residenciais, por exemplo, que não podem assegurar o fornecimento dentro de regras desiguais [ANUTA et al., 2014].

Esses pontos ampliam a complexidade do tema, a depender do modo de conexão com a rede, que pode ser configurado como recursos de geração, transmissão, distribuição ou consumo. A complexibilidade se torna ainda maior quando as aplicações do sistema de armazenamento ultrapassam as barreiras dessas categorias.

A regulação delimita o efeito de decisões que possam impactar a operação e retorno para tipos específicos de ativos, determinando parâmetros relacionados à performance e a solução de preço mais baixo causada por efeitos de incertezas relacionadas às questões regulatórias [BELL; GILL, 2018]. Esses aspectos têm relação à complexidade técnica dos sistemas de potência e os limites físicos para a conexão de novos geradores e decisões sobre o fornecimento de serviços.

Os serviços são dependentes de trocas de informações no tempo que permitam aos operadores tomar decisões mais próximas do atendimento à demanda e disponibilidade de geração, com granularidade no tempo para o gerenciamento das dinâmicas quanto à troca de informação e a qualidade dos serviços fornecidos [BELL; GILL, 2018]. A hierarquização dos serviços permite a priorização no tempo de acordo com as características físicas dos ativos, a depender também da localização, e os termos de contrato no tempo, caracterizando questões de preço e custos por serviço classificado [BELL; GILL, 2018].

De acordo com a estrutura regulatória e os desenhos de mercado existentes, há três possibilidades de investimentos em recursos de armazenamento [BAUMGARTE; GLENK; RIEGER,

2020]. A primeira opção representa o investimento realizado pelas companhias de distribuição ou transmissão de forma direta ou a partir de um contrato de *Purchased Power Agreement* (PPA) com um recurso de geração (normalmente de fontes renováveis). O custo do PPA nesse caso é reembolsado pelas companhias de distribuição e transmissão como custos operacionais e o gerador que opera o sistema de armazena fica exposto aos custos de carregamento e descarregamento da bateria e de operação e gerenciamento. Na segunda alternativa o sistema de armazenamento participa no mercado de curto-prazo como um recurso de geração ou como parte de um recurso de geração. Nesse modelo, o recurso de armazenamento pode estar conectado ao sistema de distribuição (na configuração *behind-the-meter* acoplado a um consumidor por de trás do medidor- ou não, em que a participação no mecanismo de reposta a demanda se torna uma opção) ou estar diretamente conectado no sistema de transmissão ou operando como um recurso de geração de grande porte.

Na terceira alternativa o sistema de armazenamento é acoplado a um consumidor atrás de um medidor (*behind-the-meter*) e representa um recurso de geração distribuída. Nesse modelo destaca-se a conexão de painéis fotovoltaicos com recursos de armazenamento. O recurso de armazenamento pode ser utilizado para configurações *off-grid* e para mitigar a variabilidade das fontes de geração renovável como eólica e a solar. O consumidor é normalmente recompensado por mecanismos como *net-metering* e tarifas *feed-in*.

Na primeira opção, o investidor tem como desafio convencer o planejador do sistema e o órgão regulador que a instalação de recursos de armazenamento resulta em benefícios para o sistema como um todo e os agentes envolvidos, possuindo maiores barreiras de entrada. O segundo modelo de participação em mercados competitivos representa menores barreiras de entrada mas possui desafios a depender da estrutura de mercado como a granularidade dos preços - quanto menor a granularidade de preços mais representativa é a necessidade de sistêmica e maior a vantagem de utilização de sistemas de armazenamento para mitigação da demanda de ponta -, dos modelos de previsão de geração de energia renovável, para ajustes na previsão da curva de demanda x geração, e se o planejamento da transmissão é suficiente para atender as necessidades do sistema, uma vez que o planejamento de transmissão deve ser granular e considerar as necessidades regionais existentes. O terceiro caso, o consumidor deve analisar se o investimento em recursos de armazenamento é economicamente viável a depender das políticas de *net-metering* e *feed-in* existentes.

Algumas barreiras econômicas para esses sistemas são a não permissividade de colhimento de receitas por diferentes prestações de serviço e participação em diferentes mercados. É de conhecimento que recursos de armazenamento podem prestar diversos serviços aos sistemas que estão conectados como serviços ancilares - regulação de frequência e tensão, reserva de po-

tência operativa, *Blackstart* -, Arbitragem Tarifária - carregamento em momentos de preços de mercado baixos e descarregamento em momentos de elevados preços -, atendimento a sistemas isolados, reserva de capacidade, achatamento da curva de carga, fornecimento de flexibilidade quando acoplado junto a recursos de geração renovável, adiantamento de expansão das estruturas de transmissão e distribuição e etc. Uma maneira, portanto, de viabilizar investimentos desses recursos e alcançar o melhor aproveitamento de seus benefícios pelo sistema consiste em permitir a multiplicidade de receitas e a participação em diferentes mercados como de energia, serviços ancilares, e capacidade.

Uma outra questão presente na operação de recursos de armazenamento, não abordada pelo artigo, mas importante de se analisar, reside no fato deles funcionarem como uma carga no momento de seu carregamento e como uma geração no descarregamento, ainda que, devido a ineficiência seu ciclo completo é considerado negativo, funcionando em última instância como um carga, necessitando de dois *bids* a serem encaminhadas pelo operador do armazenamento para o despacho de energia a ser realizado pelo operador do sistema. Essa configuração pode resultar em algumas complicações na otimização do sistema e na tributação desses recursos. A implementação de sistemas de armazenamento no sistema antecipa questões relativas à crescente inserção de usinas com fontes de geração renovável que possuem alta variabilidade em sua produção e resultam na necessidade sistêmica de recursos flexíveis, no qual os recursos de armazenamento possuem elevado potencial devido sua característica de reposta rápida.

Há, de forma imediata, duas possibilidades de modelos de negócio que podem simplificar os investimentos em sistemas de armazenamento. Na primeira, geradores, comercializadoras ou outros agentes tomadores do serviço a ser prestado pelo recurso de armazenamento alugam a capacidade disponível do armazenamento por um valor decidido de forma regulatória que pague de forma satisfatória os custos de investimentos e operação e gerenciamento. O tomador de serviço então realiza a operação de carregamento e descarregamento do sistema de armazenamento pelo seu próprio risco. Na segunda opção o operador de mercado paga o desenvolvedor do sistema de armazenamento uma taxa fixa e determina quando deve ser realizado o carregamento e descarregamento do armazenamento. Nesse caso o risco fica com o operador do mercado.

Aponta-se, assim, as principais complexibilidades e riscos presentes nos possíveis modelos de investimentos em recursos de armazenamento de acordo com o contexto regulatório e desenho de mercado presente. Um ponto importante colocado pelo trabalho reside no risco de saturação do mercado caso aconteça uma implementação excessiva de recursos de armazenamento, o que poderia ocasionar por exemplo uma redução nos preços de fornecimento de serviços ancilares [BAUMGARTE; GLENK; RIEGER, 2020] [BELTRAME; NETO, 2018].

Apesar de ser um ponto inicial das discussões da implementação desses novos recursos, várias questões apontadas pelo trabalho já foram superadas, como por exemplo a granularidade dos preços nos mercados norte-americanos e a permissividade dos recursos de armazenamento em participar em diferentes mercados.

A grande variedade de serviços e a flexibilidade de geradores em pequena e média escalas demanda, assim, maior capacidade de gerenciamento dos novos recursos conectados na rede, o que amplia a complexidade de gerenciamento das empresas distribuidoras. Essa perspectiva, dada a curva de aprendizado para operar e gerenciar esses sistemas, mas também o crescente número desses novos geradores conectados à rede - grande volume de dados, crescimento de interações e não linearidade no gerenciamento dos sistemas também são fatores decorrentes desse crescimento - obrigam a novas regras de interação com esses geradores e uma discussão sobre o papel futuro das empresas de distribuição. O acesso à informação e modelos mais adequados de contratação e observabilidade - isto é, a medição dos serviços no local em que são fornecidos - são novas práticas para esse setor [HAMELINK; OPDENAKKER, 2019].

Para reduzir os riscos e as incertezas, a regulação deve estabelecer acordos e práticas que permitam o crescimento da geração distribuída e a manutenção de índices de qualidade no fornecimento do serviço. A localização ótima dos geradores e estruturas regulatórias e de mercado que deem suporte para esses fornecedores de serviços deve ser atendida durante o processo de entrada da tecnologia [HAMELINK; OPDENAKKER, 2019]. Há diversas propostas para gerenciar os geradores, sob perspectiva da distribuidora, incluindo uma estrutura hierárquica - definição de camada de interações com as partes - e funcional - estrutura dividida por função que pode ser executada por diversas partes, independentemente da rede a ser conectado [BELL; GILL, 2018].

As inovações dos modelos de negócio então dependem de como os atores previstos serão afetados, não apenas sob o plano de ganhos financeiros e lucratividade, mas quanto às inovações esperadas para o mercado em que estão inseridas. No entanto, grande parte dos planos são reduzidos à aumento da eficiência e redução de custos para o gerador em questão, especialmente quando possui maior potencial de fornecimento de serviços e capacidade [HAMELINK; OPDENAKKER, 2019]. Os planos de negócios ficam focados somente nos custos e não nas possibilidades de parcerias e flexibilidade para os consumidores e operadores do sistema em questão.

Ainda que o estudo de inovação de modelos de negócios [HAMELINK; OPDENAKKER, 2019] aponte que há ganhos significativos para os envolvidos, especialmente para colaboradores diretamente vinculados à operação e manutenção dos sistemas, bem como à performance

dos consumidores, os modelos analisados pouco analisam a operação e performance sob um viés ambiental e social. As mudanças e inovações nos modelos de negócios também esbarra na perda da habilidade das empresas fornecedoras de serviços para promover mudanças significativas, especialmente para setores de menor escala - essa perda reflete no não desenvolvimento de um portfólio de serviços e produtos voltados para esses setores [HORVÁTH; SZABÓ, 2018]. Para aplicações de menor escala, é esperado um plano de negócio que aponte as parcerias e estruturação dos clientes, como um resultado das mudanças causadas por ser um gerador e fornecedor de serviços com maior flexibilidade na tomada de decisão tanto como demanda quanto como fornecedor, apontando como o nível de satisfação dos envolvidos pode ser aumentado sob uma nova perspectiva e proposta [HAMELINK; OPDENAKKER, 2019].

Uma perspectiva mais voltada ao atendimento de demandas ambientais e sociais acarreta uma nova proposta de avaliação da viabilidade de tais sistemas, implicando que barreiras econômicas, como o alto investimento inicial e barreiras para subsídios e investimentos, possam ampliar a perspectiva de ganho para os operadores dos BESS, trazendo a inovação esperada para esse setor. Esse fato pode ser especialmente atrativo para o caso de sistemas instalados em consumidores de menor escala, e solução em escala para comunidades [HORVÁTH; SZABÓ, 2018].

Essa perspectiva também pode afetar a aceitação social da tecnologia [THOMAS; DEMSKI; PIDGEON, 2019],[WIRTH; GISLASON; SEIDL, 2018] e as barreiras comportamentais [HORVÁTH; SZABÓ, 2018] pertinentes à tecnologia, relacionadas à informação e reconhecimento dos benefícios dos sistemas. Dessa forma, a atuação de todos os atores do setor deve ter uma atuação para a disseminação de informação e educação dos consumidores, resultando em maior aceitação e sensibilização para o tema.

A aceitação depende de direcionamento governamental, que deve definir esquemas tarifários - incluindo o caso de redução e preços apropriados para a compra e venda de energia -, incentivos e períodos de qualificação que atendam às necessidades e incentive a entrada de novos geradores. As atividades, assim, incentivam o crescimento, atraem a atenção de novos atores, e asseguram a operação estável e confiável [HORVÁTH; SZABÓ, 2018]. Dessa forma, os governos agem para assegurar que os objetivos voltados para a diversificação da matriz e redução de impactos ambientais sejam satisfeitos, uma vez que a energia elétrica é um recurso vital para o desenvolvimento social e econômico.

O controle amplia o controle dos governos em atividades essenciais, ao contrário das tendências de desregulação para o setor [BLAZQUEZ; FUENTES-BRACAMONTES; MANZANO,],[BELL; GILL, 2018]. Os governos, portanto, assegurariam que os preços seriam adequados

para o acesso à serviços modernos de energia elétrica e reduzem as barreiras tecnológicas, incluindo aquelas que podem afetar a performance dos sistemas e causar problemas para a rede, motivos de insegurança e pouca confiabilidade para as tecnologias [HORVÁTH; SZABÓ, 2018].

Para um modelo de negócios voltado para a entrada de novas tecnologias, é esperado que ele determine uma maneira de traduzir os conceitos técnicos em saídas compreensíveis e em termos voltados para o mercado, auxiliando na definição de valor e identificação de segmentos [HAMWI; LIZARRALDE, 2017]. Um modelo de negócios deve descrever o que está sendo oferecido e o que os consumidores estão realmente pagando, e quais as métricas referentes aos serviços ou produtos que os ofertantes estão desempenhando, apontando como valores podem ser criados e atendendo às necessidades e demandas dos segmentos-alvo [HAMWI; LIZARRALDE, 2017].

Modelos de negócios voltados para produtos de propriedade do próprio consumidor também podem direcionar como implantar tecnologias. Para esses modelos de negócios, o proprietário é o usuário final, que também é o responsável pela instalação e manutenção do sistema em questão. Para aqueles proprietários de fontes renováveis de geração de energia - como o caso de painéis fotovoltaicos, por exemplo - a proposta de valor é vinculada à geração e aos possíveis serviços complementares. Como a venda de todo o sistema gerador é de responsabilidade do próprio consumidor, o processo não depende de um fortalecimento de relação com o fornecedor, que apenas viabiliza o sistema [HAMWI; LIZARRALDE, 2017].

Em casos de energia sobressalente, há possibilidade de despacho dessa energia para rede, a depender de regras e legislação vigente. Para esses casos, a venda da energia rende alguns benefícios financeiros para o prossumidor [HAMWI; LIZARRALDE, 2017], que pode ter retorno do investimento inicial para um determinado período, a depender de custos de tarifas e operação do sistema. Para esses casos, o gerenciamento mais próximo aos consumidores pode gerar ajustes de eficiência ou mudanças no padrão de consumo e despacho que consente possíveis benefícios.

Para os modelos de negócios em que o sistema de geração é terceirizado, o conceito de serviço e eficiência são vinculados a empresas que possam disponibilizar um pacote de serviços, o que inclui gerenciar a demanda e eficiência. Essas empresas são os responsáveis pela instalação e manutenção do sistema dentro do local do consumidor, que mantém a propriedade da infraestrutura [HAMWI; LIZARRALDE, 2017]. Essa parceria pode gerar a inovação para o modelo de negócio por meio de parcerias fortes e capacidade de obtenção de capital para viabilizar a instalação do sistema. Por fim, o modelo de comunidade é aquele em que diferentes consumidores são proprietários do sistema por meio da divisão da compra da infraestrutura

referida. Esse sistema pode ser gerenciado por terceiros, como no caso do modelo de negócios anteriormente explicado, que podem, dessa forma, gerenciar o fornecimento e a demanda da comunidade ou mediar mudanças quanto ao consumo para esse grupo, estabelecendo uma interação que permita administrar a comunidade a partir de parâmetros que variam entre social e ambiental [HAMWI; LIZARRALDE, 2017].

A partir da análise desses modelos de negócios, é perceptível que quanto mais próximo do consumidor, o gerenciador do sistema pode inserir valores sociais e ambientais e no fortalecimento de parcerias, minimizando os riscos e criando um sistema mais voltado à tomada de decisões mais democráticas, aceitação social e senso de comunidade [HAMWI; LIZARRALDE, 2017], [WIRTH; GISLASON; SEIDL, 2018]. Esse processo reflete também em decisões que impactam a escala do entorno dessas comunidades, influenciando o ambiente e economia locais [WIRTH; GISLASON; SEIDL, 2018].

A aceitação de tecnologias engloba, portanto, aspectos relacionados à dinamicidade de tomadas de decisão e dependente dos atores, o que introduz as questões temporais e de difusão de informações no processo de decisão de investimentos [WIRTH; GISLASON; SEIDL, 2018]. A qualidade temporal das tomadas de decisão influencia em como o mercado poderá lidar com tecnologias mais flexíveis, como o caso do BESS. A resposta aos sinais dos atores e a sua participação no sistema carece de coordenação e articulação por parte dos gerenciadores do setor, permitindo a criação de diversos mercados dentro do existente [GONZÁLEZ; RENDON, 2022].

O mercado responde não mais a contratos de longo prazo, mas a variação entre custos, preço e valor real do recurso [GONZÁLEZ; RENDON, 2022], respeitando as características intermitentes das fontes renováveis e de gerenciamento temporal do BESS. Com essa variação, indicadores climáticos e da diversidade da matriz são incluídas no processo de gerenciamento dos recursos, integrando todo o sistema e permitindo um sistema de complementariedade. Todo esse processo também inclui a revisão de serviços fornecidos, especialmente por empresas distribuidoras, que podem desincentivar a autogeração e o aumento da capacidade por emprego de tarifas fixas [GONZÁLEZ; RENDON, 2022].

O mercado depende da classificação e reconhecimento dos serviços e classificação do BESS para formar uma nova cadeia de valor, especialmente para serviços que não podem ser fornecidos por sistemas de amplo uso atualmente. A definição do BESS como um ativo distinto dos existentes na configuração atual de rede - geração, transmissão e distribuição - auxilia na definição de aplicações e serviços mais específicos para esses sistemas, dependentes de critérios de planejamento e gerenciamento no tempo.

É esperado, para os anos futuros, que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, aliado à busca por novos materiais e projeto do BESS, e com o crescimento na implantação do sistema em consumidores reais possa trazer novos parâmetros e questões quanto ao fornecimento de serviço e acessibilidade [DAS et al., 2018]. A redução de questões relacionados ao risco e às barreiras tecnológicas dependem de projetos dessa natureza, apontando a escalabilidade e os efeitos de tais instalações na rede, tais como posicionamento, dimensionamento e operação, incluindo o efeito nos atores já existentes dentro da configuração atual do setor [DAS et al., 2018].

A análise dessas características técnicas pode estimular os mercados à criação de regras e padrões necessários para a viabilização da tecnologia, também detalhando como investimentos e subsídios podem ser encaminhados para oportunizar a tecnologia [ZAME et al., 2018],[DAS et al., 2018]. Os sistemas de armazenamento podem ser utilizados com diversas finalidades, a depender do local onde será instalado, localização e tipo de sistema a ser instalado [GUNEY; TEPE, 2017]. Os serviços a ser fornecidos dependem, dessa forma, do tipo de tecnologia escolhida.

Além da análise para a definição de um Modelo de Negócios voltado à viabilização do BESS, há outras ferramentas relativas à aspectos comerciais que contribuem para o planejamento estratégico de soluções. *Benchmarking* é um processo para medir e estruturar técnicas que podem levar ao aperfeiçoamento de práticas [GEPEA, 2021a]. Esse processo é feito por meio de observação de práticas, trocas de informações entre os interessados, adaptação dos processos analisados de acordo com o levantamento realizado, e implementação de novas ordens. Normalmente, são medidos a qualidade, tempo e custo, com o foco em aprender novos processos a ser realizados de forma mais aprimorada, rápida ou barata. Os processos ou parâmetros estudados são medidos para verificar o desempenho de tecnologias e sistemas, processos ou organizações, ou estruturar parâmetros de funcionamento, para inovação ou criação de novas metas. No caso do setor elétrico, portanto, o *Benchmarking* mede a performance relacionada ao consumo de energia, e estrutura novos parâmetros para o fornecimento de serviços baseados em energia elétrica.

Há quatro tipos de *Benchmarking*, interno, competitivo, industrial e genérico, que são escolhidos como processo de estruturação conforme o alvo de comparação é estabelecido, desde o próprio negócio já avaliada, com foco na auto-organização, até a análise de processos de outras empresas ou competidores. O *Benchmarking* também pode ser classificado de acordo com as práticas ou processos que serão analisados, ou seja, pode ser focado no processo e na operação das práticas avaliadas, ou na performance, o que permite avaliar produtos e serviços, e estratégico, relativo à estrutura das empresas em relação às demais que oferecem serviços e/ou

produtos semelhantes.

Alguns pontos de atenção para o processo de *Benchmarking* são relacionados à metodologia aplicada, com o foco em processos já existentes e, portanto, limitada para desenvolver novos e/ou adaptar as práticas para as futuras implicações. A liberdade para adaptar e o posicionamento da organização também são apontadas como desvantagens, bem como a habilidade de aplicar melhorias marginais já que o foco de todo o processo é em melhorias de processos comparativos.

Algumas dessas críticas podem ser contornadas pela utilização de uma metodologia de *Benchmarking* mais focada no objetivo que está sendo analisado, viabilizando a criação de uma ferramenta com capacidade de renovação e inovação. Assim, a adaptação deve ser feita para o objetivo de análise, e não por tipo de indústria: esse caráter auxilia na formação de uma ferramenta mais adaptativa e com recomendações focadas em futuros desenvolvimentos e futuros passos. As objeções são verdadeiras, no entanto, e não há garantias que a aplicação de *Benchmarking* irá assegurar os resultados desejados, gerando produtos e serviços com resultados garantidos. As melhorias almejadas, algumas vezes, podem ser alcançadas com melhoria em processos marginais e práticas na própria empresa.

Para elaborar um *Benchmarking*, as prioridades devem ser listadas, de modo difuso, antes de estabelecer qual o tópico específico que será examinado. Essa etapa exige que a empresa analisada tenha um conhecimento amplo de características e condições requisitadas durante o processo, bem como a compreensão das fraquezas e pontos fortes característicos. Em situações em que as prioridades não estão explícitas, identificar a área específica para o *Benchmarking* pode exigir mais tempo da equipe que irá fazer a análise.

Em tais casos, as recomendações podem ter caráter mais geral, fornecendo uma visão de todos os procedimentos de determinado departamento ou empresa; esses procedimentos devem ser separados em fraquezas e pontos fortes, em comparação com os competidores ou com o objetivo estipulado no início. Essa estratégia pode gerar uma análise posterior mais focada, identificando os benefícios para a área analisada. Como o *Benchmarking* é um estudo comparativo, a falta de um objetivo claro expõe um dos problemas da metodologia, o que pode apontar incoerências na análise.

Após estabelecer o objetivo, como os dados necessários deverão ser recolhidos e aplicados é a próxima etapa. Para esse estágio, deve ser mais preocupante determinar quais são as entradas mais indicadas, caracterizando os indicadores quanto características vinculadas às características requisitadas para atingir o objetivo. Para isso, a performance e o período de estudo também devem ser estipulados, gerando parâmetros quantitativos e qualitativos, contextualiza-

ção dos dados, e parâmetros que possam ser reproduzidos. Todos os fatores apontados devem permitir a reprodução da situação analisada em diferentes períodos, o que facilita a comparação com outras empresas, mas também com outros períodos dentro da própria empresa analisada.

O equilíbrio entre dados quantitativos e qualitativos deve existir para que a análise não se torne excessivamente subjetiva e focada nos problemas, ou seja, que apontem as lacunas, mas também forneçam instrumentos para explicar essas lacunas. Para isso, os indicadores devem ser relevantes ao tópico analisado e precisos para que detalhem a situação a ponto de contribuir efetivamente com o trabalho; assim, os indicadores devem ser selecionados para os processos a ser analisados e os resultados devem estar vinculados à cada tópico considerado.

Os indicadores, assim, devem descrever o contexto, e não fornecer a análise completa da situação. A avaliação da equipe envolvida no processo é que deve, assim, interpretar os dados e fornecer o material necessário para a construção do resultado. As métricas para o setor elétrico devem, assim, fornecer material que permita avaliar mudanças no padrão de consumo – não somente a redução do recurso, mas também mudanças referentes à demanda – e classificar se estão vinculadas às políticas energéticas e outros requisitos legais, mas também à planos de custos e/ou eficiência.

Dessa forma, a medição da redução na emissão de gases do efeito estufa e redução de custos – em comparação com a energia comprada e o tipo de fonte geradora – também podem ser significativos para a determinação de um *Benchmarking* para o setor elétrico. As características da infraestrutura, inventário das fontes energéticas disponíveis e práticas de eficiência energética devem ser considerados na avaliação, junto com dados mais específicos de demanda e métricas econômicas, como custos. O custo associado ao fornecimento de serviços baseados em energia elétrica deve ser considerado para gerar propósitos à análise e etapas de implementação de melhorias. Essa métrica pode auxiliar, assim, a gerar parâmetro que auxiliem o gerenciamento, mas não devem ser o único ponto de comparação.

Dada a importância da etapa de análise dos dados e determinação de práticas para a empresa analisada, um ponto importante para o processo de *Benchmarking* é a escolha da equipe responsável, ou responsáveis, e parceiros. Essa equipe deve incluir pessoas que tenham conhecimento dos processos analisados, não necessariamente dentro da empresa analisada. A quantidade de parceiros não precisa ser limitada pelo tamanho do projeto e/ou estrutura da empresa, mas deve ser delimitada pelo conhecimento que essas pessoas possam agregar.

Esses parceiros contribuem não somente na análise dos dados, mas no direcionamento de quais dados são necessários e quais devem ser gerenciados nas etapas seguintes, também auxiliando no direcionamento dos resultados – mensuráveis – e produtos almejados, e práticas que

devem ser alcançadas. A ênfase deve ser, sempre, nos processos e práticas desejadas. Para um parceiro, portanto, poderão ser considerados aqueles que atuam em áreas operacionais, dado o conhecimento dos procedimentos e lacunas para o funcionamento do objetivo de análise, mas também líderes e gerentes, com conhecimento do funcionamento de sistemas e áreas próximas, pessoas relacionadas à medição e obtenção de dados, definidores de políticas e apoio à outras equipes, conhecedores da cultura organizacional e estrutura.

Dada a diversidade da equipe que deverá ser integrada à análise, a comunicação, engajamento e proximidade com os parceiros escolhidos são fatores essenciais para o *Benchmarking*. O plano de desenvolvimento do *Benchmarking* deve considerar que os envolvidos tenham a compreensão de todas as ações esperadas dos seus papéis para que a troca entre a equipe escolhida possa ser transparente e válida.

A fase de análise, assim, dependerá da qualidade dos dados coletados, mas também da troca de informações entre os envolvidos, de forma que as técnicas de análise possam complementar o estudo. Assim, as técnicas de análise devem permitir as comparações das referências no tempo, sob a perspectiva de cada envolvido, da simulação e da modelagem do consumo da energia no tempo em relação aos parâmetros almejados, a construção de um dossiê com as performances analisadas no tempo, e, por fim, as conclusões – aptas para revisões posteriores – dos fatores identificados durante essa etapa.

O documento de análise tem um caráter temporário, pois revisões devem ser feitas em períodos estipulados para que os objetivos e as aplicações escolhidas possam ser reavaliados. A comunicação de resultados deve ser constante, de forma que a troca de informações entre os envolvidos permita a integração no documento com práticas novas. Dessa forma, a análise dos resultados deve fornecer, de forma clara e objetiva, a informação extraída das etapas anteriores.

A comunicação também deve considerar as lacunas para a implementação do objetivo proposto, de modo que práticas possam criar resoluções para esses pontos. A identificação dessas lacunas pode ser um dos pontos mais perceptíveis da análise, já que essas são os mais visíveis e sua resolução interessa aos envolvidos; no entanto, é vital compreender se a resolução das lacunas irá realmente gerar resultados para os objetivos almejados.

2.3 Considerações sobre o Capítulo

A transição energética pode ser definida como um processo de mudança na matriz energética em que uma fonte de geração de energia é substituída por outra. Essa substituição não é, normalmente, ocasionada pelo fim de uma fonte, mas porque avanços tecnológicos impulsionam

nam outra fonte, que pode ser aceita por maior parte da sociedade. A aceitação pode ter diversos motivos, mas no caso da atual transição energética, a redução de impactos negativos causados pela exploração de combustíveis fósseis tende a tornar as fontes conhecidas como renováveis como aquelas que poderão substituir esses combustíveis.

O crescimento na implantação de fontes solares e eólicas, como exemplo, não é recente para o setor elétrico, porém o alto investimento em combustíveis fósseis e a intermitência na geração são fatores que ainda inibem a sua ampla instalação. Assim, a maturidade tecnológica dos BESS, aliado a outros sistemas de armazenamento, pode facilitar a penetração dessas fontes e contribuir para a redução de emissão de carbono.

A implantação de BESS no setor e aspectos tecnológicos específicos para esse sistema acarretam processos mais amplos do que aqueles apenas técnicos. Esses sistemas, com características de carga, armazenamento e posterior descarga da energia elétrica possui especificidades não antes vistas nas fontes de geração de energia em operação. Essas especificidades exigem definições e padronizações específicas para esses sistemas, mas também conferem mudanças culturais para aqueles que operam esses sistemas.

As especificidades de operação de um BESS tanto propiciam a diversidade de serviços identificados, mas também requerem que padronizações e definições mais voltadas para esses sistemas sejam estabelecidas. Também ainda referentes a isto, novos modelos de negócios deverão ser viabilizados pelos diferentes atores do setor elétrico, de forma a disponibilizar esses serviços e se beneficiar deles, e assegurar a escalabilidade da tecnologia. A viabilidade dos serviços também depende de mudanças na inserção e ações dos Geradores Distribuídos dentro do setor elétrico, uma vez que esse novo cenário da transição energética também depende desse grupo.

Dado o interesse na ampliação dos Geradores Distribuídos, sob a perspectiva de ações de grupo, e, conseqüentemente, da tecnologia, a forma como esses geradores operam e são conectados à rede também influencia nos cenários de viabilidade do BESS. O caráter inicial de viabilização da tecnologia aliado a conhecimentos técnicos específicos e ao atendimento de interesse desses grupos acarreta uma função mais ativa, demandando que esses atores possam ser incluídos no setor e durante o processo de tomada de decisão. A escalabilidade do BESS, na altura da entrada da tecnologia do setor, depende de quanto os serviços disponíveis, atenderão às demandas e interesses desse grupo.

3 ANÁLISE DE ACESSIBILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DO BESS

A viabilização do BESS no setor elétrico estabelece novas demandas e um segmento novo de mercado. Além das oportunidades naturais e esperadas para uma tecnologia, a redução dos impactos ambientais e aceitação social, e viabilidade da tecnologia para diferentes atores são fatores que devem ser avaliados. Além disso, para assegurar a inovação esperada para o BESS. Assim, há a necessidade da construção de planos estratégicos de longo prazo, estabelecendo um processo fundamentado na importância da tecnologia para a redução de impactos ambientais, e atendendo aos objetivos e expectativas dos atores. O planejamento estratégico direcionar a entrada dos novos sistemas, orientando a gestão de forma mais segura e estável.

A análise do cenário atual permite capturar as oportunidades. Essa análise é baseada em cenários internos e externos, tais como movimento do mercado e da sociedade, novos produtos, tecnologias, estudos acadêmicos, mudanças governamentais, impactos ambientais, entre outros. Também devem ser avaliados os movimentos migratórios humanos e perspectivas para a urbanização, fundamentais para entendimento do ambiente e do universo trabalhado.

Esses parâmetros estabelecem quais os desafios, os caminhos de inovação, atendimento de novas demandas e a identificação de correções relevantes para a entrada de uma tecnologia no setor elétrico. A estruturação desse conteúdo proporciona a construção de um plano estratégico que direciona as atividades em função do tempo - curto, médio e longo prazo. Para organizar essas informações e apoiar os planos, pode-se utilizar diferentes tipos de metodologias, como o *Roadmapping*.

Essa metodologia, amigável para usuários e com organização das tarefas de forma a permitir a visualização e gerenciamento das atividades, auxiliando na organização de tarefas. Os parâmetros são determinados via uma análise SWOT (*Strengths, Weakness, Opportunities and Threats*). Essa análise, fundamentada nas referências e aspectos particulares do setor elétrico brasileiro, auxilia na determinação de barreiras e oportunidades para viabilizar o BESS, mapeando demandas e direcionando como tarefas para um projeto.

Ainda como análise inicial, o estudo de confiabilidade analisa se a operação do BESS é durável e assegurada para o período de ciclo de vida determinado para o sistema. Baseado em estudos preliminares para a viabilizar o BESS no setor elétrico, atendendo as particularidades do setor e mercado brasileiros, esse capítulo tem como objetivos:

- apresentar uma análise de barreiras e oportunidades para viabilizar o BESS no Brasil;
- divulgar um mapa que permite o gerenciamento de projetos referentes à BESS no Brasil;
- analisar a confiabilidade para uma microrrede com BESS como uma das fontes de energia elétrica.

3.1 *Roadmap* para implantação de BESS no setor elétrico

No contexto do planejamento estratégico, os termos *Roadmap* e *Roadmapping* evoluíram para abranger vários significados [PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2004]. No entanto, o que os *Roadmaps* tendem a ter em comum é o desejo de capturar uma visão de alto nível, sintetizada e integrada ao planejamento estratégico, em um formato gráfico ou tabular simples. O *Roadmap* é um dos pontos focais para a definição de um documento de planejamento estratégico ou planejamento de continuidade de negócios.

O emprego de *Roadmap* como ferramenta de planejamento não é recente: nos últimos 30 anos, essa ferramenta foi adaptada para atender as necessidades de cada empresa e segmento do mercado. Sob essa perspectiva, essa seção apresenta uma análise SWOT, abreviação das palavras (*Strengths, Weakness, Opportunities, Threats*) e um *Roadmap*, ferramentas voltadas ao Planejamento Estratégico. No caso dessa tese, as ferramentas de Planejamento Estratégico são empregadas para direcionar as oportunidades para a substituição do Gerador a Diesel e viabilizar o BESS dentro do setor elétrico brasileiro.

A primeira etapa para a definição do *Roadmap* é a determinação de barreiras e oportunidades para a implantação de BESS no Brasil. A partir dos parâmetros levantadas na análise da tecnologia e perspectivas da implantação do sistema tanto no Brasil quanto em outros países, uma análise de oportunidades, ameaças, forças e fraquezas pode ser feita. As informações levantadas e destacadas no capítulo 2 possibilitou a seleção dos principais pontos identificáveis e, com base nestes, a criação, a identificação de caminhos e ações necessárias para a implantação de um BESS.

Essa seção apresentação a análise dos pontos, a identificação dos caminhos e expõe o *Roadmap* desenvolvido. O texto para essa seção tem como fonte [GEPEA, 2019d].

3.1.1 Identificação de barreiras e oportunidades

A análise SWOT é um processo voltado à identificação de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para o planejamento do negócio. Para essa análise, as forças e fraquezas, referentes às vantagens do próprio negócio que está sendo avaliado, são identificados com o objetivo de apontar em quais pontos há vantagem competitiva em relação aos demais concorrentes do mesmo ramo. As forças e fraquezas se referem às atividades do próprio negócio e a sua reestruturação com foco em ampliar a vantagem competitiva pode ser gerenciada e controlada internamente, aumentando a vantagem frente aos concorrentes com o aprimoramento dos pontos positivos e redução das fraquezas.

As oportunidades e ameaças se referem ao cenário externo do negócio, e que podem comprometer o andamento do negócio. Esses últimos pontos não podem ser controlados pelo negócio, e devem ser monitoradas para evitar impacto negativo na condução das atividades, reduzindo os potenciais vantagens na condução de atividades de planejamento estratégico.

O diagnóstico dessa análise, tanto para o ambiente externo quanto para o interno, não é conclusivo, e deve ser revisto periodicamente. Essa revisão permite reprogramar atividades em função de mudanças nos pontos referentes ao cenário externa e mudanças significativas na condução do negócio. Essa revisão é, portanto, um processo de aprendizado dentro da análise SWOT. A análise auxilia na determinação de atividades referentes ao negócio sob a perspectiva do planejamento estratégico, isto é, na definição de fatores mapeáveis voltados à definição de pontos vitais para ampliar a vantagem competitiva.

As análises foram feitas para as forças e fraquezas do próprio setor elétrico brasileiro, descrevendo pontos favoráveis à viabilização do BESS e ampliação de fontes renováveis na matriz energética do país. Assim, o negócio em questão é o próprio setor elétrico, o cenário interno é referente ao cenário interno de mercado e regras do setor no Brasil, incluindo ações referentes às expectativas referentes ao país frente à novas fontes de geração de energia e entrada de tecnologias, e o cenário externo aponta como demais países e seus respectivos setores elétricos estão lidando com a viabilização de novas tecnologias.

As *Oportunidades* apontam fatores existentes no mercado que podem favorecer projetos baseados em BESS, destacando as possíveis vantagens dos sistemas em comparação aos recursos disponíveis atualmente e que podem atender consumidores com o perfil almejado. As oportunidades são divididas em Tecnologia, Novos Modelos e Processos, Projetos Piloto, e Recursos e Competências. A **Tecnologia** se refere ao direcionamento da implantação do BESS com foco em atender a demanda de consumidores reais e, simultaneamente, oferecer uma opção com menor impacto ambiental, e com incentivo à novas tecnologias e iniciativas de participação.

Inserido nesse contexto, as iniciativas referentes à eficiência energética e ampliar a penetração de fontes renováveis de geração de energia baseada em inovações e desenvolvimento de tecnologias que viabilizam essa nova etapa da transição energética reforçam a análise dos cenários sob o viés tecnológico.

O cenário de transição energética baseia-se na construção de um cenário que viabiliza segurança e confiabilidade para os consumidores, assegurando a acessibilidade e disponibilidade de sistemas e inovações resilientes e inteligentes. O acesso ao BESS deve ser direcionado de forma que os custos sejam justos para todos os consumidores, com capacidade e gerenciamento focado no atendimento à demanda e aceitação social. Dessa forma, as tecnologias devem ser, nesse ponto, eficientes, com impacto ambiental reduzido, flexíveis e robustas.

A viabilização do BESS deverá ampliar a penetração de fontes renováveis de geração de energia, reduzindo os efeitos da intermitência dessas fontes, e dando suporte no encontro da demanda e redução de efeitos negativos em situações de problemas no fornecimento da energia. Dessa forma, as melhorias nas baterias que permitem o acesso à serviços focados na mudança da matriz energética e ampliar a penetração de fontes renováveis de geração são pontos chaves para assegurar a entrada da tecnologia no setor elétrico.

É esperado que o estado atual na tecnologia não sofrerá saltos de desenvolvimento significativos no futuro próximo, fato que ampara projetos em execução ou prospecção e que empreguem o BESS como parte da solução. As melhorias e a continuidade da tecnologia no estado atual amparam a questão do investimento inicial para projetos que voltados à implantação do BESS, fator classificado como questão relacionada à *Preço e Incentivo*. A queda do preço, a construção de uma cadeia de fornecimento e manutenção para esses sistemas ampliam a possibilidade de acesso para outros grupos de consumidores.

Países do Norte Global, como Japão e Alemanha, tem forte predisposição à cessão de subsídios e programas de incentivos a tecnologias, especialmente para setores chave e de interesse público, como é o caso da energia elétrica. Nesse caso, o estabelecimento de esquemas tarifários que incentivem a adoção de novas tecnologias também é visto como uma oportunidade para o setor, uma vez que auxilia o equilíbrio entre os investimentos iniciais e custos de operação para consumidores. A adoção de tais modelos de incentivo e esquemas tarifários são oportunidades para o setor, direcionando ações que encorajem a participação de novos atores e a continuidade de atores que já estão inseridos na configuração atual como consumidores.

Dada a necessidade de definição de estratégias que permitam a entrada de novos consumidores e consumidores, *Novos Modelos e Processos* devem ser desenvolvidos para auxiliar nessa etapa. A bidirecionalidade de energia promove mudanças profundas na configuração do

setor elétrica; as distribuidoras, como parte impactada, deverão rever seus modelos de negócios, analisando quais serviços deverão ser ofertados aos novos atores que se apresentam, mudando sua estratégia de atuação frente aos Geradores Distribuídos. Para isso, essas empresas também deverão analisar quais os benefícios que essa tecnologia traz para a condução de seus negócios, permitindo a revisão de seus papéis na nova configuração, até como prestadora de serviços de infraestrutura, e, por conseguinte, a revisão dos modelos de negócio vigentes.

Ainda que as vantagens do emprego do BESS sejam evidentes, os impactos que essas empresas sofrerão são certos. As distribuidoras questionam sua atuação no setor após a crescente entrada de Geradores Distribuídos nos anos recentes, vide as discussões acerca de esquema tarifário, uso da infraestrutura de distribuição e regras para a conexão com a rede, situação que pode se acentuar com a entrada de BESS. Dessa forma, a distribuidora deverá fazer parte de toda a cadeia de fornecimento de serviços para o operador do BESS, facilitando a expansão e assegurando a própria continuidade de negócio.

A construção de novos modelos comerciais e a determinação de uma cadeia de fornecimento, incluindo contato com fornecedores e prestadores de serviço, também deve ser considerada para essa etapa inicial. A rota de mercado deve assegurar a viabilidade dos negócios e o acesso à tecnologia, construindo processos e modelos de atuação claros para todos os atores. Portanto, a reclassificação do perfil dos clientes e o atendimento às suas demandas de continuidade de negócios são pontos de oportunidade para a construção do novo modelo de negócio para os prestadores de serviço.

Para essa etapa, a classificação permitirá a determinação de nichos de mercado de acordo com as regras de mercado e regulação existentes, estabelecendo um portfólio de serviços e produtos voltado ao atendimento das demandas de cada perfil. A transparência nessa etapa deve ser atendida, dadas as novas regras de atuação. Como atores, nessa etapa, são definidos não somente os Geradores Distribuídos, mas toda a possível cadeia de fornecimento, desde a aquisição de toda a infraestrutura necessária até a operação e manutenção do sistema.

A viabilização do BESS está em curso, mas ainda carece de informações que permitam a construção de regras e padronizações, bem como informações acerca da acessibilidade e viabilidade do sistema. A obtenção de informações, agora de entrada do BESS no setor elétrico, pode ser oportunizada com a instalação de *Projetos Pilotos*: a implantação de projetos e estudos reais auxilia na compreensão de atividades e padronização, aprendizado de requisitos técnicos e de confiabilidade.

O aprendizado e a obtenção de informações referentes à implantação e operação do sistema são organizados como *Recursos e competências*, que se referem à comunicação com os atores,

mas também com a formação de mão de obra especializada e a construção de uma cadeia de fornecimento voltada ao atendimento das demandas e ajuste de imprecisões de informações.

As **Ameaças** indicam questões que podem dificultar a entrada de determinada tecnologia no setor, e devem ser observadas para que não impactem negativamente a viabilização do BESS. A resolução desses parâmetros, ou a redução dos seus efeitos negativos, depende da atuação de tomadores de decisão externos, e são classificadas em Tecnologia e Incentivo, Mercado e Regulação.

A *Tecnologia e Incentivo* se refere às questões de aquisição do BESS, enquanto à fabricação local ou a necessidade de importação do sistema. Como ameaça, a inexistência de políticas de incentivo ou subsídios que facilitem a aquisição da tecnologia pode ser classificada nesse agrupamento também. Questões de não-acesso à tecnologia sob aspectos econômicos podem inibir a entrada de grupos com menor poder aquisitivo, reduzindo a escalabilidade do BESS.

A não escalabilidade também pode inibir a construção de modelos de negócios das empresas distribuidoras e demais prestadoras de serviços, pois reduz a previsão de sistemas implantados e altera a previsão de capacidade instalada e modelos de previsão de atendimento à demanda. Essas ameaças são classificadas como *Mercado*. Essas questões também dependem da definição de parâmetros de aspecto *regulatório*.

A definição de regras que permitam a padronização do sistema, a descrição de papéis e regras para operação e manutenção da qualidade dos serviços são de caráter regulatório; essa frente depende da atuação de tomadores de decisão frente às agências. O desconhecimento dado o recente crescimento desses sistemas na rede ainda afeta a definição de regras de cunho regulatório, fato que demanda tempo e agência de atores para o processo de definição de termos regulatório.

Por fim, como ameaça, a formação de mão de obra especializada em tempo hábil para a implantação de projetos de maior porte pode comprometer a escalabilidade da entrada do sistema. A comunicação e a formação dessa mão de obra devem estar contempladas nas fases de entrada da tecnologia no país.

As **Forças e Fraquezas** são determinadas a partir da análise do cenário interno, identificando qualidades, possível capacidade do setor de se diferenciar, inovar ou se movimentar para eliminar suas limitações de desenvolvimento. Esta etapa indica a agilidade da instituição de se renovar e investir em pesquisa e desenvolvimento de forma consistente e de longo prazo.

As **Forças** apontam indicados fatores no segmento de distribuição de energia elétrica que beneficia o crescimento deste setor. A vigência de Resoluções Normativas, via ANEEL, e

a aprovação de um marco regulatório voltados à Geração Distribuída no país são classificados como pontos positivos do setor interno. A ANEEL também tem regras e procedimentos relativos à conexão de novos geradores na rede, e que padronizam a comunicação e tomadas de decisão de operadores e distribuidoras. A definição de um esquema tarifário baseado horo sazonal também é uma força para o setor.

A agência também aprovou chamada pública para projetos voltados à implantação de BESS no país; em 2017, a ANEEL aprovou 23 propostas de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento para estimular o desenvolvimento de projetos voltados ao desenvolvimento e viabilização de sistemas de armazenamento de energia para avaliação e inserção no setor de energia elétrica brasileiro. A aprovação de projetos dessa natureza também estimula parcerias entre empresas do setor elétrico nacional, universidades, fato que pode estimular um ambiente de inovação e busca de soluções para a implementação do BESS.

As **Fraquezas** indicam fatores no segmento brasileiro que dificultam o crescimento deste setor. A falta de clareza na *Gestão* destes novos sistemas e o novo modelo de negócio pode exigir a mudança de paradigmas tanto em perfil de funcionários, modelo de negociação, tecnologias de controle de informação, comunicação diferenciada com os clientes, serviços diferenciados.

Algumas rotas de mercado e modelo de atuação ainda são indefinidas, atrasando a evolução deste segmento. Longos processos para aprovar plano de desenvolvimento e inovação de novas tecnologias, e a demora para diferenciar os perfis de Geradores e de esquemas de tarifação para clientes inviabiliza estudos de acessibilidade.

Os pontos identificados durante a análise dos cenários permitem categorizar as oportunidades e fraquezas para o planejamento estratégico de viabilização de um BESS. A partir desses pontos identificados, possíveis ações podem ser reconhecidas; algumas das barreiras identificadas não dependem de ações diretas do gerente do projeto ou do interessado na tecnologia, como por exemplo a definição de marcos regulatórios e padronizações. Ainda que a ação não possa ser direta, e alguns dos interessados identificados têm agência frente à tomadores de decisão, a condução das discussões e levantamento de informações admite prever um tempo para a conclusão das ações referentes.

Importante salientar que a ferramenta de gerenciamento, nesse ponto da viabilização do sistema e por dúvidas quanto aos processos de tomada de decisão, deve permitir o remanejamento das ações, conforme algumas podem se desenvolver mais rapidamente que o previsto. Dessa forma, as ações, que não são isoladas e se complementam, podem ser ajustadas, evitando maiores impactos e atrasos na condução do projeto. Todas as ações identificadas são atividades

direcionadas com foco no desenvolvimento de um plano de negócios e na organização de um novo mercado.

A partir dos macros temas, ações passíveis de gerenciamento no tempo foram definidas. Quanto às questões relacionadas à **Tecnologia**, são determinadas como ações aqueles referentes ao desenvolvimento do sistema e que impactam na compra e montagem do sistema; portanto, as ações, de modo geral, são listadas abaixo:

- Estudar modelos vigentes e trabalhos posteriores, levantando métodos de implantação da tecnologia e identificação possíveis fragilidades quanto ao acesso à tecnologia.
- Avaliar o acesso à tecnologia e sistemas adjacentes.
- Mapear mudanças de desenho e material para o BESS para o futuro próximo.
- Analisar e definir propostas de acessibilidade à tecnologia.
- Determinar formas de apoio e subsídio aos atores.
- Avaliar sistemas de controle da bateria e gerenciamento da demanda.
- Avaliar nova tecnologia para Inversores para transição mais suave.
- Ampliar a leitura remota de consumo e geração de energia dos clientes.
- Avaliar tecnologias e métodos de medição.
- Determinar tecnologias de baterias existentes, apontando qual a mais adequada para o cenário e demanda do consumidor.
- Avaliar tecnologias de baterias e BESS que possam operar de forma eficiente e adequada para espaços de reduzido tamanho, ou com menor impacto visual.
- Verificar modos de conexão e operação para consumidores.
- Analisar requisitos técnicos para possível despacho de energia para a rede principal.
- Integração das microrredes para otimizar o controle e a devolução de energia.
- Ampliar o acesso de tecnologia digital para controle de consumo, produção e devolução de energia, determinando soluções mais modernas e integradas.
- Analisar tecnologias disponíveis para o BESS e construir documentação com recomendações para consumidores.

- Implementar o BESS para desenvolver modelos e obter aprendizados em consumidores reais.
- Implementar projetos em segmentos diferenciados.
- Produção de documentação e eventos de passagem de conhecimento.
- Emitir relatórios técnicos frequentes, por diferentes tipos de aprendizado tais como: tecnologia, tarifação, controle da demanda, negociações com cliente etc.

Ainda em relação às barreiras e oportunidades determinadas pela análise do cenário de implantação, os parâmetros a seguir determinam pontos de atenção referentes ao **Modelo de negócios**:

- definir pontos viáveis à implantação de um novo modelo de negócio, voltado para o cenário brasileiro.
- Determinar um escopo para um Modelo de Negócios que viabilize o acesso à tecnologia e futura escalabilidade.
- Estabelecer o fluxo de processos, papéis e responsabilidade das partes.
- Mapear as regras ou normas que precisam ser ajustadas para a implementação de novos processos e operação.
- Segmentar as áreas com maior consumo, e seus principais clientes ou bairros da região para criar micro redes e atuar de forma proativa e preventiva no quesito de energia backup e devolução de energia para a rede.
- Determinar possíveis serviços baseados em energia elétrica que viabilizem a implantação do BESS para consumidores brasileiros.
- Mapear atores e consumidores alvo para a implantação do BESS.
- Definir portfólio de produtos e serviços para diferentes atores e consumidores.
- Desenvolver um kit de explicação da tecnologia por tipo de ator e clientes mapeado.
- Desenvolver documentação com especificação de tecnologia por consumidor.
- Definir guia com normas e regras referentes a compra/comodato, implementação, manutenção etc.

- Desenvolver parcerias com fornecedores locais ou regionais/globais para facilitar a implementação e desenvolvimento de suprimentos, produtos ou serviços.
- Selecionar lista de clientes para acompanhamento da implantação e operação do sistema.
- Gerar análises da implantação e operação para a lista de clientes selecionada, focando na construção de lições aprendidas e dados relativos à viabilidade.
- Plano de incentivo para viabilizar e reduzir o valor da bateria e inversor, com foco no intercâmbio de tecnologia ou desenvolvimento interno.
- Analisar o desenvolver de programas de incentivos voltados a estimular a compra dos equipamentos.
- Desenvolver parcerias entre o Brasil e os fornecedores para agilizar a compra dos equipamentos.
- Planos de incentivo para acelerar a implementação do projeto de forma massiva.
- Plano para desenvolver uma nova política e novo controle de preço e consumo considerando com ou sem BESS.
- Voltado para o Nível Mercado, desenvolver um plano de comunicação para a mudança cultural, focada na importância do BESS e na utilização no momento do pico de consumo.
- Nível Cliente: Desenvolver Guia com as normas e regras de implementação e controle.

Os pontos determinados para **Recursos e competências** são descritos abaixo:

- voltado para mudanças culturais, criação de um plano para educar sobre o conceito e a importância de sistemas de armazenamento de energia.
- Pesquisar os profissionais quanto aos diversos níveis de conhecimento da tecnologia.
- Desenvolver plataforma de treinamento, online e presencial.
- Capacitar profissionais das concessionárias sobre o novo modelo.
- Capacitar profissionais no nível técnico para manutenção e implementação.
- Capacitar profissionais de nível superior para desenvolvimento de tecnologia, novos tipos de materiais e componentes para a bateria. Visando evoluir com iniciativas e geração de oportunidades, que viabilizem a implementação etc.

- Capacitar profissionais de outros segmentos como Engenharia Civil e Arquitetura na construção de prédios e indústrias com preparação para planejar visando usos para sistemas de armazenamento de energia.

Para a **Regulação**, a partir da análise dos cenários apontados nas referências, foram levantados os seguintes pontos de atenção:

- mapear regulação existente acerca de temas como acesso à rede, compensação financeira, despacho/injeção de energia, operação e gerenciamento da infraestrutura.]
- mapear regulação existente quanto o papel e responsabilidade dos atores que possam interagir com o consumidor.
- Mapear oportunidades para a regulação existente que viabilizem a implantação e escalabilidade do BESS.
- Análise de regulações vigentes em outros países.
- Avaliar regulações e desenvolvimento de regulamentação focada na implantação de BESS em outros países ou regiões.
- Delimitar barreiras para Geradores Distribuídos a partir da regulação vigente.
- Especificar possíveis padronizações para a operação e implantação de BESS.
- Apontar possíveis pontos adaptáveis na regulação, a partir do aprendizado e análise da operação da instalação física do BESS.
- Acompanhar evolução de marco regulatório e Resolução Normativa para o BESS e Geradores Distribuídos.
- Acompanhar grupos de trabalhos voltados à padronização do BESS e conexão à rede.
- Disseminação de conhecimento e divulgação de regras e padronizações.

As ideias ou iniciativas sugeridas nesta seção são caminhos possíveis para a evolução do armazenamento de baterias no mercado brasileiro. Estes podem ser ajustados conforme o andamento das atividades previstas e permitirá adaptações ao longo do tempo. Para que esse segmento do mercado evolua faz-se necessário ordenar as camadas na visão de médio e longo prazo e seguindo uma sequência que permita evoluir as tarefas previstas no mapa. Para isso, a próxima seção irá detalhar o *Roadmap* o desenvolvimento de planejamento estratégico voltado à viabilização do BESS.

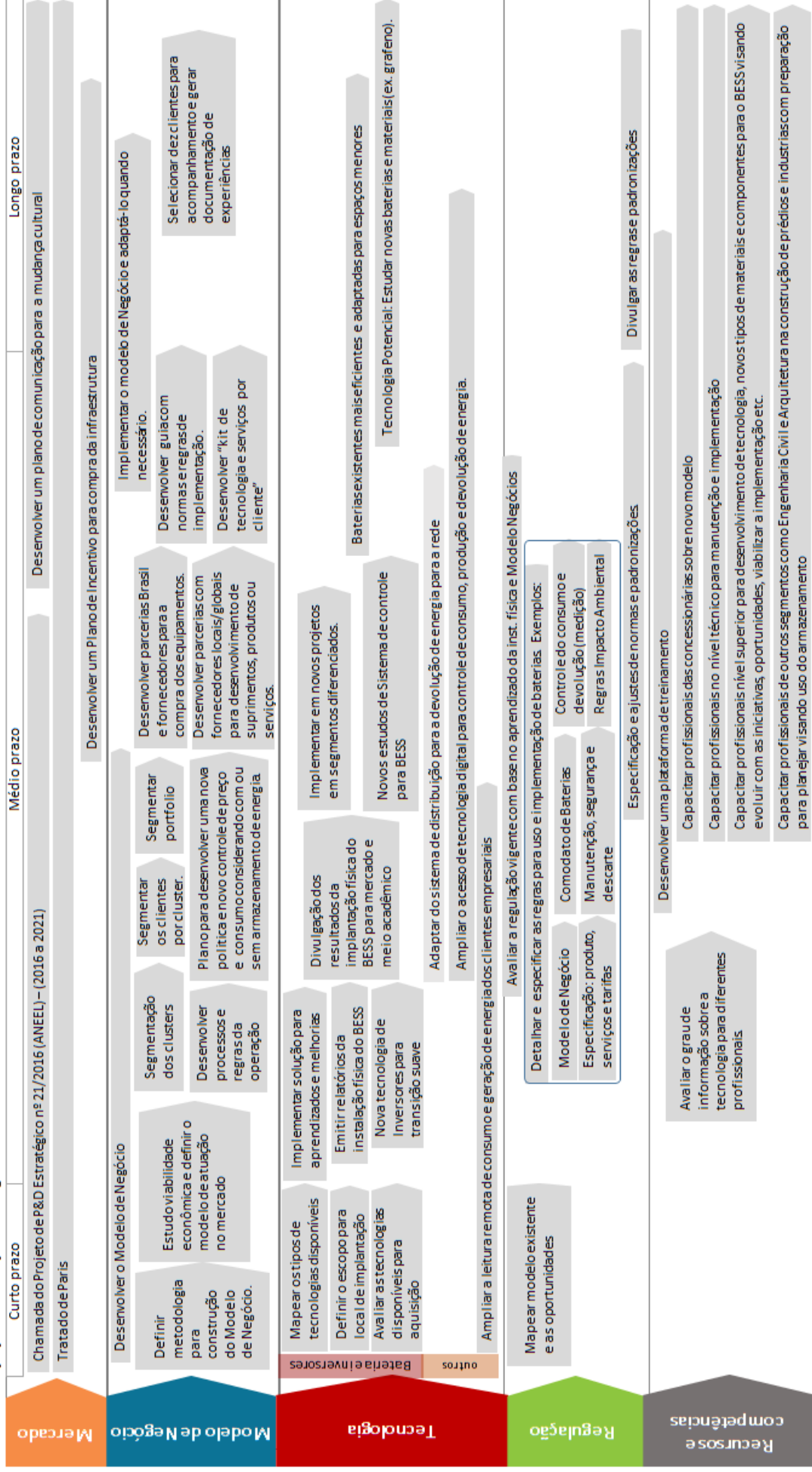
3.1.2 *Roadmap* de Planejamento Estratégico para o BESS

O *Roadmap* é uma ferramenta de gerenciamento de informações, com uma configuração que permite ao gerente do projeto visualizar as macros tarefas e as reorganizar no tempo, caso seja necessário. O *Roadmap* permite que os envolvidos no projeto possam reestruturar as tarefas e as reorganizar, auxiliando na construção de ciclos e processos de aprendizado. A ferramenta deve ser parte do plano estratégico durante a implantação de um projeto, e constitui um passo inicial para a definição de planos de negócios.

O *Roadmap* é construído em camadas, de acordo com os macros temas identificados na seção anterior, e as ações identificadas são distribuídas em níveis, auxiliando na visualização e organização do projeto de implantação do BESS para um consumidor conectado na rede de média tensão, participante do mercado cativo de energia e com interesse na redução de custos com energia elétrica. A Figura 4 apresenta o *Roadmap* para BESS.

Figura 4: Roadmap para planejamento estratégico do BESS

Roadmap para implantação de BESS no mercado brasileiro



Fonte: Elaborada a partir de [GEPEA, 2019d]

A camada *Mercado* está relacionada com os motivos para a implementar o projeto e contém direcionamentos e necessidades do mercado. Essa camada também contém iniciativas governamentais e de agências vinculadas, e acordos ambientais que estimulam o desenvolvimento da tecnologia e o crescimento em projetos. Algumas ações também se referem à cessão de subsídios e criação de normas e padronizações, atividades vinculadas ao governo e que podem fomentar a tecnologia no país. A camada *Modelo de Negócio* se refere às formas de atuação no projeto, indicando ações necessárias para o desenvolvimento de projetos voltados à entrada de BESS.

O modelo de negócio é voltado à continuidade do negócio de consumidores classificados no esquema tarifário citado, e em permitir a viabilidade de projetos voltados ao avanço da tecnologia no país. Esta camada conecta as ações apontadas na camada *Mercado* com as demais camadas indicadas, especialmente aquelas de caráter mais técnico.

As camadas *Tecnologia, Regulação e Recursos e Competências* são as camadas relacionadas à execução do projeto, ou seja, a maneira como a tecnologia será implementada; essas camadas estão relacionadas às soluções tecnológicas, competências e recursos, abordando como trabalhar a tecnologia, normas e os recursos humanos para atender as necessidades da camada *Mercado*. Nessas camadas estão listados itens do alicerce do projeto, que, caso esteja bem estruturado, permitirá que as ações indicadas na camada intermediária, *Novo Negócio*, apoie a implementação e execução do projeto.

As iniciativas de cada camada são descritas de forma a exemplificar quais são as possibilidades e caminhos a serem seguidos, ressaltando que as ações dependem da agência e validação de outros interessados na tecnologia. Ajustes no tempo são esperados, conforme algumas ações apontadas podem ser adiantadas ou atrasadas, fazendo parte do processo de aprendizado da ferramenta proposta. A camada *Mercado* apresenta os direcionadores interessados no desenvolvimento de estratégias e viabilização do BESS. Na Figura 4 as iniciativas apontadas indicam ações de fomento à tecnologia no país; o alcance dessas iniciativas depende de pautas públicas, ações de tomadores de decisão e agenda política. A aprovação de projetos de Projeto e Desenvolvimento com o objetivo de estimular o desenvolvimento de projetos para avaliação e inserção no setor de energia elétrica brasileiro é um dos pontos de início para a iniciativa presente.

As discussões acerca de impactos ambientais e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas também direcionam ações que induzem à projetos com foco na descarbonização do setor elétrico. Algumas ações citadas para um futuro próximo são relacionadas à mudança cultural esperada como resultado da mudança na configuração da rede. Com a mudança nos papéis, o estímulo à novos Geradores Distribuídos e continuidade dos existentes deve ser viabilizada via

ações de comunicação que esclareçam as expectativas e questões técnicas para os BESS. Nessa comunicação, quais serviços podem ser providos, comunicação e intervenções desses geradores devem ser esclarecidas, ampliando o conhecimento informal acerca a tecnologia.

As ações sugeridas para a mudança cultural são referentes à criação ou fortalecimento de canais de comunicação e desenvolvendo interação com os Geradores Distribuídos, tais como *websites*, tanto especializados como aqueles criados para esclarecer dúvidas, centrais de atendimento, mídias físicas, fortalecimento de cadeia de fornecedores e equipes das distribuidoras, comitês e encontros técnicos. Destaque também para meios de comunicação que promovem métodos de eficiência energética, tais construção civil e Organizações Não Governamentais (ONG). A comunicação deve ser direcionada para o perfil do público, ou com informações mais técnicas, para o caso daqueles com mais conhecimento da tecnologia ou que atuem na área, ou informação mais rápida e com maior conteúdo diverso, para atrair aqueles com perfil não-técnico, mas interesse no sistema.

A mudança cultural também pode promover pressão social para estimular a criação de planos de incentivo, tanto para a aquisição e produção de novas tecnologias, quanto para promover a universalização do acesso. Para essa ação, o Estado pode promover esquemas tarifários, financiamentos especiais e promoção do desenvolvimento interno de novas tecnologias.

Na camada *Modelo de Negócio* são apresentadas ações que direcionam seções de mercado e cadeia de fornecimento para a entrada e escalabilidade do BESS no país. As iniciativas são focadas em empresas do setor, para que possam atender clientes e interessados no sistema, e assegurar a continuidade das atividades e a satisfação do foco de cada interessado.

As atividades indicadas para a evolução desta camada são direcionadas à construção de um Modelo de Negócios, desde a escolha de uma metodologia adequada para novas tecnologias, e que abranjam as definições e pontos de atenção específicos para o BESS. Para isso, nessa camada também são previstos estudos de viabilidade econômica e acessibilidade, que avalia se o equilíbrio entre o investimento inicial e os custos de operação e manutenção se equilibram, tornando possível o acesso de consumidores com o perfil evidenciado, e processos e regras de operação, que determinam a operação mais adequada de acordo com as necessidades do consumidor.

Ainda nessa etapa, são previstas ações referentes à criação de um canal de *Marketing* para que o interessado tenha acesso ao BESS e seus serviços previstos; nesse caso, o canal pode ser direto, em que o fornecedor do produto vende direto para o consumidor/cliente ou canal indireto, o fornecedor vende para um representante e este revende para o cliente. Há diversas formas de negociação, como venda do produto, venda do produto e negociação de serviços

futuros, como manutenção e suporte, e comodato de produtos e negociação de serviços futuros.

A definição de caminhos de *Marketing* depende da classificação dos clientes por perfil e demandas, segmentando a atuação e definindo formas padronizadas de comunicação e condução de serviços. Assim, como ação é prevista a setorização dos clientes, aglomerando por categoria e potencial de implantação real do BESS, esclarecendo tipos de tecnologias disponíveis, tamanho, padrões de operação por tipo de negócio, serviços disponíveis, níveis de segurança, entre outros. Com esse cenário definido é possível segmentar os clientes por região e grupo de clientes.

Essa segmentação esclarece qual a rota de mercado possível e desenvolvimento de possíveis produtos e serviços. Os clientes podem ser segmentados por consumo e área de atendimento, também definindo quais serviços e produtos podem ser disponibilizados, por tipo de atividade, nível de despacho ou carga da bateria, entre outras informações relevantes aos operadores. Os diferentes tipos de consumidores e níveis de serviço endereçam questões relativas à formação de preços e caracterização de tarifas de acordo com o perfil e necessidade de atendimento.

Ainda como ação prevista para essa camada, são descritas atividades que possam desenvolver parcerias dentro do setor, que auxiliem na aquisição e acesso à tecnologia, fortalecendo fornecedores e fabricantes dos sistemas. Esse processo é longo e burocrático, o que pode ser um obstáculo para a entrada de novas tecnologias ou novos concorrentes. O desenvolvimento de parcerias com fornecedores locais e globais para criação de cadeia de suprimentos, produtos ou serviços; como complemento à essa ação, é previsto um mapeamento de fornecedores e fabricantes de peças, produtos que atuam no mercado brasileiro. Essas informações devem compor um manual com normas de implantação, explicações sobre a tecnologia e serviços disponíveis, focado no perfil do cliente. Esse material detalha a carteira de benefícios, especificações e viabilidade do sistema. A partir da análise de todos os casos de implantação em clientes reais, para avaliar os aprendizados e os benefícios gerados para o período, ajudando no processo de validação do processo toda e ajustes na documentação. Após implementação do modelo, faz-se necessário acompanhar os processos, acompanhar a operação para compreender quais são as oportunidades de adaptação e ajustes da rota de mercado estabelecida.

Na camada **Tecnologia** são apresentadas as ações referentes à atuação do negócio para assegurar que o referido projeto possa ser implementado e obter resultados favoráveis. Esta camada contém ações para a estudo e implementação de BESS, assim como, a possibilidade de outras tecnologias que podem trabalhar de forma a contribuir para a entrada do sistema e sua escalabilidade.

As ações fundamentais para essa camada se referem à implantação de uma instalação física,

em condições reais, em um consumidor, e que permite a obtenção de dados e análise de condições operativas do BESS. Para isso, são previstas etapas de Desenho do Projeto, implementação do sistema e comunicação dos resultados. A etapa de Desenho do Projeto compreende todo o mapeamento dos tipos de tecnologia, desenho e especificação da instalação física, escolha do cliente, avaliação das tecnologias disponíveis (bateria e inversor) e desenvolvimento da proposta para a compra da tecnologia.

As ações referentes à instalação física do BESS se referem à execução de instalação de todo o sistema até o acompanhamento dos resultados, incluindo atividades de obtenção dos dados iniciais, ajustes e avaliação de informações de operação e performance de todo o sistema, incluindo a infraestrutura já instalada no local. Por fim, a etapa de comunicação prevê a emissão de relatórios técnicos de resultados da instalação física do sistema, possibilitando análises pontuais, processo contínuo de aprendizados e possíveis correções no projeto.

As informações obtidas na etapa de comunicação devem ser divulgadas para os meios pertinentes, como por exemplo, empresas e interessados dentro de um domínio técnico, bem como para o meio acadêmico, estimulando a discussão e melhorias no sistema, bem como a formação de novos profissionais aptos a exercer atividades concernentes ao sistema em questão. A publicação não deve estar focada somente na tecnologia, e deve considerar os modelos de negócio, segmentos de produtos, segmentos de clientes precificação, regulação, todos previstos no projeto; como parte do processo de aprendizado esperado, no médio prazo novos projetos podem ser desenvolvidos para ampliar o conhecimento e ampliar os dados e análise, bem como propor evoluções para o BESS.

Como ação a longo prazo, a instalação de BESS em clientes com perfil diferente do proposto é prevista; essa ação, associada com novos estudos de sistema de controle aspiram ampliar a quantidade de dados e informações referentes à performance do BESS, ampliando a pesquisa e análise de parâmetros relacionados à confiabilidade, durabilidade, segurança e controle de sistemas vitais para o gerenciamento e controle do BESS, bem como da infraestrutura adjacente. Esses dados também podem complementar análises concernentes à vida útil, controle e automação do sistema, manutenção e custos.

A análise desses dados também é essencial para a condução do negócio das empresas distribuidoras, que precisam criar modelos de predição e analisar viabilidade de tecnologias de medição e controle. Esses casos são mais críticos para situações em que a Geração Distribuída crescer a ponto de afetar as curvas de carga e as predições de demanda. Dessa forma, com foco no cliente, são previstas ações de implantação e desenvolvimento de sistemas inteligentes, auxiliando na operação do sistema e ampliando a confiabilidade do sistema, e, para a distribuidora,

sistemas voltados à programação dos clientes e medição da rede.

No longo prazo, estudos direcionados para o desenvolvimento de novas tecnologias e inovação, viabilidade de sistemas inteligentes são previstas como ações para um projeto focado em tecnologia. Como projetos, são propostas iniciativas para novas tecnologias e evolução das baterias atuais, como foco no desenho e uso de novos materiais, eficiência de BESS e adaptação para espaços menores e espaços urbanos. Para essa última proposta, são também consideradas análises de uso do solo, impactos sociais, confiabilidade e segurança, eficiência e desempenho do BESS.

Ainda em relação à tecnologia, novos tipos de baterias, disponíveis atualmente para aquisição e em fase de maturidade tecnológica, podem ser analisados para consumidores com perfil próximo ao proposto. Essa evolução admite a análise de dados referentes ao impacto ambiental e aceitação social, mas também implicam em pesquisas de melhoria de parâmetros técnicos e de confiabilidade.

Na camada **Regulação** estão contidas as ações referentes ao desenvolvimento ou ajustes de marco regulatório, Resoluções Normativas e legislação para viabilizar o BESS no Brasil. As atividades indicadas para a evolução desta camada são relacionadas ao monitoramento de atividades e discussões que referentes ao esboço e aprovação de leis e regras para o setor, que possam impactar a implantação e operação, bem como a comunicação de leis e regras estabelecidas no período.

A primeira atividade se refere ao mapeamento de todas as Resoluções Normativas e legislações atuais, no caso brasileiro, com a verificação de parâmetros técnicos, operacionais, processuais e comerciais da regulação vigente. As regras e legislações vigentes colaboram para a identificação de barreiras significativas para a tecnologia no país.

Como exemplo de parâmetros que devem ser esclarecidos para o processo de viabilização possa ser executado são relacionados ao modelo de negócio, definindo os papéis e dinâmicas do novo negócio, esquema de tarifação, segmentos de clientes, segmentos de produtos, tipos de serviços, financiamento e incentivo; comodato de Baterias, detalhando os direitos e responsabilidade do operador do sistema e demais atores; fluxo de informação e detalhamento de procedimentos de manutenção, segurança, descarte e regras de impacto ambiental. Esse mapeamento deve ser atualizado constantemente, avaliando a evolução de regras e andamento de marco regulatório no país.

A análise dos dados obtidos na instalação do BESS em consumidores reais, incluindo o processo de aprendizado e o modelo de Negócio contribuem para a definição de novas regras e podem ser apresentados para grupos de estudo e durante consultas públicas referentes à viabili-

zar o BESS no Brasil. Caso essas informações possam ser acessadas por tomadores de decisão, no caso de etapas de consultas públicas, por exemplo, há uma contribuição real para a especificação, desenvolvimento e implementação das novas regras. É esperado que, com a maturidade de projetos e a escalabilidade em sistemas, atualizações nas regras aconteçam, promovendo novas discussões e processos de comunicação.

Na camada **Recursos e Competências** as iniciativas no desenvolvimento de pessoas tanto da empresa, quanto do meio acadêmico, quando de profissionais que atuam no setor de energia ou estão envolvidos de alguma forma com o tema são contidas. Dado o estágio atual de maturidade tecnológica do BESS, há a necessidade de capacitar mão-de-obra especializada e apta a lidar com a tecnologia, suprimindo a carência e necessidade imediata de profissionais habilitados; para isso, diferentes níveis de educação formal e possibilidades de atuação no setor devem ser avaliados.

As atividades indicadas para a esta camada são referentes à determinação de entendimento e compreensão concernentes à tecnologia, para diferentes níveis de profissionais, e desenvolver estratégias de formação e aprimoramento de mão de obra especializada. Para essa camada, ações de treinamento, com o desenvolvimento de plataformas e sessões técnicas para diferentes níveis e perfis técnicos são apresentadas.

Válido salientar que mesmo profissionais que não atuam de forma direta no setor elétrico, como engenheiros civis e arquitetos, devem ser incluídos no processo de formação, viabilizando novos projetos, especialmente em referência ao uso de espaço e impactos, mas também quanto à projetos de eficiência e novos padrões de construção.

3.1.3 Análise da Confiabilidade para viabilizar BESS

Essa seção apresenta estudos para o cálculo da confiabilidade para o BESS [GEPEA, 2018]. Nesse estágio da entrada dos sistemas, os principais objetivos para um estudo de confiabilidade se referem à determinação de ocorrência de incidentes, e, como resultado, estratégia para mitigação de incidentes e danos, bem como o rápido retorno operacional em caso de incidentes. No caso do BESS, a inserção do sistema deve garantir a disponibilidade dos serviços baseados em energia elétrica com grau de confiabilidade em um intervalo de preservação da expectativa do operador e aspectos relativos à arquitetura e topologias especificadas, assegurando a probabilidade de um sistema não apresentar falhas para um determinado intervalo de tempo.

A determinação da confiabilidade para determinado sistema engloba o controle físico, o controle lógico, e o controle humano. A partir de uma microrrede conhecida e de seus requisitos,

é possível calcular a confiabilidade empregando uma determinada função. Há diferentes formas de calcular a probabilidade, mas a definição da função confiabilidade é sempre a mesma. Essa é uma das principais funções probabilísticas usadas para descrever estudos provenientes de testes de durabilidade de um sistema.

A função de confiabilidade (*reliability* em inglês) é definida pela função $R(t)$ e, definida como a probabilidade ($P[T \geq t]$) de um produto ou serviço atuar sem falhas por um determinado tempo t . Em termos probabilísticos, isso é descrito em função da variável de interesse T , que é o tempo até a ocorrência da falha. Portanto, a confiabilidade é a probabilidade de um determinado item, componente, equipamento, máquina ou sistema desempenhar a sua função especificada, de acordo com as condições de operação especificadas, em um intervalo específico de tempo.

A confiabilidade, por ser um cálculo probabilístico, necessita de uma base histórica de falhas de um determinado equipamento para a projeção de um cenário futuro. Os seguintes dados são empregados para calcular a confiabilidade: Tempo Médio entre Falhas (MTBF, *Mean Time Between Failure*); Taxa de Falha dos Equipamentos; Tempo Médio de Reparo (MTTR, *Mean Time to Repair*); Intervalo de Tempo que o sistema deve estar funcionando até que uma falha ocorra (MTTF); Taxa de Falhas (λ , *Failure Rate*), correspondente ao inverso do MTBF; Taxa de Reparo (μ , *Repair Rate*), correspondente ao inverso do MTTR;

O MTBF é calculado em função do MTTF e MTTR, e o cálculo da confiabilidade é realizado para uma função do tempo e da taxa de falhas para um determinado tempo de projeção. De forma geral, essa forma de cálculo é utilizada quando se tem itens reparáveis. Quando se tem itens não reparáveis, deve-se usar outro modelo probabilístico, como, por exemplo, a Análise pela Distribuição de Weibull.

O *Método da Distribuição de Weibull* é uma forma de análise feita a partir de uma amostra representativa e que permite fazer previsões de um produto dentro de uma população, por meio de adaptação em uma distribuição estatística de dados. A análise pelo Método da Distribuição de Weibull é um método de modelagem de dados contendo valores maiores que zero - dados de tempo até a falha ou MTTF.

A fórmula de Weibull pode ser representada pela fórmula utilizada mostrada a seguinte:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}$$

A equação 3.1.3 é aplicada para determinar a confiabilidade $R(t)$, porém empregada para calcular a taxa de falhas $F(t)$, onde:

- $F(t)$ é a probabilidade de falha para uma determinada amostra;
- t é o tempo até a falha;
- η é a característica de vida ou parâmetro de escala;
- β é o parâmetro de inclinação ou forma.

Duas situações distintas devem ser consideradas para a análise da confiabilidade. A primeira supõe que após atividade manutenção, a idade do componente em questão é restaurada para zero, e a segunda opção assume que a manutenção deixa o componente em uma condição ruim, portanto a determinação da não muda após a atividade de manutenção. Para o cálculo da estimativa da confiabilidade para baterias, empregou-se a primeira opção.

A confiabilidade é determinada em função do tempo, e por esse motivo o tempo de falha é um parâmetro importante para a análise. Uma população amostral homogênea - BESS de mesmo modelo e proveniente do mesmo lote e fabricante - é empregada; as populações heterogêneas ocorrem no contexto de testes de vida acelerados, que são tratados via modelos de regressão. A análise do tempo de falha responde aos questionamentos relacionados ao tempo de vida de produtos e componentes. Para a determinação do tempo de falha, foram empregados dados de especificação das baterias e o seu tempo de vida estimado: cada fabricante determina testes para determinar o comportamento das baterias em situações diversas e de estresse do equipamento. Os testes são feitos em ciclos de carga e descarga da bateria, para um período estimado de 10 anos em condições normais de operação, ou 5000 ciclos e registro de ciclos até a falha.

A partir da análise do comportamento das baterias nesses testes, determina-se o MTTF, o tempo para que 10% delas parem de operar e percentual de falha para os dois primeiros anos de uso. A partir dos dados analisados, é estabelecido que o banco de baterias possui redundância e é possível fazer a troca das baterias sem comprometer as especificações para o consumidor. Os ciclos de carga e descarga das baterias para o tempo em anos que a bateria operou antes de cada falha são empregados para estimar o MTTF e o intervalo médio entre as amostras para falhas, como mostrado na Tabela 1.

A média de falhas na amostra é de sete anos; os dados de amostragem de tempo até a falha auxiliam na determinação dos parâmetros β e α da fórmula de Weibull. Como a determinação da confiabilidade é um processo probabilístico, o emprego de um software capaz de cálculos desse tipo deve ser feito para calcular os valores da posição mediana (*Median Rank*), baseado no número médio da amostra, e MTTF.

Tabela 1: Valores de tempo até a falha da bateria

Amostras	Ciclos	Horas	Dias	Anos
1	562	13488	562,0	1,5
2	1122	26935	1122,3	3,1
3	1212	29088	1212,0	3,3
4	1356	32544	1356,0	3,7
5	1492	35813	1492,2	4,1
6	1651	39631	1651,3	4,5
7	2213	53112	2213,0	6,1
8	2679	64296	2679,0	7,3
9	2714	65146	2714,4	7,4
10	2784	66816	2784,0	7,6
11	2861	68671	2861,3	7,8
12	3122	74928	3122,0	8,6
13	3622	86928	3622,0	9,9
14	3859	92616	3859,0	10,6
15	3958	94992	3958,0	10,8
16	4027	96648	4027,0	11,0
17	4132	99168	4132,0	11,3
18	4454	106896	4454,0	12,2
Média	2656,75	63762	2657	7

O parâmetro β indica se a taxa de falha crescente, decresce ou é constante: quando β possuir valores menores que um, a bateria está com a taxa de falha decrescente e indica que o produto falha no início do seu período de uso; quando β for igual a um, a falha é constante; quando β maior que um, a taxa de falha é crescente, típico de produtos que falham por desgaste. O parâmetro α é uma medida de escala ou propagação com relação à distribuição dos dados, e representa o número na escala em que mais de 60% das baterias falharam. Os resultados mostram que 37% das baterias sobrevivem após um período de 3059 ciclos, ou, para um ciclo de uso por dia, após 8,4 anos.

O estudo da confiabilidade proporciona a determinação de intervalos de manutenção, tanto para a manutenção corretiva e preventiva, calculado pelo MTTR. A manutenção corretiva reduz significativamente a confiabilidade do sistema, pois não há planejamento de desligamento do BESS e não é possível estimar o tempo de correção, dado que pode ocorrer falta de equipamento e peças de reposição no momento da falha, além do tempo de alocação de equipes de manutenção de emergência. Em função desses fatores, entre outros, a manutenção corretiva é vista como mais custosa do que a preventiva. A manutenção preventiva é aquela que pode ser programada antes de ser realizada e não há perda por problemas de fornecimento de serviços, pois ela pode ocorrer em paralelo com o sistema em operação. Nesse caso, não são estimados custos extras de manutenção.

Para definir qual manutenção atende as expectativas do consumidor, a probabilidade de falha do componente e a confiabilidade para determinado período devem ser analisados. O *Método da Distribuição de Weibull* é, portanto, atrelado aos custos na análise da confiabilidade pois é o método que evidencia a probabilidade de falha do componente ao longo do tempo. Os parâmetros beta e alfa necessários para calcular as funções de confiabilidade e probabilidade de falha são estudados ao longo do tempo para auxiliar na análise. Para um intervalo de tempo até a falha é determinada a amostragem no tempo: 10 intervalos de tempo com espaçamento de 100 ciclos, até atingir 4.500 - máximo de ciclos até a falha atingida na amostragem - e a conversão de ciclos para um ciclo diário, como esperado na proposta.

Para os valores de α igual a 3059,3 e β 1,9989, os valores da função de confiabilidade e probabilidade de falha são determinados para intervalos de tempo espaçados em 100 ciclos. Os resultados são mostrados na Tabela 2.

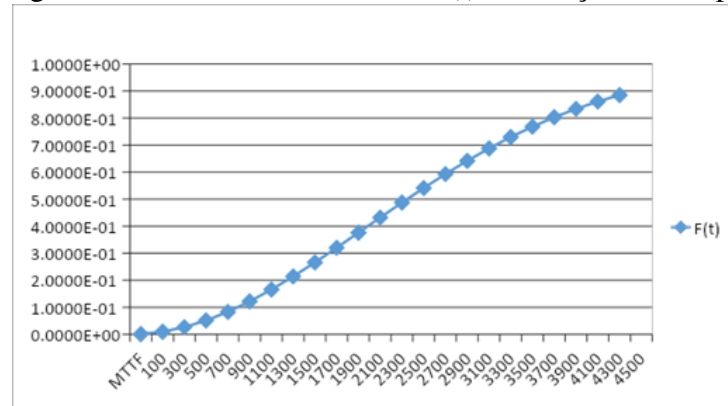
Tabela 2: Funções de confiabilidade e probabilidade de falha

	MTTF	F(t)	R(t)
1	100	0,0011	0,9989
2	300	0,0096	0,9904
3	500	0,0264	0,9736
4	700	0,0511	0,9489
5	900	0,0830	0,9170
6	1100	0,1214	0,8786
7	1300	0,1653	0,8347
8	1500	0,2138	0,7862
9	1700	0,2658	0,7342
10	1900	0,3202	0,6798
11	2100	0,3759	0,6241
12	2300	0,4319	0,5681
13	2500	0,4872	0,5128
14	2700	0,5411	0,4589
15	2900	0,5929	0,4071
16	3100	0,6418	0,3582
17	3300	0,6876	0,3124
18	3500	0,7298	0,2702
19	3700	0,7683	0,2317
20	3900	0,8030	0,1970
21	4100	0,8340	0,1660
22	4300	0,8612	0,1388
23	4500	0,8850	0,1150

Os valores calculados para a falha e confiabilidade para o tempo são demonstrados em função do tempo e de quantidade de ciclos para o BESS. A Figura 5 mostra o gráfico dos valores de probabilidade de falha (F(t)) e a Figura 6 o gráfico para os valores da função de

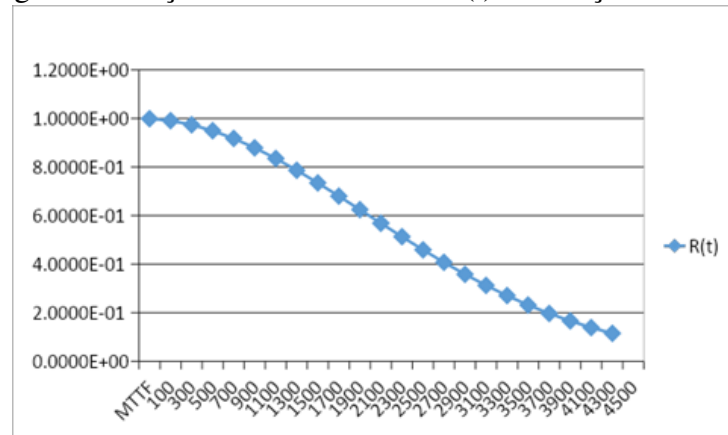
confiabilidade ($R(t)$) para um BESS em função do tempo/ciclos.

Figura 5: Probabilidade de Falha $F(t)$ em função do tempo



Fonte: [GEPEA, 2018]

Figura 6: Função de confiabilidade $R(t)$ em função do tempo



Fonte: [GEPEA, 2018]

A confiabilidade para a bateria é utilizada para determinar a confiabilidade para o BESS e, posteriormente, para toda a microrrede; para determinar esse parâmetro, a arquitetura escolhida para a microrrede deverá ser considerada. A partir da proposta de uma microrrede que opera com um BESS capaz de fornecer serviços baseados em energia elétrica durante os horários de energia mais caras para o consumidor, com o fornecimento de energia pela rede principal, e o uso do Gerador Diesel para situações em que o BESS não possa atender à demanda do consumidor, a confiabilidade deve considerar para a microrrede essas três fontes para fazer o cálculo. Assim, a partir desse ponto, determina-se a confiabilidade para a microrrede.

O Gerador Diesel é uma fonte geradora conectada em paralelo com o BESS e a rede, e, portanto, o modelo a ser determinado é um modelo de confiabilidade em paralelo e determinado pela equação 3.1.3.

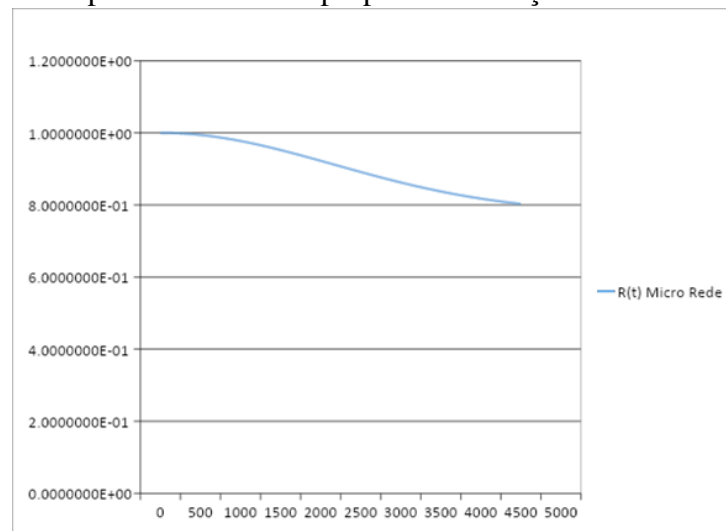
$$RMicrorrede(t) = 1 \wedge (1 - RGMG(t)).(1 \wedge RESS(t)).(1 \wedge Rrede(t))$$

A análise da confiabilidade para situações de problema no fornecimento na rede da distribuidora aponta possível uso do BESS, caso esteja em condições operativas, e operação do Gerador Diesel. Nessas situações, $Rrede(t) = 0$. A partir da arquitetura e demandas, são estimadas 1355 baterias para atender o consumidor, e a taxa de falhas do BESS será determinada como $\lambda_{ESS} = 1355 * \lambda_{Bateria}$, determinada a partir da taxa de falha para cada bateria.

O gráfico da Figura 5 representa no número na escala - dado o parâmetro α como medida de escala ou propagação com relação à distribuição dos dados - do eixo x em que 63,2% das baterias falharam. Fazendo a análise de confiabilidade das baterias para $\alpha=3059$, isso significa que 37% das baterias sobrevivem após um período de 3059 ciclos, ou, para 1 ciclo de uso por dia, após 8,4 anos.

As especificações e informações dos fabricantes para o Gerador Diesel demonstram que a taxa de falhas para esse sistema é determinada por $\lambda_{GMG} = 6,84932e^{-6}$, falhas por hora. Considerando a hipótese de que não haja troca preventiva de baterias para o BESS, a confiabilidade da microrrede é determinada para uma microrrede. A Figura 7 mostra os valores em função dos ciclos.

Figura 7: Falha para a microrrede proposta em função dos ciclos de operação



Fonte: [GEPEA, 2018]

O gráfico mostra o decaimento da confiabilidade do sistema: quando a medida do parâmetro para o Gerador Diesel é constante, esse dado é proporcional à confiabilidade das baterias do BESS. Assim, a confiabilidade é importante para definir os intervalos de manutenção, calculado pelo MTTR. A manutenção preventiva das baterias garantirá que a confiabilidade do BESS e, conseqüentemente, da microrrede, se mantenha em valores maiores que os apresentados na

Figura 7. Apesar de mostrar queda ao longo do tempo, a microrrede com BESS não se torna dependente da confiabilidade do Gerador Diesel, evitando que o valor para a microrrede seja zero, caso o Gerador não funcione quando demandado.

3.2 Considerações sobre o Capítulo

As análises apresentadas nesse Capítulo podem ser consideradas os primeiros passos para viabilizar o BESS no Brasil. Ainda que um BESS não seja um sistema desenvolvido no passado recente, as pesquisas e inovações no desenho e material possibilita que alguns tipos de BESS estejam disponíveis comercialmente e qualificado para uso em grande escala. Dessa forma, o BESS, sob o ponto de vista de maturidade tecnológica, não é uma novidade, mas com entrada em fase de análise e aumento de importância e proporção.

Para viabilizar o BESS em determinado local é necessário a análise da realidade e expectativas do mercado e setor elétrico, ajudando a direcionar pontos vitais para a tecnologia e contribuindo para o planejamento estratégico. Para essa etapa, a análise de infraestrutura, economia, padronização e regras também devem ser feitas. Dessa forma, um mapa focado na viabilidade de determinada tecnologia e a análise da confiabilidade são os pontos de partida para viabilizar o BESS no Brasil.

O *Roadmap* proposto analisa diferentes perspectivas quanto ao setor elétrico e a implantação do BESS para propor iniciativas gerenciáveis no tempo, com foco no Planejamento Estratégico para o setor. Um dos pontos de destaque para esse mapa é a integração entre diversos assuntos relativos à viabilidade do BESS: a quantidade de temas necessários reforça a multidisciplinaridade do sistema. Assim, as atividades mapeadas não ocorrem de forma isolada, e muitas dependem do sucesso ou remanejamento de atividades de outros temas para que possam acontecer.

As atividades relacionadas à Regulação auxiliam na elaboração e condução das demais, apontando quais as regras atuais e, por consequência as barreiras, para que determinada tecnologia possa ser viabilizada no país. Além desses pontos, o macro tema também mapeia atividades para que novas regras sejam criadas, dependendo da necessidade e priorização, e reorganiza as ações em função dessa nova agenda. Um dos processos mais afetados pelas normas e barreiras vigentes, o Modelo de Negócios define quais as metodologias para disponibilização de serviços baseados em BESS, estabelecendo caminhos para que o sistema em questão possa chegar aos consumidores alvo, cuja definição também é um ponto importante para essa etapa.

As atividades propostas para o macro tema Modelo de Negócios não focam apenas na dis-

ponibilização dos serviços e em formas de remunerar, mas em buscar alternativas que possam inovar o modelo, criando alternativas que auxiliem na continuidade do negócio e impactos positivos da tecnologia. Dessa forma, o mapa considera as perspectivas de formação de mão de obra especializada, em diversas áreas de atuação e formação formal, com a criação de plataformas de desenvolvimento e cursos. Um dos resultados esperados para essa frente é a disseminação da tecnologia também para outras áreas, não somente o setor elétrico, ampliando as possibilidades de empregos e locais de implantação.

A tecnologia, macro tema que avalia a maturidade tecnológica e a disponibilidade do sistema, não se limita a estudos relacionados ao BESS, mas que a sua implantação em um consumidor real amplie a quantidade de informações e dados acerca o funcionamento de tal sistema e os impactos que pode causar nas proximidades e demais atores. Essas informações podem colaborar com a comunicação acerca dos benefícios do BESS, tornando a tecnologia acessível e aumentando o interesse de atores. Dessa forma, a atuação dentro desse macro tema não é restrita a busca por desenvolvimento tecnológico, mas também em tornar o BESS acessível, incentivando também a criação de programas de apoio, financiamentos, esquemas tarifários e subsídios.

Sob o viés econômico, o estudo de viabilidade permite avaliar não somente se a implantação do BESS pode ou não ser acessíveis a determinados consumidores, mas também direcionar alternativas de apoio e subsídio para a tecnologia. A análise apresentada aponta que, ainda com o custo de operação e manutenção altos, o Gerador Diesel ainda é a alternativa mais acessível para consumidores que precisem de alternativas para redução de custos.

Os altos custos do BESS são pontos de atenção para a implantação em maior escala no país, mas os altos custos de serviços baseados em energia elétrica para consumidores com perfil semelhante ao analisado também devem ser avaliados como impeditivos à continuidade dos negócios e ao incentivo ao crescimento de fontes alternativas de geração de energia. O acesso à tecnologia depende de redução drástica de custos para que o BESS se torne uma alternativa, incentivando a produção local de tecnologia, fortalecendo cadeia de fornecedores e encorajando a criação de programas de incentivos e esquemas tarifários diferenciados.

Dessa forma, mapear as atividades e fazer estudos de viabilidade mostram que são ações complementares para projetos voltados à viabilidade de tecnologias via o direcionamento de pontos que possam reduzir as vulnerabilidades causadas pelos pontos fracos referentes ao funcionamento e gerenciamento do setor e ampliar possíveis oportunidades. A análise da confiabilidade auxilia na previsão de fatores que possam impactar negativamente a operação baseada nas especificidades de desempenho e análise do ambiente geral. A determinação dos parâme-

tros que possam reduzir a vida útil do BESS e/ou melhorar a sua operação permitem que o consumidor possa determinar práticas de operação mais bem estruturadas e, inclusive, ampliar a viabilidade econômica do sistema.

A seção voltada ao estudo da confiabilidade determinou um modelo para a análise do parâmetro para o sistema, e emprega dados de fornecedores para determinar valores voltados à definição de ciclos de manutenção e segurança para a operação. Essa análise confirma a viabilidade de um sistema como o proposto, dado que a expectativa de operação com atendimento aos interesses do consumidor está dentro de um intervalo previsível. Todos os temas de estudo dessa seção também são avaliados para a análise da regulação, assunto tratado no Capítulo 4.

4 ANÁLISE DA REGULAÇÃO PARA VIABILIZAR BESS

A regulação tem como papel auxiliar os atores, protegendo investimento e facilitando o diálogo e a integração do BESS [ASSOCIATION,]. Para tanto, cabe ao regulador, estabelecer regras, atualizar processos de planejamento e orçamentários, e agilizar padronizações [ASSOCIATION,].

Nos Estados Unidos, o *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC) foca em permitir a venda de serviços ancilares e reduzir empecilhos de mercados. Dois marcos regulatórios referentes ao pagamento para fornecedores de serviços de ajuste da frequência são apresentados pela associação. A *Order 755* [FREQUENCY... ,], publicada em 20 de outubro de 2011, que regulamenta o pagamento da regulação da frequência em mercados (atacado), e a *Order 784* [THIRD-PARTY... ,], que determina abertura de mercado para terceiros vender o ajuste de frequência como serviços, estimulando a competitividade e transparência. A *Order 755* se destaca por remunerar, de acordo com a performance, por serviços de regulação da frequência. Essa performance é medida de acordo com a velocidade e precisão de resposta. Essa lei é apoiada pela instrução 890 do FERC que permitiu a entrada de recursos não relacionados à geração em serviços ancilares baseados no custo e mercado [PREVENTING... ,].

Nova York [AB... ,], Califórnia [ASSEMBLY... ,] e Texas [BILL... ,] são estados que aprovaram leis concernentes ao emprego de tecnologias de armazenamento de energia. O estado de Nova York aprovou projeto que estabelece um grupo para estudo de uso de sistemas de armazenamento de energia; esse grupo estudará capacidade de emprego da tecnologia, bem como taxas serviços e práticas referentes ao emprego desses sistemas. O estado do Texas, em 2017, revisou o conceito de armazenamento de energia, detalha a possibilidade de operação desses equipamentos pelo setor de transmissão ou terceiros e sobre os resultados anunciados de pesquisas relacionadas pelo setor de transmissão quanto ao uso na rede. O estado do Haváí não aprovou a lei para o pagamento de incentivos fiscais como incentivo à sistemas de armazenamento de energia, mas há outras iniciativas para ampliar o uso de sistemas de armazenamento em sua rede. Massachusetts aprovou, em 2017, um *target* [STATE... ,] definido como início

para a legislação definitiva referente à criação e estudo do emprego de sistemas de armazenamento de energia no estado.

Ainda que grandes projetos sejam desenvolvidos, são poucos os países que possuem marcos regulatórios para a utilização de sistemas de armazenamento de energia nas redes elétricas. Países europeus, regulados pela *Energy Commission*, ainda não possuem regulação para o uso desse tipo de tecnologia. Alemanha e Espanha possuem regulações próprias quanto à integração de sistemas de armazenamento nas redes. A Alemanha define na legislação para o uso de energias renováveis (*Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG*) [ENERGIESPEICHER,] como pagar ao proprietário de plantas renováveis o despacho da energia na rede. A lei declara que o gerador será pago pela quantidade despachada para a rede, e exclui o pagamento de sobretaxas. A Espanha, de maneira semelhante, estabelece em leis próprias como pagar pelo despacho da energia armazenada -, mas sem estabelecer marcos regulatórios próprios para a qualidade, conexão com a rede manutenção do serviço provido.

O parlamento europeu, em conjunto com o *Europe Commission*, órgão responsável pela governança da energia para a União Europeia, propôs em 2016 alterações na lei que regula regras para o mercado interno, cooperação de todos os órgãos reguladores, e prontidão para riscos; até a conclusão desse documento, não houve alteração na aprovação dessas leis. Nesse projeto de lei, o papel do operador do sistema de transmissão como proprietário de sistemas de armazenamento de energia e provedor de serviços ancilares, regras de entrada no mercado e direcionamentos para provedores de serviços, gerenciamento de instalações, entre outros.

O Reino Unido publicou no final de 2017 um documento contendo as diretrizes para estruturar a regulação de sistemas de armazenamento de energia. A (*Office of Gas and Electricity Markets* (Ofgem) define o armazenamento como um a conversão da energia elétrica em um outro tipo de energia que possa ser armazenada e, posteriormente, reconvertida; o sistema de armazenamento é aquele que permite o armazenamento e posterior conversão para energia elétrica. O departamento optou por essa opção por simplicidade de definição e agilidade para aprovar a regulação necessária para incentivos à futuros investimentos: a licença para novos geradores somente incluiria essa nova categoria, sem a obrigatoriedade de implementar um novo processo [GAS; MARKETS, 2017]. A publicação desse documento é quase simultânea ao resultado do leilão para garantia de capacidade para os anos de 2017 e 2018, cujo resultado garante que 2,71 gW seriam despachados, garantindo o fornecimento estimado para o período [INFOGRAPHIC... ,].

Para o Brasil, iniciativas referentes ao BESS também estão em andamento. Até a conclusão dessa tese, não há marco regulatório ou Resolução Normativa concernente ao BESS no país,

mas a ANEEL apresentou em junho de 2022 o resultado da avaliação técnica com propostas para o tema [NOTA...]. O documento ressalta a mudança do papel do consumidor no setor, e apresenta alguns pontos a serem regulamentados. Entre os pontos de destaque, os grupos que apresentaram contribuição destacam a necessidade de destacar o sistema de armazenamento das demais fontes e requisitos tecnológicos para assegurar a qualidade e segurança do setor de distribuição.

Parâmetros referentes à qualidade e confiabilidade do fornecimento de serviços preocupam diversos atores do setor e o estudo da regulação, com o foco em mapear as barreiras, e viabiliza a definição de parâmetros técnicos referentes à tarifação de geradores distribuídos, estabelecendo limites técnicos de operação para sistemas. Assim, os objetivos desse capítulo são:

- indicar temas importantes discutidos para a regulação no Brasil e em outros países, com destaque para os Estados Unidos;
- apresentar as diretrizes atuais regulatórias que permitam classificar sistemas de armazenamento de energia no país;
- abordar as diretrizes disponíveis na regulação atual que permitam o acesso de equipamentos de armazenamento de energia à interessados;
- analisar as limitações existentes na regulação atual em relação aos sistemas de armazenamento de energia.

4.1 Regulação Estadunidense para Sistemas de Armazenamento de Energia

Os Estados Unidos iniciaram a regulação para sistemas de armazenamento de energia em 2011. Nesse ano, a FERC aprovou a *Order 755* [FREQUENCY...], que regulamenta o pagamento de serviços ancilares em mercados do tipo atacado. Em 2014, a mesma comissão aprovou a *Order 784* [THIRD-PARTY...], cujo conteúdo aponta diretrizes para a venda de serviços, por parte de terceiros, para provedores públicos de transmissão.

Em fevereiro de 2018, a FERC aprovou o texto da *Order 841* [ELECTRIC...]. A comissão, alegando que o formato atual do mercado reduzia a competitividade e impõe taxas pouco razoáveis aos provedores de serviços utilizando sistemas de armazenamento de energia, aliou-se aos operadores e associações interessadas na utilização desses recursos para determinar uma regulação que removesse barreiras de mercado para a participação desse tipo de estrutura.

Para o desenvolvimento desse texto, a comissão convidou interessados na implantação desses sistemas, como a ESA, mas incluiu os operadores do tipo *Regional Transmission Organization* (RTO) e do tipo *Independent System Operator* (ISO), um dos interessados nessa *Order*. O primeiro é todo aquele operador que possui, opera ou controla serviços de transmissão, que pode ser inter ou intra estadual [PREVENTING...]. Esse operador é responsável por promover um serviço seguro e confiável aos usuários do sistema, com garantia de taxas menores [PREVENTING...]. O segundo operador possui o papel de operar, controlar e gerenciar o sistema elétrico, garantindo o acesso à rede, e foi criado a partir da *Order* 888, que estabelece a desregulação do setor elétrico. O ISO também é responsável pela negociação da energia (atacado) em caráter regional.

Os operadores do tipo RTO são independentes e suas atividades são reguladas por órgãos federais [PREVENTING...], já o ISO é independente nas suas operações [PREVENTING...]. Atualmente, há sete operadores do tipo ISO nos Estados Unidos: California ISO (CAISO), New York ISO (NYISO), (*Electric Reliability Council of Texas* (ERCOT), *Midcontinent ISO*, *ISO New England*(ISO-NE, *Alberta Electric System Operator*(IESO), *Independent Electric System Operator* (IESO). A *Order* 841 determina que, a partir da sua aprovação, os operadores têm liberdade para revisar suas tarifas, de forma a reconhecer as diferenças dos sistemas de armazenamento de energia, possibilitando a participação dessas estruturas nos mercados administrados por esses agentes. A comissão alega que as regras de mercado existentes limitam os serviços providos por essas tecnologias, restringindo sua participação no mercado [ELECTRIC...]. Todos os apontamentos citados nessa seção são retirados da regulação referenciada; caso contrário, a fonte será citada.

A comissão estabelece um modelo de participação que permita aos proprietários dessas estruturas vender capacidade, energia e serviços ancilares, assegurando a atuação como vendedor de serviços e comprador de acordo com as regras de mercado. A comissão também determina que o tamanho mínimo para a participação nos mercados deve ser de 100 kW; o esperado é a conexão de recursos que tenham tamanho entre 100 kW e 1 MW. Após a publicação, os operadores têm 270 dias para disponibilizar os valores das tarifas e 365 dias para as implementar em seus mercados (dezembro de 2019). Destaca-se que esse tipo de serviço existe atualmente para esses mercados, a regulação busca apenas ampliar vantagens tarifárias e incentivar a entrada de novos proprietários no mercado.

A motivação para o desenvolvimento dessa regulação é, de acordo com a FERC, garantir que as tarifas desses operadores não inibam ou limitem a participação de tecnologias de geração no mercado controlado por ISOs e RTOs. A crítica desses operadores se refere ao não reconhecimento de capacidades técnicas e operacionais únicas dos sistemas de armazenamento

de energia ao aplicar regras já existentes aos demais recursos de geração. Essa crítica foi bem recebida por esses operadores, que apoiaram a decisão da comissão de derrubar possíveis barreiras que limitem a implantação de sistemas de armazenamento de energia.

A ESA corrobora com os argumentos dos operadores ao citar que a implantação desses recursos no mercado administrado por esses operadores pode reduzir custos de *avoided capacity*, custo relacionado à evitar a produção de mais uma unidade de potência, também relacionados à preço de mercado da energia - reduzir preço da energia nas horas de ponta e o ciclo natural de geração de energia, facilitar o gerenciamento da rampa, reduzir custos para ligar e desligar geradores e absorver a geração de energia excedente. A associação também acrescenta como benefícios a redução de custos, emissão de gases do efeito estufa, reduzir a dependência da dispendiosa infraestrutura de transmissão, e ampliar a resiliência da rede em casos de emergências climáticas.

Nesse contexto, os operadores concordaram que o aumento da confiabilidade e resiliência, ampliar a segurança e diversidade do mercado de energia e dispor de capacidade de energia de resposta rápida são também benefícios agregados aos sistemas de armazenamento. A promoção da competitividade e da eficiência dos mercados RTOs e ISOs também são adicionados como vantagens.

O texto define recurso de armazenamento de energia (*electric storage resource*) como aquele capaz de receber energia elétrica da rede e o armazenar para posterior injeção na rede; a atuação do recurso independe da posição dele na rede elétrica. A comissão argumenta que a definição é independente do tipo de tecnologia escolhida, e não qualifica o tipo de recurso definidos no documento como *slower*, *faster* ou *aggregated* (lenta, rápida ou agregada).

A principal crítica à essa definição é referente à abordagem escolhida para definir esses recursos, tida como pouco abrangente ou indefinida. Os operadores solicitaram que essa definição fosse revista para que a aplicação dos recursos na rede pudesse ser ampliada, crítica também embasada pela inclusão de somente tecnologias localizadas *behind-the-meter*, uma vez que a definição atual somente prevê a participação de sistemas de armazenamento conectados diretamente na transmissão. Outra crítica é referente à recursos que somente prestarão serviços auxiliares e não farão despacho de energia na rede.

Ainda referente à definição, ela não inclui todas as possibilidades de sistemas de armazenamento de energia disponíveis, como, por exemplo, a cinética, recursos que estão na mesma estrutura que outras fontes de energia, e aqueles que, necessariamente, não farão injeção de energia na rede. Também foram citados que a definição de recursos de armazenamento conectados à rede de distribuição impede a venda e compra de energia para aqueles fora do mercado

RTO e ISO.

A comissão não alterou a definição no texto final, alegando que o conceito provê liberdade para que cada operador decida qual é a melhor maneira de tarifar os proprietários. Essa alegada liberdade refere-se à possibilidade de que cada operador possa quantificar e qualificar sem barreiras os recursos e, então, empregar critérios próprios para a participação no mercado. Portanto, a comissão não limita condições físicas para o despacho e otimização da energia, permitindo que o mercado gerenciado por cada operador estipule as regras próprias de tarifação; essas regras, no entanto, não podem alterar os parâmetros de mercado em vigor.

A FERC argumenta que, portanto, cada operador determina quais parâmetros técnicos serão demandados para a revisão das tarifas, como, por exemplo, aqueles referentes ao tempo e capacidade dos recursos de armazenamento. Como, atualmente, já ocorre para as demais tecnologias geradoras de energia, parâmetros técnicos, como métricas e critérios de performance, são exigidos, a comissão não os definiu para os recursos citados. A comissão, no entanto, determina que o emprego de recursos de armazenamento não deve afetar a implantação e escalabilidade das tecnologias geradoras de energia já existentes. As tarifas, dessa maneira, irão elucidar como os critérios de tempo de operação e a disponibilidade da energia a ser oferecida no mercado, incluindo também as possíveis penalidades em caso de descumprimento de serviços.

Esse fato é esclarecido pela restrição de alguns equipamentos somente despachar energia em caso de disponibilidade de excedente de energia e determinação da carga para serviços de varejo. Para o caso da participação no mercado de atacado, os proprietários desses recursos deverão garantir a disponibilidade da capacidade mínima. A capacidade a ser considerada poderá ser calculada a partir da quantidade de energia que os recursos poderão injetar na rede, sem descontinuidade, no mínimo tempo contratado e determinado pelos operadores.

Os critérios temporais mínimos de execução dos recursos deverão ser determinados por operadores de mercado locais ou RTO/ISO. Esse fato não exclui a participação do mercado de recursos de curta-duração, mas é criticado por não esclarecer como será gerenciada e executada, caso haja interrupção na entrada do recurso. Nesse caso, os operadores alegam que as mesmas regras de interrupção aplicadas aos recursos de geração já em operação deverão ser prolongadas para aqueles de armazenamento.

O EPRI (*Electric Power Research Institute*) questiona que, atualmente, são exigidas quatro horas de capacidade máxima de recursos, sob a capacidade máxima, por RTOs e ISOs; esse tipo de funcionamento poderá não ser alcançado por recursos de armazenamento, com o agravante da possibilidade desses equipamentos serem demandados em horas de emergência ou pico. Portanto, esse critério deveria ser empregado, segundo o instituto, como critério mínimo para

a participação nos mercados, uma vez que esse período estaria vinculado às características de fabricação dos equipamentos de armazenamento.

Ainda em relação ao tempo, esse parâmetro diferencia os recursos de armazenamento de energia de geradores comuns, o que proporciona o início da operação de forma mais rápida e com maior rampa. Os recursos de armazenamento também possuem a particularidade de funcionar tanto como comprador quanto vendedor de energia, dependendo do interesse. Há a preocupação de que esses recursos se tornem, portanto, importantes definidores de preço no mercado, fator ressaltado pelos operadores no documento, uma vez que esse tipo de estrutura pode participar de mercados de varejo e de atacado.

A determinação horária para o início da operação desses recursos os caracteriza como recursos de carga com programação horária própria. O início da prestação de serviços, independentemente do serviço prestado, e a situação de carga e despacho dos recursos de armazenamento serão nomeados como operação; esse conceito é definido pelo autor do texto e não consta no documento da *Order* 841. Essa característica é coerente com a *Order* 784 [THIRD-PARTY...], que determina que a operação de recursos de armazenamento para a venda de serviços ancilares deve ser feita baseada na pré divulgação horária para os provedores públicos de transmissão. Os serviços previstos são do tipo *energy imbalance* e *generator imbalance*. Essa resolução prevê que os fornecedores de serviços deverão divulgar o planejamento horário das atividades com intervalos estipulados entre 15 minutos ou 30 minutos antes da operação, o suficiente para que o mercado possa se preparar para a operação desses recursos.

O controle da operação para a *Order* 784 é feita por provedores públicos, e na *Order* 841 há o mesmo pedido para que os estados e empresas do setor controlem o aspecto de venda e compra de energia para esses consumidores; no caso, é requisitado que empresas do tipo distribuidora sejam as responsáveis por esse controle. A incerteza nesse ponto é em relação à equipamentos de medição e a possível diferenciação, durante a operação tanto de carga quanto de despacho, daqueles passíveis de operar no mercado de atacado ou varejo. Também há a incerteza quanto à remuneração das empresas distribuidoras, uma vez que sua infraestrutura será utilizada; não houve consenso nesse ponto, cada operador definirá esse ponto. Para esse caso, as empresas apontam que a tecnologia de medição, especialmente para casos *behind-the-meter* são inacessíveis. As opções sugeridas são referentes ao local de conexão dos recursos na rede, isto é, se ele estiver conectado à rede de transmissão, será classificado para atuar no mercado de atacado e para aqueles conectados à rede de distribuição poderão atuar no mercado de varejo. Outra opção proposta é o *self-schedule* (autoprogramação) do recurso.

Dessa maneira, a implantação da medição dependerá de práticas contáveis de cada operador

disposto a conectar recursos de armazenamento na sua rede. As complexidades de implementação dos requisitos de mercado exigidos para recursos de armazenamento (incluindo a compra e a venda de energia no mercado de atacado) serão de responsabilidade dos operadores. O controle da medição e operação das estruturas é então discutido em razão dos parâmetros de licitação mínimos que deverão ser exigidos dos proprietários dos recursos.

Para que os operadores possam determinar o início da operação desses recursos, alguns parâmetros técnicos são estabelecidos no texto da regulação. A comissão determina que esses parâmetros deverão ser fornecidos pelos proprietários dos recursos, que serão responsáveis pela veracidade dos dados providos. A Tabela 3 contém todos os parâmetros que constam na regulação referentes à participação dos recursos de armazenamento no mercado de energia, tradução e a definição de cada parâmetro.

Tabela 3: Parâmetros técnicos mencionados na regulação e respectivas tradução e definição

Parâmetros	Tradução	Definição
State of charge	Estado da carga	Energia disponível no momento do despacho.
Upper charge limit	Limite máximo de carga	Limite máximo de valor de carga máxima
Lower charge limit	Limite mínimo de carga	Limite mínimo de valor de carga máxima
Maximum energy charge rate	Máxima taxa de carga de energia	Velocidade máxima em que o recurso muda seu estado de suspensão ou velocidade de rampa para receber energia.
Maximum energy discharge rate	Máxima taxa de descarga de energia	Velocidade máxima em que o recurso muda seu estado de suspensão ou velocidade de rampa para despachar energia.
Charge ramp rate	Rampa de carga	Velocidade em que o recurso recebe energia.
Discharge ramp rate	Rampa de descarga	Velocidade em que o recurso pode injetar energia na rede.
Minimum charge time	Mínimo tempo de carga	Tempo mínimo de carga (não necessariamente atingir carga máxima).
Maximum charge time	Máximo tempo de carga	Tempo máximo de carga (não necessariamente atingir carga máxima)
Minimum run time	Tempo mínimo de operação	Tempo mínimo de operação do recurso.
Maximum run time	Tempo máximo de operação	Tempo máximo de operação do recurso.

Esses parâmetros são concernentes à limites operacionais dos recursos contratados, e são emitidos, durante a implantação da infraestrutura, por seus construtores e dependem dos inves-

timentos e necessidades dos proprietários. A FERC alega que esses dados são suficientes para que os operadores definam o início da operação dos recursos. Nos comentários do texto, não há consenso sobre a qualidade da informação fornecida.

Alguns operadores contestam que esses dados são características físicas dos equipamentos e podem não ser atestados durante a conexão dos sistemas na rede, visto que são limites operacionais. Também há a crítica sobre a não flexibilidade desses recursos, já que eles não são aplicáveis à todas as tecnologias disponíveis para o armazenamento de energia. Quanto aos comentários, a FERC determina que cada operador pode permitir que os recursos sejam autogerenciáveis dentro dos limites de carga e descarga dos equipamentos. Os operadores que atualmente compram serviços de regulação de frequência aplicam o parâmetro de estado de carga para os recursos, e alegaram ser suficiente para o controle de recursos, independentemente da duração operacional deles. Os operadores também aplicam o autogerenciamento dos recursos.

A *Order* 841 foi aprovada no início de 2018, e seus efeitos no mercado dos operadores e respectivas infraestruturas, incluindo as regras definidas por cada operador, ainda não são possíveis de serem qualificadas ou quantificadas. Como complementação dessa *Order*, a FERC prevê um estudo ambiental ou um estudo de impactos ambientais dos recursos de armazenamento para cada ação prevista em sua operação. Após a aprovação do texto da *Order* 841, a FERC estipulou um prazo, após a publicação oficial da *Order* de até 12 meses para que os operadores apresentassem as regras que permitiriam a integração dessas estruturas em seus mercados. A FERC asseverou que os operadores têm a alternativa de determinar os melhores procedimentos para os proprietários de sistemas de armazenamento, dentro de suas áreas de concessão, operar, e o limite para que as medidas sejam divulgadas é três de dezembro de 2019.

Cinco operadores divulgaram seus procedimentos para a inclusão de sistemas de armazenamento: CAISO, ISO-New England, MISO, NYISO e SPP. O operador da Califórnia manifestou que não irá alterar as suas políticas de mercado após a divulgação da *Order* 841, enquanto documentos dos demais operadores estão sendo divulgado, ainda que em caráter provisório. Os pontos fundamentais levantados por ISO-New England, como operadora, serão analisados nessa seção.

O operador ISO-New England divulgou, ainda em condição provisória, suas regras de mercado em março de 2018. O texto contém definições para termos relevantes para a tarifação, comercialização, segurança e qualidade do serviço, e responsabilidades do ISO em relação aos seus clientes. No mesmo documento, termos relevantes para classificar e determinar as possíveis ações dos clientes também são apresentados, mas não limita o tamanho da estrutura, ou

seja, qual a capacidade mínima para assegurar a participação no mercado, pois essa informação já é definida no texto da *Order* 841. A limitação para a participação ou não no mercado é a possibilidade de fornecer o serviço mínimo ou a variação do custo.

O mesmo texto não é limitado aos sistemas de armazenamento de energia, mas também incluem as fontes de geração de energia, classificando-as em renováveis e não-renováveis, e o seu potencial de participação no mercado. Para a negociação da energia gerada por essas fontes e por sistemas de armazenamento, o operador estipulou contratos bilaterais (*Bilateral Contracts*) para três situações: negociação da carga (*Internal Bilateral for Load*), energia (*Internal Bilateral for Market for Energy*) e transações externas (*External Transactions*) e negociações entre áreas diferentes de controle. Esses contratos são negociados por hora (*Block Hours*), e são válidos tanto para a compra quanto para a venda dos três tipos de contratos possíveis. As entidades candidatas a participantes de mercado ou serviços são chamadas de requerentes (*Applicants*).

Os contratos são determinados por área de controle, um sistema elétrico de potência ou combinação de sistemas na qual é aplicada um controle de geração automática para verificar a saída dos geradores para o sistema elétrico, capacidade e compra de energia de entidades fora do sistema com a carga do mesmo; manter as informações de programação de despacho/injeção (*schedule*) com as demais áreas de controle; manter a frequência do sistema elétrico dentro de limites acordados; e fornecer capacidade de geração suficiente para manter reservas operantes. Para cada área de controle há um custo marginal mínimo que determinará em quais áreas o operador de mercado poderá negociar seus serviços.

A localização do ativo de geração ou *Dispatchable Asset Related Demand* (DARD) influenciam o preço e custos da estrutura no momento de início da operação ou desconexão da rede. O local onde a estrutura é conectada é conhecida como ponto; o ISO então define a localização como Nó, Nó externo (aqueles externos à Área de controle), Zona de Agregação ou Hub - conjunto de nós específicos cujo preço marginal será calculado para o mercado em tempo real ou Day-ahead e utilizados como referência para ajustes de preços no mercado *Day-ahead*. O custo marginal local (*Local Marginal Price*) também determina os preços para mercado em tempo real de despacho no dia de operação.

O operador classifica os recursos em cinco tipo de ativos: gerador, *demand-response*, carga, recursos para a regulação e *Tie-line* (interligação). Regulação é definida como a capacidade de um recurso detentor de tecnologias de telecomunicações, controle e capacidade de resposta reagir a um controle automático (*Automatic Generation Control*). Os ativos passíveis de mudança de estado em pronta resposta às instruções de despacho são nomeados DARD, assim como recursos geradores com possibilidade de despacho são chamados *Dispatchable Generator Asset*

(ativos de geração despacháveis, em tradução livre).

Sistemas de armazenamento de energia (*Electric Storage*) são classificados como recursos de geração despacháveis ou DARD, dependendo do momento em que injeta ou despacha energia na rede. Dada a característica de mudança de estado, esses sistemas são nomeados *Binary Storage Facility* ou *Continuous Storage Facility*. O primeiro tipo é aquele capaz de transitar entre valores de máxima saída e máximo consumo (e vice-versa) em janelas de dez minutos ou menos; já o tipo contínuo somente é negociado em mercados de energia *Day-ahead* ou em tempo real, e não são permitidas mudanças de estados nesses períodos. O tipo contínuo também deve operar em estado online, exceto quando é declarado como indisponível pelo agente participante de mercado.

Em conformidade com a *Order 841*, as estruturas de armazenamento devem injetar ou consumir no mínimo 0,1 MW, e não podem atuar como ativos de resposta à demanda. Também como limite, os geradores não podem ultrapassar 5 MW ou o pico de demanda mínimo do consumidor final localizado no ponto final em que a estrutura está conectada. O operador fracionou as possibilidades de atuação de mercado em venda da capacidade, energia e resposta à demanda. A resposta a demanda é definida para períodos sazonais, *on-peak* ou ativa, e seus recursos são existentes ou novos.

Para esses casos, os recursos devem estar localizados na mesma área de despacho e fornece ao mercado *Capacity Supply Obligation*. Nesses casos, os participantes devem assegurar que capacidade ou parte de um recurso, determinados em contratos bilaterais ou leilões serão fornecidos, de forma a assegurar os requisitos de capacidade pré-determinados. A capacidade é determinada por áreas de controle, e devem atingir níveis que garantam requisitos de segurança estabelecidos pelo operador.

Somente aqueles ativos classificados como geradores ou DARD podem negociar capacidade e energia, como é o caso dos sistemas de armazenamento. As características físicas submetidas para contratação e avaliação de riscos por esses recursos determinam quais os limites mínimos que eles poderão disponibilizar. O operador também determinou que a programação para despacho ou injeção de energia será *self-scheduled*, ou seja, o participante compromete o ativo gerador ou DARD para promover o serviço por uma hora.

Para geradores, o *self-schedule* é a ação de fornecer a energia no período mínimo, enquanto para o DARD é a ação de consumir energia; para ambos os casos, há limites mínimos acordados com o operador, mas não há penalidades caso o DARD não consuma a energia negociada. A máxima quantidade disponível para despacho (em oferta) é delimitada por valores mínimos econômicos e da estrutura. O primeiro é chamado de *Minimum Consumption Limit*, é o menor

nível de consumo disponível para despacho econômico, enquanto a estrutura determina o valor de máximo consumo (*Maximum Consumption Limit*) disponível para oferta de um DARD.

Em adição, para um DARD, o período mínimo que o gerador ou armazenamento deve permanecer fora da rede (*Minimum Down Time*) e tempo mínimo que o gerador deve permanecer disponível depois que a estrutura foi programada para atingir seu limite econômico mínimo ou horas que um DARD está programado para consumir um limite mínimo de energia antes de ser desligado (*Minimum Run Time*). Os limites de consumo e de tempo de disponibilidade não influenciam nas decisões de programação de despacho/injeção de energia ou venda de capacidade dos equipamentos, e são definidos como critérios para a rápida resposta do gerador a pedidos do operador para despacho rápido. Nesses casos, o *Minimum Run Time* e *Minimum Down Time* não podem exceder uma hora.

Os geradores somente podem negociar o máximo gerado (*Maximum generation*), que é o valor máximo medido na saída para um ativo de geração. Para que um recurso possa disponibilizar energia para uma determinada região, a oferta de fornecimento (*Supply offer*) deve ser submetida, incluindo preço e informação referente à quantidade a ser fornecida, parâmetros técnicos do recurso, tempo, entre outros aspectos não discriminados no documento oficial. A oferta é feita por bloco de horas (*Supply Offer Block-hours*), que são indicadas pelo líder de mercado para cada oferta de fornecimento.

Para atuar nos serviços por *self-scheduling*, os participantes de mercado devem submeter seus pedidos em período pré-determinado pelo operador, e de acordo com o tipo de mercado pretendido: *real-time* ou *day-ahead*. O participante fornece os dados de resposta, em MW/minuto, em que é capaz de mudar sua saída ou consumo enquanto fornecem o serviço de regulação para o operador.

Para casos de ativos que devem responder ao controle de geração automática, esses são conhecidos como provedores de serviços de regulação e, em caso de descumprimento das regras e não despacho, são passíveis de penalizações previstas pelo operador e descritas no documento. A diferenciação de situações passíveis de penalizações ou não é dada pelos serviços vendidos ao operador, ou seja, aqueles que devem fornecer serviços essenciais à manutenção da qualidade da transmissão.

Serviços ancilares são aqueles necessários para assegurar a transmissão da capacidade e recursos para as cargas, garantindo a confiabilidade da operação (*good utility practice*). São classificados como serviços ancilares aqueles de regulação, *Blackstart* e frequência. Esses serviços dependem de regras de despacho determinadas pelo operador, e chamadas de instruções de despacho. Em caso de descumprimento dessas regras, o participante de mercado é punido

financeiramente, como determinado em seções de regras de mercado informadas no documento.

O operador atua limitando o despacho em casos excepcionais de variação no custo marginal local diferente do acordado para mercados em tempo real e *Day-ahead*; esses casos são chamados de *Congestion*. A programação de despacho e injeção de energia são auto programadas, como já explicadas anteriormente, mas o operador fornece diretivas para os participantes quanto a iniciar ou desligar operação, aumentar ou reduzir geração, cortar ou restaurar cargas para recursos de resposta à demanda, ou mudar o consumo de um ativo do tipo DARD; esse último é variável conforme a oferta de taxa de demanda ou oferta de redução de demanda. Essas informações são enviadas ao participante de maneira verbal ou eletrônica.

A implantação de equipamento de comunicação e medição na saída da conexão são de responsabilidade do participante de mercado. Nesse caso, penalidades são previstas caso as informações acordadas entre o operador e o participante não sejam apropriadas. Todas as informações e dados, inclusive previsão de impactos à rede, são combinados entre as partes, por envio de documento também previstos nesse texto, durante o período de estudo de conexão da estrutura na rede do operador.

4.2 Estudos da Regulação Brasileira

No Brasil, não existe uma regulação e/ou legislação focadas na inserção de BESS, mas há iniciativas, especialmente por parte da ANEEL e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em padronizar e normalizar o uso do sistema. Essas normas ainda estão sendo desenvolvidas pelas equipes responsáveis e não são de conhecimento público. A Lei 14.300 de 2022 [LEI. . . ,] cita o uso de sistemas de armazenamento, mas não tem como objetivo descrever padronizações e regras específicas para esses sistemas. Até o momento de conclusão desse texto, há iniciativas visando a determinação de normas técnicas para BESS e para a conexão de geradores distribuídos na rede, mas ainda sem divulgação dos resultados para o público geral. Portanto, as definições e termos citados são obtidos das Resoluções Normativas e Marco Regulatório existentes no país até julho de 2022.

Parâmetros técnicos referentes à operação de uma microrrede e condições para a atuação como micro ou minigerador distribuídos são analisados para que pontos vitais para uma regulação específica para BESS possam ser sugeridos; essa análise é feita sob a perspectiva da regulação e legislação vigentes. Um estudo abrangente do funcionamento do setor no momento presente da inserção da tecnologia estimula à compressão do cenário atual, desempenho atual da infraestrutura instalada, e, também, entender as demandas do setor, desejos dos interessados

na tecnologia, e interesses gerais na sua inserção.

Alguns dos fatores que serão impactados por essa tecnologia já existem hoje no setor elétrico: a continuidade de serviços e melhorias dependem de parâmetros técnicos que a escalabilidade do BESS irá influenciar. Fatores como a expansão das fontes renováveis, a inserção de novos consumidores/geradores na rede, a manutenção da estrutura de rede, continuidade de negócios, entre outros modificam os parâmetros técnicos. Garantir que esses parâmetros se mantenham em patamares viáveis à segurança e provisão de serviços é uma das funções da regulação.

A descrição dos parâmetros técnicos para as redes de distribuição no Brasil é feita pelos módulos do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Atualmente a ANEEL disponibiliza 11 módulos com informações desde a conexão de acessantes na rede, qualidade de energia e fatura de energia elétrica. Esses módulos apontam diretrizes técnicas necessárias para a manutenção do setor elétrico no Brasil, portanto, determinam a viabilidade técnica de um empreendimento para o setor sob um viés regulatório.

Sob esse viés das diretrizes técnicas reguladas foi estudada, portanto, se há possibilidade da inserção de BESS. Não há diretrizes técnicas na regulação atual para esse tipo de sistemas, então os módulos foram estudados buscando quais parâmetros existentes viabilizariam essa inserção. Ainda que alguns desses parâmetros não caibam no contexto do BESS, eles foram apontados no texto como pontos para futuras discussões para o setor.

Para essa etapa da pesquisa, foram considerados os módulos dois, três, quatro, cinco e seis. Os módulos voltados diretamente à parâmetros técnicos, como a qualidade de energia, ou fatura não foram tratados diretamente nesse texto. Aplicando o vocabulário empregados nos módulos, o termo acessante se refere ao BESS e acessada para a empresa distribuidora e sua infraestrutura.

Ao determinar quais as diretrizes técnicas para o acesso à rede de distribuição, o módulo três [ELÉTRICA, b] auxilia na compreensão de que as possibilidades para a conexão de BESS como acessante. Nesses casos, considerou-se tanto o acesso como gerador ou consumidor, e foram analisadas quais as possibilidades que viabilizariam o acesso dessas estruturas, incluindo a possibilidade de intervenção da distribuidora na instalação do acessante, em casos emergenciais ou de exceção.

O módulo dois [ELÉTRICA, a] indica as diretrizes para o planejamento do sistema de distribuição. O estudo desse módulo visou verificar quais diretrizes permitiriam o aproveitamento da capacidade durante estudos de médio prazo para o sistema de distribuição, uma vez que se deve considerar o carregamento da bateria e seu despacho como fatores que alteram diretrizes

de planejamento, especialmente a previsão da demanda. Ao considerar o uso de BESS pertencentes à terceiros na expansão do sistema de distribuição, a metodologia de comunicação entre esses dois agentes é obrigatória.

Para compreender as possibilidades de comunicação entre acessante e acessada, os módulos quatro [ELÉTRICA, c] e seis [ELÉTRICA, e] foram analisados. Para ambos os módulos, o estudo focou em verificar qual o método de troca de informações existente hoje em relação à uma comunicação entre o proprietário de BESS e empresa distribuidora, especialmente em situações de risco para a infraestrutura ou para que o despacho de energia possa ser habilitado. Para o primeiro caso, que exige uma atuação imediata de ambos acessante e acessada, a comunicação deve ser rápida e simples.

Para o segundo caso, a comunicação pode ser adaptada daquela existente entre geradores distribuídos e a empresa. Também foi apurada as possibilidades de conexão, ou seja, quanto aos sistemas de medição e suas diretrizes técnicas atuais. O módulo cinco [ELÉTRICA, d], como aquele que descreve os sistemas de medição, foi estudado. O foco foi determinar como os métodos operacionais de medição da energia, para fins financeiros, de ambos funciona e quais as possibilidades para esses sistemas.

Uma das particularidades dos sistemas de armazenamento de energia é referente aos seus dois estados possíveis de operação: para despacho ou consumidora de energia. Enquanto infraestrutura de possível despacho de energia para a rede, as definições de central geradora e/ou mini e microgerador distribuídos podem esclarecer o papel desses sistemas na rede.

A outorga do marco regulatório da micro e minigeração distribuída altera algumas definições definidas anteriormente pela Resolução Normativa 482. A lei 14.300 [LEI. . . ,], Marco Legal da Geração Distribuída, outorgada em janeiro de 2022, altera a Resolução Normativa 482/2012 sofreu alterações depois da outorga da referida lei que estabelece o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).

Consumidores, pessoas físicas ou jurídicas, com micro ou minigeração distribuída, com geração local ou remota, poderão aderir ao SCEE, implicando em maior formalidade do processo em comparação às Resoluções Normativas anteriormente definidas pela ANEEL. Para esse texto, a definição de um microgerador não é alterada – menor ou igual a 75 kW -, mas a um minigerador muda de 5 MW para 3MW para fontes não despacháveis - solar fotovoltaica sem armazenamento - e 5 MW para fontes despacháveis - 3 MW de potência instalada e inclui BESS com capacidade de modulação de geração de ao menos 20% da capacidade mensal da central geradora despacháveis [LEI. . . ,].

O autoconsumo local é uma modalidade para micro ou minigeração distribuída elétrica-

mente junto à carga, participante do SCEE, no qual o excedente de energia elétrica gerado por unidade consumidora de titularidade de um consumidor-gerador, pessoa física ou jurídica, é compensado ou creditado pela mesma unidade consumidora. O crédito de energia elétrica corresponde ao excedente de energia elétrica não compensado por unidade consumidora participante do SCEE no ciclo de faturamento em que foi gerado, que será registrado e alocado para uso em ciclos de faturamento subsequentes, ou vendido para a concessionária ou permissionária em que está conectada a central consumidora-geradora [LEI. . . ,].

É possível verificar que as mudanças vigentes após a outorga do marco regulatório não afetam de forma acentuada consumidores. Para estes geradores, o acesso à rede deve ser feito à distribuidora titular da concessão na área em que se localizam as suas instalações, em prazo e normas estabelecidos em respectivos editais de licitação; o acesso à rede é assegurado no novo marco regulatório, de acordo com as regras vigentes definidas pela ANEEL, que serão dispostas a seguir.

A comercialização de energia fora de ambiente de leilão depende de outorga específica. Para casos de autoprodutores que não injetarão energia no sistema elétrico, os procedimentos a serem utilizados serão idênticos para as unidades consumidoras. A empresa distribuidora de energia pode acessar instalações de centrais geradoras em casos específicos. Nesses casos, as instalações são chamadas de interesse específico, ou seja, acesso à subestação pertencente à central geradora autorizada que conecta essa usina aos sistemas de distribuição [RESOLUÇÃO. . . , b]. O acesso pode ser realizado para atendimentos à unidade consumidora ou em casos de expansão do sistema da distribuidora para atendimento a seu mercado próprio, desde que esse critério respeite o mínimo custo global de atendimento.

Ainda que esse caso de possível intervenção seja específico, essa possibilidade deve ser atentada para casos em que o atendimento da área de concessão da distribuidora necessite de priorização ou para estudos de expansão da infraestrutura da mesma empresa. Em ambas as situações, são previstos ressarcimentos ao proprietário dessa instalação e a obrigatoriedade da incorporação à um novo ponto de conexão, sendo a distribuidora responsável pela transferência dos equipamentos de conexão e do sistema de medição de faturamento. O ressarcimento deverá ser proporcional à participação de cada central geradora e a empresa distribuidora deverá comunicar tal central da necessidade de incorporação.

Em casos mais gerais, para centrais geradoras, o ponto de conexão deverá se situar na interseção das instalações de conexão de interesse restrito – propriedade do acessante. O ponto de conexão é tido como o limite de responsabilidade entre acessada e acessante. Centrais geradoras de energia que são conectadas ao sistema de distribuição de baixa tensão devem, obrigatória-

mente, preservar a confiabilidade e a segurança operativa do sistema elétrico: o acessante deve garantir que não sejam violados os valores de referência para distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração.

Para casos de centrais geradoras, o módulo três determina quais os níveis de tensão para a conexão. A Figura 8 mostra os níveis de tensão de unidades geradoras para baixa, média e alta tensão.

Figura 8: Níveis de tensão para centrais geradoras

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão
10 a 75 kW	Baixa Tensão
76 a 150 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
151 a 500 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
501 kW a 10 MW	Média Tensão / Alta Tensão
11 a 30 MW	Média Tensão / Alta Tensão
> 30 MW	Alta Tensão

Fonte: [ELÉTRICA, b]

No caso de micro e minigeradores distribuídos, o ponto de conexão é o mesmo ponto da unidade consumidora. Esses geradores podem operar de maneira ilhada, desde que estejam fisicamente desconectadas da rede de distribuição. A distribuidora pode desconectar microgeradores caso os padrões de qualidade estipulados no parecer de acesso representar perigo à vida humana ou às instalações físicas da distribuidora. Esse tipo de interrupção não requer aviso prévio microgerador.

A ANEEL define como unidade consumidora o conjunto de instalações, equipamentos, condutores e acessórios, incluída a subestação, caracterizado pelo recebimento de energia em um ponto de entrega e com medição individualizada. Essa unidade pode corresponder à consumidores únicos e na mesma propriedade ou para consumidores em propriedades contíguas [RESOLUÇÃO. . . , a]. Para unidades consumidoras e distribuídas, o Montante de Uso do Sistema de Distribuição (MUSD) deve ser determinado pelos maiores valores entre os contratados e os medidos no ponto de conexão, em cada período tarifário.

Nesses casos, os MUSD contratados pelas distribuidoras devem ser informados por ponto de conexão, e devem corresponder aos valores máximos de potência demandados, incluindo a carga dos consumidores livres, especiais autoprodutores e outras distribuidoras conectadas. Para o caso de centrais geradoras, o MUSD contratado deve ser determinado pelo valor declarado de

máxima potência injetável no sistema, com valor igual ao correspondente mínimo da potência instalada extraindo o valor da mínima carga própria. Adicionalmente, o MUSD para central geradora pode considerar a carga a ela diretamente conectada.

O dado do MUSD é especialmente necessário para o cálculo da reserva de capacidade. Atualmente são previstos três tipos de modalidade de acesso no PRODIST: caráter eventual, temporário e modalidade de reserva de capacidade. Nesse texto será dada maior atenção à modalidade de reserva de capacidade, dada as características de funcionamento da bateria. Nesses casos, a contratação é feita por autoprodutor ou produtor independente para suprimento de uma ou mais unidades consumidoras diretamente conectadas ao contratante em casos de interrupção ou redução temporária na geração de energia elétrica da usina.

A reserva de capacidade é adicionada ao MUSD contratado permanentemente, e deve ser empregado em caráter emergencial para atendimento à unidade consumidora em questão. Essa contratação é feita por meio do Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD). Nesse tipo de contrato, deve ser informado qual o período em que a reserva de capacidade poderá ser utilizada. Esse período deve coincidir com o período de energia elétrica despachado pela usina do agente contratado, tanto para tipo pleno ou sazonal.

O PRODIST estabelece procedimentos operacionais entre as empresas distribuidoras, no caso por seus centros de operação, centros de despacho de geração distribuída e órgãos de operação das instalações dos acessantes. Nesses casos, os recursos mínimos de comunicação entre os centros descritos são definidos.

Para casos de troca de informações de carga e despacho de geração, cabe às distribuidoras reunir e processar informações para essas situações, tanto em casos previstos quanto verificados, estabelecer as rotinas de análise e verificação dos dados. Também cabe à empresa estabelecer os prazos de envio dos dados e atualizar as informações, estabelecer meios de comunicação e padronização dos arquivos eletrônicos, e interação com acessantes quando necessário. Em contrapartida, os acessantes devem fornecer as informações requisitadas da carga e de despacho, incluindo dados e informações complementares.

Em caso de intervenções em instalações, os procedimentos e requisitos serão estabelecidos pela empresa distribuidora. Seu centro de operação deverá executar o processo de intervenção da infraestrutura da empresa, bem como das instalações dos acessantes. Os impactos das interferências serão verificados de modo intentando garantir a qualidade e continuidade do fornecimento. Os pedidos de intervenção e possíveis alterações nesses pedidos devem ser informados com um dia de antecedência máximo. As intervenções devem ser caracterizadas como emergência ou urgência para casos não programados.

As mesmas precauções devem ser tomadas para controle de carga. Os procedimentos para controle da carga do sistema de distribuição para acessantes, unidades consumidoras e centrais geradoras não centralizadas. Os montantes globais de carga devem ser definidos por estudos sob responsabilidade da distribuidora. As mensagens operativas para casos de corte de carga, em situações de contingência ou emergência, também são de responsabilidade dessas empresas.

Em caso de pane ou problemas no fornecimento, a priorização para restabelecer a carga de unidades consumidoras com atividades essenciais e que disponham de geração autônoma também pode ser feita pela distribuidora. As medidas que deverão ser adotadas, bem como razões e programação para casos de redução ou interrupção no fornecimento também devem ser informadas aos acessantes da rede. No entanto, em situações de controle de carga do tipo urgente ou programável, a empresa pode pedir auxílio a centrais geradoras, mediante a disponibilidade de informações atualizadas.

Para essas centrais geradoras, quando acionadas, eventual geração sobressalente de energia deve ser disponibilizada para a distribuidora. Para esses casos, as manutenções dessas centrais devem ser suspensas, bem como a manutenção programada e não-programada de centrais geradoras. No caso dos consumidores, em caso de necessidade, a distribuidora deve ser atendida.

O controle da carga deve ser feito por meio de corte direto, manual ou automático; há ainda a possibilidade de corte indireto, por meio da redução manual do nível de tensão, sempre dentro dos limites técnicos mínimos. Essas ações são classificadas como curta duração, média duração ou longa duração – respectivamente, inferior a quatro horas, entre quatro e 24 horas, superior a 24 horas. As instruções de operação e mensagens operativas devem fazer parte de procedimentos de controle de carga da distribuidora.

Para o caso de consumidores, as ações de controle de carga são classificadas em transitórias, automáticas preventivas – evitando possíveis colapsos no sistema em regime transitório -, urgente – ações automáticas ou manuais, corretivas, resultante de contingências que podem causar risco operativo ou em casos de violações operativas -, programáveis – preventivas. Nesse caso, também vale o emprego da disponibilidade das centrais geradoras como prioridade antes de ações para controle da carga.

Para situações de controle de carga de longa duração, os acordos operativos devem estabelecer com consumidores e centrais geradoras a redução de demandas ou MUSD. Nessas circunstâncias, devem ser esclarecidas as condições para a redução do MUSD e a futura compensação dos valores reduzidos nos períodos de menor restrição do sistema elétrico. O controle de carga e demais ações descritas podem priorizar as cargas dentro de critérios para serviços essenciais.

As intervenções e operações também ocorrem para testes das instalações, especialmente para testes em atividades de comissionamento, aceite das instalações e avaliação de atendimento da qualidade de atendimento no ponto de conexão. As centrais geradoras também podem ser avaliadas quando ao seu desempenho; nesse caso também são incluídos consumidores conectados ao sistema de distribuição de alta tensão.

Em caso de operação ilhada, a central geradora incumbida de controlar a parcela isolada do sistema de distribuição deve ser dotada de controle automático de geração (CAG), isto é, pelo processo que permite a manutenção da frequência ou troca entre diferentes áreas do sistema elétrico por meio de recursos de controle localizados em centrais geradoras, inclusive equipamentos e dispositivos que poderão desempenhar esse papel.

Como meio de comunicação entre acessante e empresas distribuidoras, são previstos recursos de comunicação de voz e dados, como linhas de telefone fixa e móvel entre o centro de operação e o centro de despacho de geração distribuída. A manutenção e disponibilização desses recursos é de responsabilidade do acessante.

A troca de informações, incluindo a imposição da veracidade e a garantia de sigilo, é uma das obrigações estabelecidas para agentes. A consulta ao acesso obriga a inclusão do tipo de acesso – consumidor livre, cogenerador, produtor independente, autoprodutor, distribuidora, entre outros – e dados sobre o sistema de medição e o respectivo ponto de conexão. A troca de informações se refere à dados técnicos necessários para a manutenção dos serviços.

Entre os dados especificados estão: carga instalada, carga máxima, acréscimo de carga previsto, fator de potência previsto e médio horário, fator de carga, sazonalidade, demandas máximas, características da carga, equipamentos com retificação de corrente – existentes e previstos -, equipamentos especiais, sistemas de proteção e controle, tensão e frequência, transformadores de subestação e diagrama unifilar. Possíveis estudos especiais podem ser solicitados para centrais geradoras com instalações conectadas à alta tensão e com MUSD superior a 5MW.

Os mesmos módulos técnicos preveem trocas de informações sobre o Montante de Uso a Contratar (MUST), isto é, o montante de potência ativa contratada junto à distribuidora para uso em instalações de consumo de energia elétrica [ELÉTRICA, a], gráficos periódicos de potência prevista na rede (24 horas) e potência máxima injetável na rede pelas centrais.

Os procedimentos operativos entre acessada e acessante são necessárias para coordenar as operações de curto, médio e longo prazo. Essas informações preveem a previsão operacional da demanda, planejamento das interrupções programadas, planejamento de contingências e informações passíveis de troca em tempo real. No fluxo de dados entre consumidor e distribuidora está prevista o intercâmbio de dados sobre a demanda (contratada e máxima) e dados sobre a

geração própria, se houver. Para o caso de troca de informações entre a central geradora e distribuidora, o repasse de informações acerca da geração, especificamente, incluindo a potência total desligada e prazo para retorno da unidade à operação, com detalhe de tempo em dia, hora ou minutos.

As informações trocadas entre acessantes e acessada contribui para a predição da expansão e planejamento do sistema de distribuição. Para tanto, informações acerca da periodicidade e dimensão, tipo de dados e pontos de interesse, incluindo a demanda, são apresentadas como fundamentais aos estudos de previsão da demanda futura.

A previsão de carga de médio e longo prazos emprega dados do sistema de distribuição e dos acessantes em sistemas de processamento geoprocessados: isso implica na compatibilidade do planejamento com planos diretores municipais e planos regionais de desenvolvimento e estudos de planejamento setorial. As solicitações de acesso e pedidos de fornecimento também devem ser ponderadas nesses estudos, incluindo acréscimos de carga e o risco de sua não cessão. Mesmo que esses dados sejam apontados como necessários para esses estudos, a metodologia de previsão de demanda é arbitrária à empresa distribuidora.

Esse estudo de previsão deve considerar um histórico consolidado de carga dos cinco anos anteriores ao estudo, incluindo o histórico de perdas técnicas e possíveis ganhos com programas focados em eficiência energética. Ao considerar os programas de eficiência energética, as previsões de demanda devem considerar cenários de evolução tecnológica que permitam reduzir o consumo e programas não necessariamente implementados pela distribuidora, mas que colaborem para um cenário de redução ou mudança de demanda.

Os procedimentos devem ponderar a caracterização da carga – feita pela demanda de potência ativa e reativa- e sua classificação em leve, média e pesada, também para horários de ponta e fora de ponta. A geração distribuída, considerando suas características de geração, disponibilidade e sazonalidade, e estudos de planejamento setorial também devem ser empregados nessa etapa. No caso de consumidores do tipo industrial e comercial, os mesmos devem ser classificados por faixa de consumo médio mensal.

Durante a fase do planejamento, também são considerados aspectos quanto à segurança e critérios econômicos. O primeiro se refere à robustez do sistema à distúrbios, considerando condições operativas da rede e possibilidade de ocorrência dos distúrbios. Quanto aos critérios econômicos, as opções são analisadas sob o viés do menor custo global, considerando também o planejamento fiscal e financeiro das distribuidoras e tarifas regulamentadas, mas também focam nos ativos existentes na rede, mesmo que esses não sejam de propriedade da empresa.

Por fim, o plano de desenvolvimento da distribuição deve apresentar um plano de obras e

lista de obras realizadas. Essas obras devem ser classificadas em expansão das redes elétricas, renovação dos ativos de distribuição e melhoria da qualidade do sistema. As obras poderão ser identificadas não somente por programas governamentais, como facilitar o acesso ao programa Luz para Todos, mas também deverão ser identificadas obras financiadas por terceiros, mas vinculadas ao planejamento setorial.

Como ponto fundamental relacionado à troca de dados entre acessantes e acessadas, e medição das grandezas elétricas aplicáveis ao faturamento, qualidade da energia, planejamento e expansão da rede de distribuição está o sistema de medição. Esses equipamentos deverão ser mantidos em condições operacionais padronizados, permitindo o acesso à dados fundamentais das instalações e facilitando no conhecimento da demanda e operação do acessante. Um ponto importante apontado nos módulos técnicos é quanto à custos de equipamentos necessários à tele-medição ou gerenciamento do lado da demanda. Nesses casos, caso haja interesse da distribuidora ou necessidade de complemento de informações, os custos poderão ser contabilizados por essas empresas.

Juntamente aos pontos expostos nos módulos do PRODIST, os decretos e leis que tratam sobre a venda de energia gerada por geradores distribuídos e incentivos a fontes renováveis foram analisadas. A capacidade mínima de sistemas de geração para garantir o fornecimento quando vantajoso também poderiam ser incluídos na legislação e marcos regulatórios vigentes.

O Decreto N°5.163 de 30 de julho de 2004 , que regulamenta a comercialização de energia elétrica, concessões e autorizações de geração de energia elétrica, e a Lei 10.438 de 26 de abril de 2002 [LEI. . . ,] que cria o PROgrama de INcentivo às Fontes Alternativas de energia (PROINFA), foram revisados. Na parte referente às garantias físicas de contrato e quantidade mínima negociada do empreendimento são seções de atenção ao considerar a bateria como um gerador distribuído. Na lei, incentivos à projetos de inclusão de sistemas de armazenamento também poderiam ser descrito, uma vez que essa tecnologia é considerada como importante para a manutenção do fornecimento dessa energia.

O único programa com apoio do governo que relaciona a entrada de fontes renováveis de geração de energia é o PROINFA [LEI. . . ,]; esse programa busca ampliar a oferta de energia por fontes eólicas, pequenas centrais hidroelétricas e térmicas e painéis fotovoltaicos. O programa privilegia, principalmente, empreendedores que não possuam vínculos com empresas do setor elétrico. No entanto, como esperado, não são citados sistemas de armazenamento de energia ou BESS nesse programa e não foram encontradas fontes ou projetos governamentais com foco em ampliar a implantação dessa infraestrutura.

Mesmo com avanços na ampliação da capacidade para fontes renováveis e diversificação

da matriz energética projetos para uso de BESS seriam capazes de ampliar essa vantagem; há defasagem de dados relativos à projetos de incentivo à geração de energia por fontes renováveis no país. Ao comparar o cenário brasileiro aos cenários dos demais países (ou blocos de integração, como a União Europeia) que possuem projetos expressivos para a viabilidade dessa tecnologia, é possível notar o atraso nacional em relação aos demais que estão discutindo ou alterando legislação e/ou marcos regulatórios para adaptar ao avanço das baterias. Esse fato é possível de ser verificado nos Estados Unidos, por exemplo: a alteração ou nova legislação está sendo feita ao mesmo passo que os projetos e a importância do BESS são apresentados no país.

O mesmo caso é verificável no Reino Unido, que alterou a definição de geração para inibir possíveis burocracias na adesão de sistemas de armazenamento de energia e permitir sua negociação em leilões de energia e mudanças na matriz energética. O mesmo fato não é possível de ser verificado em países como Alemanha e Espanha. Ambos os países apresentaram projetos para a inclusão de baterias em seus sistemas elétricos, independentemente da função prevista, mas não foram encontradas legislação ou marco regulatório nos dois países para essas tecnologias.

Para o Brasil, a ausência de regulação ou alteração na legislação pode estar relacionada à falta de projetos significativos que permitam a implantação de BESS. As causas para a ausência de projetos não serão discutidas nesse texto, mas serão analisadas as possibilidades de estímulos governamentais e por parte da sociedade, do ponto de vista da bateria como recurso a reduzir desgastes ambientais e estimular adesão à micro e minigeração distribuída.

Dada a expectativa de redução de custo, a compensação financeira por serviços fornecidos poderia é um atrativo para mini e microgeradores distribuídos. Não foram encontrados trabalhos sobre a percepção dos consumidores quanto a esse tipo de participação no mercado, mas há autores que discutem o entendimento dos consumidores quanto ao custo da energia elétrica e seu peso nas despesas domésticas, bem como o peso das decisões na comunidade e participação na tomada de decisão. Esses pontos serão posteriormente discutidos.

Sem o foco principal de discutir a percepção do consumidor comum, essas análises buscam uma convergência entre o ressarcimento dos consumidores-geradores (consumidores), e a inclusão desses termos na regulação e legislação do setor elétrico. O modelo de tarifa implementado no país não estabelece diferenças horárias para a cobrança da energia para os consumidores do grupo B, excetuando grupos de comprovada carência social ou para o subgrupo de iluminação pública. Os consumidores do grupo B, ou seja, aqueles com modalidade tarifária binômia, são cobrados por tarifa de acordo com o horário – fora da ponta e ponta- e de acordo com a demanda de potência.

Os consumidores de energia elétrica são classificados em grupos, de acordo com o fornecimento e tipo de instalação [RESOLUÇÃO... , b]. O grupo A restringe-se às unidades consumidoras com fornecimento de tensão igual ou superior à 2,3 kV ou atendidas por sistema de subterrâneo de distribuição, e particularizado por tarifa do tipo binômia. O grupo ainda é dividido em mais 6 subgrupos, de acordo com a tensão de fornecimento. O grupo B é aquele que reúne unidades consumidoras com tensão inferior à 2,3 kV, e é particularizado pela tarifa monômia. Os consumidores desse grupo são divididos em 4 subgrupos: residencial, rural, demais classes e iluminação pública.

A mesma resolução [RESOLUÇÃO... , b] prioriza os consumidores que são essenciais para a saúde e segurança da população, mas não descreve as responsabilidades acerca desses consumidores, tampouco, como garantir esse fornecimento. A resolução, no artigo 15 da seção “Ponto de entrega” define que ponto de entrega é o limite físico de responsabilidade da empresa de distribuição de energia, e este se restringe à divisa da via pública com a propriedade do consumidor. Até esse ponto, a empresa distribuidora deve providenciar e viabilizar o fornecimento, operação e garantia da sua infraestrutura, sendo do consumidor a responsabilidade pela infraestrutura além desse limite. Portanto, esse artigo exclui a possibilidade, atualmente, para qualquer gerenciamento de BESS operado pelo consumidor.

A distribuidora somente poderá intervir em unidades consumidoras com potência instalada acima de 50 kW e que possuam algum equipamento que possam causar danos à rede elétrica [RESOLUÇÃO... , b]. Essa definição dificulta que as companhias distribuidoras possam vender serviços fornecidos por BESS para seus clientes, como um produto a ser incorporado. Em relação à segurança, isso também aumenta a importância de incluir parâmetros de qualidade e manutenção mínima do serviço, para evitar que prejuízos à rede elétrica, garantindo o fornecimento e integridade física da estrutura.

Fundamentada na análise das Resoluções Normativas, marco regulatório, módulos do PRODIST, alguns pontos para a regulação de BESS podem ser apresentados e examinados, conceituando alguns termos e regras. Conceituar é atribuir características a algum termo, estabelecendo suas particularidades e finalidades. Conceituar permite, então, limitar o uso do termo para uma ação desejada, ou seja, demarcando qual a sua definição, é possível explicar qual o seu uso dentro de um contexto desejado. A regulação utiliza-se de conceito para limitar a qualidade desejada: para isso, esses documentos oficiais definem termos técnicos necessários para limitar a qualidade e segurança de um serviço desejado.

4.3 Apresentação de parâmetros passíveis de regulação para BESS

Os termos conceituados nesta seção são, portanto, uma tentativa de delimitar os parâmetros citados na literatura científica, as necessidades apontadas nas regulações anteriormente estudadas, e nos relatórios de entidades especializadas. A evolução da pesquisa permitiu estabelecer quais são os termos considerados importantes a serem definidos para delimitar a atuação de uma regulação para o setor no Brasil, definindo os papéis, a tarifação e o gerenciamento do BESS.

Os parâmetros são definidos nesta pesquisa como variáveis que permitem estabelecer medidas para uma norma, e foram divididos em operacionais e técnicos. Os parâmetros operacionais são todos aqueles relacionados ao funcionamento do BESS de acordo com os resultados desejados, isto é, atender os requisitos de demanda do proprietário e manter o padrão de qualidade dos serviços fornecidos dentro de limites estabelecidos em contrato e por regras e padronizações públicas. Esses parâmetros não são, algumas vezes, necessários à regulação da tecnologia e podem se referir à implantação da infraestrutura e gerenciamento dela por seu proprietário; alguns parâmetros como tempo de carga/descarga, tempo de rampa, limites mínimos e máximo de carga, entre outros não refletem necessariamente a qualidade do serviço desejado para os BESS.

Os parâmetros técnicos, portanto, são aqueles necessários para que a compra/venda de serviços fornecidos por BESS seja feita com a qualidade desejada pelas partes interessadas. Esses parâmetros devem constar na regulação, e se referem à quantidade de energia que deve ou pode ser disponibilizada no momento da disponibilização dos serviços, para o caso de geração distribuída, e o tempo que os serviços devem ser disponibilizados, isto é, a quantidade de energia mínima que deve ser viabilizada durante um determinado período. Assim, os serviços estão relacionados à disponibilidade dessa energia, por um período determinado e em acordo com os termos contratáveis; o desempenho é resultado do tempo e da quantidade de energia, e, portanto, determinado por parâmetros técnicos.

A medição dos parâmetros técnicos quanto à realização do serviço contratado implica na compensação das partes envolvidas, ou seja, aquele que fornece o serviço é remunerado por aquele que compra o serviço. Especificamente para a geração distribuída e os BESS há inúmeras possibilidades para os papéis de comprador e fornecedor de serviços, sendo a perspectiva de comprador e fornecedor desempenhados pela empresa distribuidora e pelo consumidor apenas um cenário. As inúmeras possibilidades para esses papéis são resultado da bilateralidade de informações e fluxo de energia, e a direção desses dois parâmetros no momento do fornecimento do serviço determinará o papel dentro da configuração da rede.

Com a relação de fornecimento de serviços estabelecida entre os atores, a posição geográfica para esse equipamento será sempre atrás do medidor, ou seja, gerenciável e operada somente pelo consumidor. Essa restrição, no caso, acontece pelo próprio perfil da operação do BESS e pela configuração de atores já existente no país. A posição geográfica, portanto, refere à parte interessada que será responsável por gerenciar e operar a infraestrutura, garantindo que os parâmetros técnicos contratados sejam satisfeitos no momento do fornecimento do serviço.

A satisfação dos parâmetros técnicos define o que é a qualidade para os serviços delimitados: a qualidade de serviço será aquela determinada pela quantidade de atribuições descritas nos parâmetros técnicos e satisfeita durante o período contratado. A não satisfação de qualquer parâmetro técnico determinado caracteriza, então, em falha no provimento do serviço, o que implicará em penalidade para a parte interessada que está fornecendo o serviço.

Os termos definidos nessa seção pretendem delimitar o escopo de uma regulação para o BESS a ser conectados na rede de distribuição. Com esse balizamento, é possível descrever a relação entre proprietários da infraestrutura e a empresa distribuidora, incluindo quais parâmetros devem ser considerados para medir a qualidade do serviço provido, refletindo no ressarcimento financeiro de ambas as partes, e quais devem ser considerados apenas para o controle da tecnologia.

Essas definições refletem na validação de quais parâmetros poderiam ser escolhidos para medir a eficiência do BESS. Assim, um BESS será definido como um sistema com capacidade de fornecimento de serviços para diferentes atores por determinado tempo, com manutenção de índices de qualidade e segurança acordados; como não há limites para quais os serviços fornecidos, o BESS não será descrito como um sistema apenas de geração de energia, mas um novo elemento a ser adicionado na configuração da rede. A posição do BESS na rede dependerá da sua escala e determinará o papel que o sistema poderá desempenhar. Dessa forma, sob a perspectiva da geração distribuída, o BESS sempre está localizado atrás do medidor.

Para a regulação de BESS, o proprietário e operador desses equipamentos não pode ser definido como um consumidor comum de energia, ou seja, como aquele que compra os produtos ou os serviços oferecidos pela distribuidora para consumo próprio, também chamado de consumidor final. Esses indivíduos passam a ser vistos como aqueles capazes de consumir a energia fornecida pela rede - um serviço - e, ao mesmo tempo, prover serviços relacionados à eletricidade. Conceituar dessa maneira esses indivíduos baliza as relações possíveis com a empresa de distribuição, ou aquela que fornecerá a conexão dos proprietários com a rede principal.

Essa definição circunscreve a relação desses dois atores como aqueles passíveis de trocas de serviços baseados no uso da eletricidade. Essa relação é delimitada pela disponibilização de

uma quantidade de energia a ser despachada – ou seja, injetada na rede – mediante uma troca financeira. Portanto, a distribuidora passa a ser vista também como aquela passível de receber serviços, agora incluindo os seus consumidores. Essa relação é possível, para a perspectiva de venda e compra de serviços, para geração distribuída, ou seja, limitada à compra/venda de energia.

Dada a escala da capacidade instalada do lado da geração distribuída, o papel da distribuidora como mediadora dos serviços e fornecedora da infraestrutura da rede principal poderia ser definido, sem limitar a troca entre atores conectados na rede que é proprietária e ampliando o papel dessa empresa na configuração atual da rede. As regras de mercado devem ser revistas para abranger esse novo papel: a empresa também tem o papel de assegurar o acesso à rede e o controle dos parâmetros dos sistemas referentes ao funcionamento, isto é, os parâmetros técnicos. Esta definição estabelece ainda que a relação entre as partes comprador/vendedor de serviços será feita mediante compensação; nesse caso, o modelo de créditos atual ainda seria válido. Essa relação de venda e compra de serviços cria condições de discutir questões vinculadas ao período de carregamento/despacho da energia armazenada e parâmetros operacionais ou não que devem ser negociados entre as partes interessadas.

Os parâmetros a ser negociados entre as partes devem ser aqueles relativos à qualidade técnica do serviço, ou seja, aqueles que concernem à garantia do fornecimento do serviço. Esses parâmetros podem ser incluídos em futura regulação para o setor, mas eles não irão delimitar a qualidade do serviço comercializado.

Dessa maneira, balizar o serviço não depende de termos horários ou de capacidade da bateria durante o carregamento ou despacho de energia, ou seja, aqueles parâmetros relativos ao tempo mínimo de carregamento, tempo máximo para atingir a capacidade máxima, entre outros. Esses termos são importantes para o consumidor e operador do sistema e serão, portanto, delimitados nesta pesquisa como parâmetros operacionais, e vitais para o gerenciamento do equipamento e não para a relação de venda/compra de serviços.

Os parâmetros suscetíveis de inclusão em marcos regulatórios serão aqueles limitados à garantia do fornecimento do serviço: em caso de sucesso, os serviços serão remunerados e, em caso de não satisfação de alguma das partes, a parte não cumpridora da relação comercial prevista deverá ser penalizada. O termo capacidade é então apresentado nesse documento como uma possibilidade para comercializar a energia necessária para garantir a relação de venda de serviços entre proprietários/operadores e empresa distribuidora.

A capacidade será definida como uma medida que permite determinar a quantidade de energia disponibilizada para a comercialização (compra e venda). Esse termo, portanto, exclui que

parâmetros temporais para a comercialização dos serviços sejam gerenciáveis pela distribuidora e atribui responsabilidades às partes em relação ao produto negociado, isto é, garante que a energia esteja disponível nos termos contratados e com a qualidade necessária negociada. Como fator adicional, também permite calcular a capacidade total da rede.

A capacidade é, dessa maneira, diferenciada da energia consumida de fato, o que caracteriza o aproveitamento do serviço e da demanda pelo serviço, ou seja, a quantidade de energia desejada pelo comprador do serviço; em caso de não satisfação da demanda, são previstas penalidades. A legislação/regulação brasileira delimita os valores para micro e minigeradores individuais, limitando o valor da capacidade, e os valores de demanda para cada consumidor previsto, caracterizando os valores para o termo definido com o mesmo nome. Uma discussão sobre a validade ou não desses valores para o BESS não fazem parte do escopo desta tese.

A comparação desses valores, ou seja, a medição da eficiência da compra ou venda de serviços, determina como será o ressarcimento das partes envolvidas. Assim, a capacidade comporia os contratos e pagamentos entre distribuidora e consumidores, e a comparação entre os parâmetros de aproveitamento e demanda, também, formariam as operações comerciais. Esses parâmetros incluiriam aqueles que empregam fontes próprias para carregar o BESS.

Os parâmetros apresentados para medir a capacidade da infraestrutura do proprietário poderiam ser empregados para incentivar o carregamento do BESS em horários mais vantajosos para a distribuidora, ou seja, em períodos com menor demanda dos demais consumidores. No entanto, esse parâmetro não pode proibir que esses sistemas sejam carregados no momento desejado por seu proprietário. Esse parâmetro compensaria a distribuidora do carregamento de BESS por aqueles consumidores com tarifas do tipo monômnia. Esse parâmetro exerceria um certo controle da programação de funcionamento desses equipamentos. Os operadores do sistema determinarão o início da operação do BESS, tanto para carregamento quanto para o despacho da energia, uma vez que a empresa não possui controle sobre as instalações dos consumidores após o limite físico do medidor.

A questão tarifária depende da descrição dos termos que serão medidos para determinar o ressarcimento das partes interessadas nos serviços baseados em BESS. Com o impedimento da legislação atual em diferenciar tarifas para cada consumidor, uma opção seria a cobrança na capacidade instalada da infraestrutura. Esse termo possibilitaria calcular a infraestrutura que a distribuidora deverá deixar disponível para carregar todos os equipamentos, caso essa seja a necessidade dos consumidores, ou seja, uma das partes interessadas.

Essa questão esbarra nos limites físicos da infraestrutura da rede de distribuição, o que contribui para a discussão da resiliência dessas estruturas e como cobrir custos para manuten-

ção dela, a partir de uma grande demanda por parte dos proprietários. Essa questão não fica encerrada na questão tarifária, mas depende de adesão a tecnologias que podem não estar disponíveis nesse momento. A discussão sobre a cobrança das partes interessadas, parte essencial para medir a qualidade do serviço contratado, não se encerra nesse documento, tampouco nos parâmetros aqui levantados.

Os serviços são definidos e comercializados ponto-a-ponto: a saída no ponto de venda determina o êxito na transação, ou o não cumprimento dos valores negociados, o que implicará em penalidade. O sentido do serviço será determinado na saída desse ponto. O ponto-a-ponto, para facilitar a negociação e manutenção dos parâmetros de qualidade, deverão estar dentro da área de concessão da mesma empresa distribuidora.

Para a mesma área de concessão, há a possibilidade de comercialização da capacidade, energia e demanda, e serviços ancilares, todos previstos para o BESS. Os serviços ancilares são definidos como aqueles necessários para a manutenção na qualidade do despacho da energia ou para a disponibilização da capacidade comercializada para as cargas da rede, garantindo a confiabilidade da operação.

A pertinência do assunto temporal também concerne para a possibilidade de mudanças de estado do BESS, fato diretamente ligado à questão da programação (*scheduling*) da disponibilização do serviço. A programação da injeção e despacho para o BESS na rede elétrica é feita em relação à capacidade do próprio sistema. Por previsão da capacidade disponível no setor, ou seja, toda aquela que foi transacionada comercialmente e vendida como um serviço entre os interessados. Ao disponibilizar a capacidade como serviço aos demais, o proprietário da infraestrutura se responsabiliza pela disponibilização da energia, e, portanto, em caso de descumprimento, esse deve ser penalizado.

O fluxo de energia (entrada/saída) determina qual o estado do BESS: ao despachar energia, é um provedor de serviços e ao receber energia é um requerente de serviços. A possibilidade de migrar de um estado para o outro depende da questão temporal e do tempo mínimo assegurado para a manutenção do serviço demandado. Essa questão temporal também deve ser mínima para garantir que a mudança de estado não ocorra em período não programado durante a venda do serviço, bem como em períodos que possam impactar a rede negativamente.

A mudança de estado da estrutura deve assegurar que o tempo mínimo seja cumprido. Programar a operação desses equipamentos e o cumprimento do serviço em conformidade com os parâmetros técnicos assegurados é uma possibilidade de atuação para as empresas responsáveis pela estrutura ponto-a-ponto. Assim, a distribuidora, para esses casos é convertida para a empresa que fornece a infraestrutura necessária para a entrega dos serviços transacionados,

controlando a qualidade dessa infraestrutura física, a medição na saída/entrada dos pontos, e a comercialização dos serviços, mesmo quando ela for a principal beneficiária.

Como a responsável pela comercialização dos serviços, o setor de distribuição também se encarrega de determinar a programação para esses fornecedores de serviço. A utilização de uma programação própria dos geradores distribuídos, como apontado no documento dos operadores, inclui a autoregulação para aqueles que desejem atuar no setor, independente do serviço que irá comprar/disponibilizar.

Os termos apresentados são relacionados aos estados possíveis de despacho e injeção de energia para os BESS, e buscam desvincular a troca de informações entre proprietários e demais participantes do setor de termos técnicos e relevantes ao gerenciamento da estrutura, e não à manutenção do serviço. Assim, termos relacionados ao SoC não são considerados relevantes para viabilizar esses sistemas, e os termos propostos podem ser desdobrados em informações relevantes de tempo e carga.

A capacidade é um termo que se refere à faculdade de conter, reter algum recurso para atender determinado fim. No caso do setor elétrico, tem relação com a possibilidade de geração e despacho de energia, em função do tempo, para negociação futura. Assim, a capacidade se refere à quantidade, medida disponível para atender a um serviço contratado. A capacidade não se refere somente à energia armazenada, mas com a previsão de despacho de geradores distribuídos. Em adição, esse parâmetro também se refere à injeção de energia no BESS, uma vez que a previsão de quantidade de energia será necessária para que a estrutura de sua propriedade esteja dentro de limites de provisão.

A programação da injeção e despacho de energia na rede é feita, portanto, em relação à capacidade. Por previsão da capacidade disponível no setor, ou seja, toda aquela que foi transacionada comercialmente e vendida como um serviço entre os interessados. Ao disponibilizar a capacidade como serviço aos demais, o proprietário da infraestrutura se responsabiliza pela disponibilização da energia, e, portanto, em caso de descumprimento, esse deve ser penalizado. Ao contrário, em caso de pedido de injeção, como no caso do BESS, não é passível de punição.

O valor da capacidade deve ser negociado, nos dois sentidos, entre os interessados. Para pedidos de compra, o valor negociado é empregado para estimar a disponibilidade da energia no horário, assegurando os níveis de segurança e qualidade para a rede. Para as transações de venda, a qualidade deverá ser de responsabilidade do vendedor da capacidade, bem como a disponibilidade da energia. Para esses casos, o valor do tempo mínimo de disponibilidade, limite máximo de oferta, são alguns aspectos que devem ser considerados para a oferta da capacidade.

Assim, por simplificação, energia é o resultado da transação, ou seja, o recurso injetado ou despachado na rede e cuja medição aponta o valor do consumo e oferta do recurso. Ela não é vista nos documentos referenciados como um serviço propriamente dito, mas como um resultado da transação entre os agentes de mercado: a energia, medida no ponto onde a estrutura está conectada somente reflete o cumprimento ou não da transação negociada, e o seu valor total representa uma das partes da remuneração ou penalização das partes.

A demanda é definida como aquele serviço capaz de equilibrar o fornecimento e a consumo. A demanda, então, pode ser definida como o serviço em tempo real e com preço da energia despachada ou injetada flutuante, uma vez que esse serviço é fortemente vinculado à questão temporal da carga, e não somente à capacidade e disponibilidade do recurso. A venda da energia despachada e injetada pelo BESS, assim, ganha novas possibilidades, de acordo com a estratégia temporal de operação e conexão desses equipamentos na rede. Mais ainda, a estratégia de programar a venda ou compra da energia em questão temporal torna mais tangível a utilização das fontes de geração distribuídas, caracterizadas por sua intermitência. Mais do que parâmetros para a negociação desses recursos, a definição e distinção dos serviços para a venda de energia elétrica demonstra a importância da programação dos agentes de mercado aliada à manutenção da qualidade exigida.

Ainda que a dimensão da estrutura não seja uma questão de tanta relevância como a definição desses parâmetros para a construção de uma regulação, os termos definidos e diferenciados entre si permitem estabelecer margens de segurança para que qualquer gerador distribuído ou proprietário/operador de BESS esteja apto a participar do mercado. Essa participação não fica apenas limitada ao fornecimento, mas à variação do custo da capacidade para a compra da energia em caso de recarregar o BESS.

A participação no setor é dada por empréstimo gratuito de energia ativa, posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Esse sistema de troca de energia ativa é chamado de sistema de compensação de energia elétrica, e gera um crédito ao consumidor. Como a compensação é dita por troca de energia ativa, a responsabilidade da geração do crédito é da empresa distribuidora, definida como aquela de concessão ou permissão federal para prestar serviço público de distribuição.

O serviço público de distribuição inclui como encargo o uso das instalações da distribuidora, calculado pelo produto da tarifa de uso pelo montante de uso do sistema de distribuição e de energia contratados ou verificados. O papel da empresa é visto como a fornecedora da distribuidora e prestadora do serviço de entrega da energia no ponto limite com o consumidor; a possibilidade de negociação da injeção da energia pelo consumidor é vista como uma transação,

mas apenas geradora de créditos, e não passível de negociação ou estabelecimento de um novo mercado.

4.4 Considerações sobre o Capítulo

Ainda que poucos países estejam avançados em relação à legislação e regulação voltada para o BESS, dada a complexidade do assunto, há o interesse para que ambos sejam estabelecidos. A definição da regulação estabelece as regras técnicas, especialmente em situações limítrofes, para que esses sistemas entrem em funcionamento.

A posição da bateria como um novo componente na rede é afirmada nesse capítulo. A bidirecionalidade do fluxo de energia, bem como o aspecto temporal gerenciável dessa estrutura, comprova a necessidade dessa definição. A mudança de estado, ou seja, a questão temporal, deve ser tratada como parâmetro técnico para baterias e, portanto, passível de negociação. Assim, dada a singularidade de diferentes comportamentos para BESS, é impraticável atrelar definições prévias de geradores e consumidores para essas estruturas. Os demais parâmetros passam a ser, dessa maneira, consequência temporal do fornecimento ou compra de serviços baseados em energia fornecidos por esses sistemas. Definições já existentes na regulação também podem ser alteradas ou conciliadas para esses equipamentos, como a capacidade e a demanda, elucidadas nessa etapa da pesquisa, inclusive para o Brasil.

Estabelecer como essas informações serão trocadas entre aqueles que negociam os serviços é um obstáculo para o setor. O gerenciamento dessas estruturas, portanto, deve ser de responsabilidade do consumidor; a mudança de estado e conexão na rede são os parâmetros negociáveis com demais atores. Esse fator exclui a atuação direta das distribuidoras na operação do equipamento, mas a autoprogramação e a negociação dos serviços em função do horário tornam a exploração do BESS mais interessante para o setor nesse momento.

A comercialização desses equipamentos não pode incluir o gerenciamento deles, uma vez que a operação deles depende de requisitos de projeto, contratados entre proprietários e fornecedores. Os dados mínimos para a conexão desses equipamentos na rede devem constar da regulação, mas não danificar a dinamicidade necessária e característica para os serviços.

A satisfação dos parâmetros e a tomada de decisão de conexão/despacho de energia esbarra no acesso aos equipamentos de medição. Não há solução imediata para o problema de medição e comunicação bilateral entre consumidores e demais atores; as atuais são caras e ainda esbarram em diferentes questões tecnológicas, financeiras, segurança de dados, entre outras. Portanto, a conexão/despacho dependeriam dos parâmetros técnicos determinados para ambas as partes,

mas também vão depender da autoprogramação por parte dos proprietários dos recursos.

Sob o viés de legislação/regulação atual, o Brasil pouco ou nada definiu o seu interesse para esse tipo de tecnologia. Essa incipiência na determinação de políticas e discussões regulatórias é assimétrica com o interesse de empresas do setor: o número de projetos para BESS, sob diversos aspectos concernentes à tecnologia, cresce no país. Portanto, é possível concluir que a construção da regulação para esses sistemas e a definição de incentivos à tecnologia dependerão fortemente da ação das empresas do setor elétrico, também resultado da alta financeirização do setor.

As diretrizes atuais não são um impedimento à viabilidade de BESS na rede de distribuição, visto que, claramente, não há regras específicas que proíbam esses equipamentos. Tampouco permitem a ampla inserção desses sistemas, uma vez que não há regras para lidar com as suas especificidades, mas algumas diretrizes atuais abrem brechas para a sua operação. Assim, algumas das diretrizes citadas no texto não foram interpretadas literalmente, mas visando mostrar a capacidade atual do setor de incluir tais sistemas.

5 MODELOS DE NEGÓCIO PARA VIABILIDADE DE BESS E CONTINUIDADE DO NEGÓCIO

Esse capítulo tem como objetivo, assim, apresentar uma análise sob um viés de continuidade de negócios com foco em viabilizar o BESS. O modelo proposto não é conclusivo, dada a complexidade do tema, mas busca endereçar pontos relevantes às estratégias de viabilização e definir um encaminhamento viabilizar consumidores no papel de proprietários, administradores e operadores de sistemas não centralizados, tais como o BESS. Dessa forma, falhas são pontos de melhoria para pesquisas futuras.

Os objetivos para esse capítulo são:

- histórico do setor elétrico, com foco na inovação do próprio setor e a viabilização de novas tecnologias;
- apresentar metodologias de construção de modelos de negócios;
- fatores passíveis de serem incluídos no plano de negócios para um consumidor do tipo comercial no Brasil;
- parâmetros para modelo Canvas de plano de negócios para um consumidor do tipo comercial no Brasil.

5.1 Aspectos considerados para um modelo de negócios

O desenvolvimento desse capítulo é baseado em trabalho anterior acerca Modelos de Negócios voltado para a continuidade de negócios [GEPEA, 2021a].

Um modelo de negócios pode ser empregado como uma ferramenta que guia a resposta às questões dos atores quanto à extensão dos efeitos da operação do BESS para resolver problemas conhecidos do sistema elétrico, determinando quais os elementos reais de aplicação, e qual a melhor utilização para o BESS, baseado na localização e aplicabilidade do sistema. Dessa

forma, é possível calcular os benefícios esperados e reais para determinado projeto, mas a contabilização e criação de valor para todos os produtos negociáveis ainda não podem ser definidos. Os benefícios estão sendo medidos e quantificados ainda em estágio inicial.

O papel mais tradicional para BESS é referente à capacidade de estocar energia em condições específicas e despachar ou utilizar essa mesma energia em períodos de maior demanda ou preços mais altos. Essa capacidade de mudança de padrão horário de consumo da energia é adequada à demanda mais atual do setor elétrico, assegurando a confiabilidade no fornecimento de energia. O fornecimento desse tipo de serviço por parte dos operadores depende do equilíbrio entre os custos para montar e gerenciar essa infraestrutura e os valores de mercado, portanto, da viabilidade econômica e acessibilidade. A análise da viabilidade econômica aponta que há falta de incentivos, tanto relativos à apoio tecnológico e financeiro, definições de esquema tarifário e modelos de participação desses sistemas no setor elétrico. Somados a estes pontos, há barreiras de classificação e incertezas quanto ao gerenciamento e propriedade dos sistemas; estrutura de mercado específica para os possíveis serviços fornecidos, pagamento e contratação destes serviços, e a definição dos papéis e atuações. Somados a esses critérios, o reduzido interesse governamental e de instituições são barreiras significativas para os BESS.

O modelo de negócios é focado em detectar as possíveis barreiras para viabilizar a implantação de BESS no Brasil via um modelo que permita a continuidade dos negócios com foco na redução de custos de serviços baseados em energia elétrica ou redução de impactos no fornecimento. Assim, os parâmetros para medir o sucesso da implantação deve atentar para a confiabilidade do fornecimento dos serviços – prontidão para a resposta em tempo real do fornecimento da demanda -, consistência do fornecimento da geração e disponibilidade da rede, adequação da capacidade de geração e da rede disponíveis para atender à demanda, e políticas energéticas estratégicas referentes à disponibilidade de recursos e infraestrutura para o fornecimento de serviços, incluindo também os custos e atendimento à uma agenda de diversificação de matriz energética e preços.

Esses fatores se diferenciam pelo período de ocorrência. Embora quantificar esses parâmetros possa ser difícil, eles devem ser empregados para analisar o emprego em larga escala de BESS e direcionar os investimentos e estratégias de satisfação de políticas energéticas para o período estipulado. O papel que o BESS desempenha e desempenhará no setor traz o benefício da variabilidade de custos e quantidade da energia como fatores que podem consolidar o mercado futuro. Essas vantagens, além da atração de novos atores, também colaboram com a descarbonização do setor, e ampliam o acesso à energia e participação ativa de consumidores no setor elétrico. No entanto, a análise da viabilidade econômica para esses sistemas pode ser uma barreira significativa, dada a possibilidade de que os serviços esperados não satisfaçam

requisitos de continuidade de negócios.

Para aqueles integrados verticalmente, há a possibilidade de captura do valor do armazenamento de energia, o que permite determinar a economia que esses equipamentos poderão proporcionar e direcionar os investimentos para a redução no custo do fornecimento dos serviços. Os modelos de negócios para BESS podem ser classificados de acordo com a sua escala e com a criação de novas funcionalidades. Como funcionalidades, o arbítrio de preço e o *Peak Load Shifting* são os mais comuns e citados, devido as diversas possibilidades horárias e de custo durante o dia. Essas funcionalidades podem ser aplicadas em diferentes níveis da rede, com variação durante diferentes períodos do dia e do ano. Essas aplicações são as mais utilizadas, mas devido às características das baterias, o mais comum é um ciclo de carga e descarga por dia.

Um modelo de negócios inovador beneficia o crescimento do mercado relacionado ao BESS e o crescimento desse mercado traz benefícios ao remover barreiras ao uso de fontes renováveis de energia. Para o caso de aplicações focadas em autoconsumo, isso é atender às próprias demandas, os novos modelos de negócios implicam em mudança nos parceiros chave significativa, mas menor impacto nos recursos chave e no segmento de clientes. O resultado mostra que a flexibilidade da aplicação dos sistemas é maior para os clientes almejados, mas esse ponto não implica em maior inovação nos modelos de negócios aplicado. O modelo para a continuidade de negócios deve também focar na redução de impactos ambientais, visto o incentivo à substituição de Geradores Diesel, incentivo à entrada e participação de novos atores, e a definição de serviços de energia elétrica mais variados.

Um modelo de negócios baseado no custo do serviço é o mais comum em ambientes integrados verticalmente ou para empresas distribuidoras, ambos controlados por agências reguladoras. O argumento para esse modelo é a necessidade de retorno dos investimentos e custos durante a operação dos equipamentos, o que permitiria aplicar métricas para ajustar a taxa de retorno no investimento ou grau de custo baseado somente na rentabilidade e fatores relacionados. O modelo de acordo de compra de energia entre as empresas distribuidoras e geradores é o mais comum, e o custo desse recurso pode ser recuperado pelas empresas como custos de operação e por provedores de serviços podem obter benefícios ao participar do mercado como terceiro componente; a confiabilidade no fornecimento dos serviços acordados decorre da granularidade e consequências em caso de não-performance, estabelecendo incentivos econômicos. A dinâmica de fornecimento e demanda deve refletir o estado do sistema econômico e dos sistemas envolvidos, incluindo quais os tipos de serviços e tecnologias devem operar e quais condições, e a granularidade do mercado deve atrair novos recursos a ponto de compensar os investimentos.

A granularidade e posicionamento do sistema como vantagens para a atração para o mercado americano, a dinâmica de venda e posicionamento de serviços pode ser analisada pelo mercado brasileiro, bem como a retirada ou contorno das condições impostas pelas barreiras regulatórias e de mercado. Como as barreiras regulatórias são complexas, independentemente do país referido, aqueles referentes ao planejamento de recursos e práticas regulatórias para serviços baseados no preço. As barreiras regulatórias relacionadas às práticas regulatórias podem ser de mais simples resolução, uma vez que são dependentes de regras e direcionamentos dadas pelo mercado, mas também submissas às regras de que esses serviços devem ser mais viáveis economicamente que todos os demais recursos disponíveis.

Essa premissa varia conforme a dinâmica de fornecimento e demanda muda, incluindo a dinâmica de competição dos recursos disponíveis, afetando o retorno para seu operador. Assim, o operador deve ser capaz de analisar todas as variáveis econômicas envolvidas e decidir se o investimento é viável ou não. Essa análise deve considerar a variação das tarifas de energia, e incentivos às fontes renováveis – o que aumenta a percepção de valor dado a esse tipo de recurso. Assim, o uso de BESS por usuários finais impõe a criação de regulação e políticas específicas sobre a interação do recurso com o tempo e com as tarifas; em alguns países, os preços marginais, como função nodal ou da zona em que está inserido, determinam o valor da energia para o período estipulado.

A performance dos recursos também deve ser avaliada como variável para a compensação energética. A venda de serviços baseados em energia elétrica depende da flexibilidade do BESS, ou seja, fato que implica na confiabilidade da performance e resposta rápida nos períodos demandados. O desenho atual do mercado, ou da maioria dos mercados, impacta fortemente no período em que esses recursos poderão operar, impondo as condições para maior ou menor aproveitamento do potencial do armazenamento.

A variação horária reflete aspectos de previsão da carga e da disponibilidade dos recursos, o que impacta na previsão de operação e nas instruções necessárias para o despacho, produção ou reserva para períodos estimados. A resposta depende de protocolos que devem ser estipulados entre os participantes, o que impacta os custos e a performance desses equipamentos. A etapa de compra e requisição dos serviços fornecidos por esses sistemas deve estipular esse período, uma vez que o operador de BESS depende de programação própria para carregar e descarregar, ao contrário do gerador convencional. O estágio “apto para o mercado” pode ser estipulado para esse tipo de equipamento. Os parâmetros citados implicam na determinação de um portfólio de serviços para armazenamento de energia que permita a compensação direta dos operadores, e a participação deles no setor com a menor intervenção possível. A intervenção não exclui a necessidade de um árbitro para toda a base de serviços disponíveis e os requisitos para que eles

sejam oferecidos e atendidos nos termos acordados; a intervenção exclui a lógica de venda de serviços somente quando o custo da geração é menor que o custo marginal do armazenamento.

A decisão de carregar ou não o BESS não envolve riscos para seu operador, uma vez que a variação de preços não é tão grande entre os períodos do dia – essa reflexão vale para a grande maioria dos locais em que se estude a inserção desses sistemas, inclusive para o Brasil. Assim, os incentivos à novas fontes poderiam alterar a lógica de início de operação. O posicionamento do sistema e o estabelecimento de um árbitro para as decisões implicam que a deliberação para o início ou não da operação devem sempre caber ao operador do BESS, respeitando a independência desses atores. Ainda que a independência desses atores seja respeitada, a posição da empresa distribuidora deve ser analisada, sobretudo em relação à compensação, alocação de custos – inclusive aqueles causados pelos impactos diretos desses equipamentos nos custos de sistemas - e venda de serviços baseados em armazenamento.

Os benefícios sociais e ambientais do emprego de novas fontes devem ser reconhecidos pelos atores e fazer parte de modelos de continuidade de negócios como um ativo que fornece um serviço que deve ser precificado em relação direta com as benfeitorias que fornece. No momento de estabelecer valores para determinado serviço, a contribuição para a manutenção na qualidade dos demais serviços fornecidos, inclusive para a rápida recuperação em casos de problemas de fornecimento, ou a definição do BESS como estrutura de negócios da própria empresa, e, portanto, um ativo capaz de recuperar o investimento, devem ser considerados como possibilidades. Para o último caso, o início da operação pode ser mais facilmente combinada entre os atores, permitindo um acordo em que a demanda e o fornecimento possam ser encontradas e equilibradas de acordo com as expectativas de manutenção de negócios de operadores e distribuidoras.

Os modelos de continuidade de negócios podem correlacionar fortemente a performance do sistema, incluindo fatores de eficiência e a complementaridade à demais serviços. Os serviços de maior escala poderão oferecer uma nova percepção de geração centralizada, mais focada em nível de serviço diretamente aos usuários. Ao atender aspectos mais relacionados ao controle, acessibilidade, performance e atender à hábitos mais próximos aos hábitos dos usuários, o valor para esses atores poderá mudar. Os serviços passam a ser um serviço adicional ou um produto direto para esses atores, alterando a sua configuração na rede e os tornando consumidores mais ativos. O armazenamento, assim, oferece um baixo nível de inovação como modelo de negócios por si, mas para maior escala pode oferecer um modelo mais inovador. O nível de inovação fica vinculado às aplicações que o BESS oferece: ao enquanto um produto para o consumidor, o seu valor é mais baixo, e varia em grau de inovação quanto mais aplicações e serviços estiverem vinculados ao seu emprego.

O emprego desses sistemas está fortemente vinculado à aplicação do sistema, o papel que ele desempenha no mercado e o fluxo de receita obtido por essa operação. A aplicação do sistema deve considerar todas as atividades que esse tipo de sistema pode performar no tempo, de acordo com a posição do operador no mercado – o que limita a ação do sistema – e o tipo de retorno que esses sistemas gerarão durante a operação. Há quatro papéis de mercado: comercialização, gerador, transmissão e distribuição, e consumidor, de acordo com a função do interessado em BESS e possibilidades de atuação. Como comercialização, aquele que opera um BESS pode comprar a energia de diferentes produtores ou do mercado e vender de acordo com a tática determinada; o produtor deverá gerar e vender a energia, enquanto como transmissor e distribuidor, o operador deverá transportar a energia gerada e assegurar a operação segura da rede, e, por fim, como consumidor, o operador irá consumir e comprar a energia.

Um operador de BESS deverá assumir diferentes papéis, de acordo com o período em que a energia estiver no sistema, ou apenas assumir um. No entanto, independentemente do papel escolhido, esse consumidor terá um papel mais ativo no setor, similar ao de empresas e operadores na configuração atual. A decisão de como viabilizar o BESS no setor ou as atividades e funções desempenhadas dependerá, do papel escolhido para o operador do sistema de energia. A regulação deverá definir esses papéis e os serviços que cada um poderá desempenhar, distinguindo quais os parâmetros de operação e atividade.

5.1.1 Ambiente de Armazenamento de Energia Elétrica

Os cenários de definição do setor elétrico e os estudos do estado da arte de modelo de negócios para BESS permitem apreender os pontos apresentados a seguir.

- A proposta de valor está no fornecimento de serviços de energia, na contribuição para regulação da tensão e frequência, na intermitência da oferta de energia, no deslocamento, no tempo, da oferta e da demanda versus inflexibilidade da demanda.
- A criação de valor em torno das novas tecnologias pode facilitar/otimizar o encontro da oferta e da demanda em potência, minimizando a geração adicional demandada pelas fontes renováveis, em decorrência da intermitência das fontes.
- Capturar valor no setor elétrico está relacionado às ofertas de serviços baseados em energia elétrica e viabilidade econômica sob a perspectiva do consumidor.
- A tendência do retorno está associada à evolução de como será percebido o valor dos ativos em energia no futuro: descentralização, aumento de geradores distribuídos, tecno-

logias de geração com menor impacto ambiental e tecnologias para gestão local (*behind-the-meter*), de consumo e disponibilidade/capacidade.

- As mudanças tecnológicas têm potencial para mudar a forma de medição, controle e compra de serviços.
- Consumidores (incluindo os consumidores finais e não apenas geradores distribuídos) estão interessados em preço de tarifas de energia previsíveis, seguras, mas há dificuldade quanto à termos e conhecimentos específicos do setor elétrico.
- Os impactos ambientais causados pela geração da energia que consomem são pontos de atenção para consumidores e geradores distribuídos.
- Os valores médios da tarifa de energia elétrica para consumidores de menor escala devem continuar sujeitos a regulação econômica e monitorados no médio prazo. As taxas de retorno das empresas do setor de energia continuarão efetivamente limitadas, e seu papel na nova configuração da rede deve ser discutido.
- A estrutura dos preços da energia também continuará sujeita à supervisão regulatória e, portanto, a margem para maior discriminação de preços será limitada, por parte dos atores regulados. Certos tipos de discriminação de preços podem, inclusive, não ser permitidos.
- Os agentes reguladores estão céticos em relação às novas soluções tecnológicas que não oferecem benefícios comprovados ao cliente: tecnologias de fácil operação, com menor impacto ambiental ou mais segura, necessariamente, podem não ser viáveis sob o viés econômico.
- Os agentes reguladores também devem ter postura crítica quanto emprego de modelos de negócios que inviabilizem novas tecnologias e a escalabilidade de soluções voltadas ao atendimento de demandas em grande escala.
- Os riscos de não atendimento das expectativas em relação ao alto investimento inicial necessário são altos para infraestruturas no setor elétrico.
- A substituição de infraestrutura pode gerar equipamentos físicos descartados em excesso, o que impõe discussões acerca de descarte e cadeia de logística reversa para consumidores, fornecedores e fabricantes, e segunda-vida de equipamentos.
- Espera-se que o setor elétrico utilize tecnologias que facilitem a comunicação e conectividade, dado o perfil de risco-retorno vinculado à consumidores, ainda que essas inovações sejam custosas.

- Modelos de negócios para novos atores podem os desobrigar a prestar serviços padronizados, tarifas mínimas de uso de rede, o que permite que estes evitem custos fixos em seus modelos de negócios.
- Combustíveis fósseis permitem armazenamento fácil, flexível e, comparativamente, barato em relação aos demais sistemas de armazenamento conhecidos e já implantados no setor elétrico.
- Armazenamento de energia, isoladamente, não é algo demandado como um bem/serviço de consumo final. Assim, armazenamento de energia, em si, precisa ser avaliado e ter definida uma proposta de valor.
- Custos fixos iniciais das tecnologias de armazenamento ainda são altos, o que ainda demanda estudos de viabilidade econômica e análises de acessibilidade.
- Armazenamento de energia elétrica independente possui custos mais elevados, principalmente se não há escala.
- O desenho do mercado e parâmetros regulatórios e legais têm muita importância nos modelos de negócios focados para a inclusão de BESS, especialmente em questões de custos e carga-descarga das baterias.
- Aplicações que demandem mais ciclos de armazenamento podem ser mais rentáveis do que aplicações de armazenamento sazonal, devidos aos ainda altos custos de capital para soluções de armazenamento, especialmente se comparados com as tarifas.
- Quanto maior a capacidade de armazenamento, menor o custo de unidades de armazenamento adicionais - custo marginal-, ou seja, para casos de menor capacidade o potencial de otimização que o sistema de armazenamento pode oferecer cai.
- O valor de sistemas de armazenamento de energia depende dos demais serviços agregados, como exemplo da demanda (máximas e mínimas) requerida pelas cargas.
- Se o sistema de armazenamento de energia elétrica está competindo com sistemas com fonte de base fóssil, os custos tenderão a favorecer os sistemas que empregam combustíveis fósseis para a geração de energia.

A caracterização do plano de negócios considera quatro dimensões fundamentais. A primeira é a definição do *cliente*, estabelecendo quais os grupos devem ser priorizados e quais devem ser interpelados para a oferta dos serviços e produtos, que determinam o que é ofertado

ao cliente e qual a *proposta de valor* para atender as necessidades e demandas dos clientes-alvo. A produção das ofertas para esses clientes determina a *cadeia de valor*, que representa o conjunto de atividades e processos desempenhados pelos responsáveis pelo empreendimento, e em diversas fases da cadeia de produção, para analisar o desempenho e possibilidades de diferenciação do negócio. Por fim, a dimensão relativa aos possíveis ganhos, ou *lucro*, inclui aspectos como estrutura de custos e mecanismos de geração de receita, esclarece o que torna um modelo de negócio financeiramente viável. Esta última dimensão responde às questões relativas ao atendimento das expectativas dos atores e consumidores.

A inovação para um plano de negócios demanda que essas dimensões sejam definidas e alteradas igualmente, quando necessário, de forma a buscar um equilíbrio entre todas as dimensões estabelecidas. Esse equilíbrio ocorre porque a inovação de um plano de negócios demanda maior esforço por parte dos envolvidos pois uma inovação significativa em uma das dimensões causa alterações e novas definições para todas as demais dimensões consideradas. A definição dos quatro pontos será apresentada a seguir, visando responder para quem o serviço ou produto deverá ser destinado, isto é, o consumidor alvo, o que será disponibilizado, como serão disponibilizados os serviços e/ou produtos e porque oferecer esses serviços e como gerar um valor.

O principal objetivo da modelagem do modelo de negócios é viabilizar o acesso a BESS, reduzindo custos relativos à serviços baseados em energia elétrica e a substituição do uso intensivo do Gerador Diesel nos períodos de energia mais cara por um BESS. A entrada de consumidores com o foco na viabilidade de redução de custos para o gerenciamento do negócio – portanto, a continuidade do negócio- é analisada sob a perspectiva da operação do BESS, com a redução de impactos ambientais negativos como um dos aspectos positivos para o sistema.

O levantamento de pontos relevantes à construção de um modelo se torna a descrição de como permitir que o serviço seja disponibilizado para o consumidor-alvo. As próximas subseções irão apresentar propostas para esses questionamentos, sempre com base no objetivo delimitado e nas informações acerca do desenvolvimento e configuração do setor elétrico, especialmente para o Brasil. Os estudos de viabilidade técnico-econômica auxiliam na delimitação dos parâmetros, uma vez que apontam de onde virá a receita e se os custos empregados para a implantação do BESS facilitam ou inibem a ação de interessados. No entanto, com o foco em fornecer serviços que auxiliem na redução de impactos ambientais negativos, os estudos sociais e ambientais também devem ser considerados como rendas para esse estudo.

5.1.1.1 Para quem desenvolver a solução - Cliente

Este tópico tem como objetivo responder à pergunta relacionada a quem se destina a solução desenvolvida. A definição de quem é o consumidor-alvo da solução direciona o modelo e possibilita a avaliação de como motivar interessados no setor.

Muitos optam por aderir ao uso de sistemas Geradores a Diesel durante os horários em que a energia tem custo mais elevado; no entanto, é de conhecimento geral que a emissão de carbono por esse tipo de sistema é elevada, contribuindo assim para o aumento de impactos negativos ao meio ambiente. Aliado a esse fator, os custos de manutenção de operação de um sistema desse tipo também são relevantes: consumo de combustível pelo moto gerador é também fator de custo relevante. Para uma eficiência de conversão de 35%, o gerador consome em média 0,29 litros de óleo por kWh, ou cerca de 3,5 kWh por litro.

O uso de Geradores a Diesel como alternativa durante o horário de ponta é, portanto, também um fator de custo expressivo para esse consumidor, como aponta o estudo de viabilidade econômica em 7.1.2.2. Como aponta a análise para consumidores que empregam o Gerador a Diesel como substituto da energia fornecida pela rede durante o horário de ponta, há uma quantidade significativa de consumidores que empregam o gerador como forma de reduzir custos, e são definidos como Geradores Distribuídos, cabendo todas as obrigações e decisões referentes à entrada em operação com um caráter individual.

É um fator determinante as tarifas e como eles incidem sobre o padrão de consumo de tamanho da infraestrutura exigida para suprir esse consumidor. Consumidores na baixa tensão, que não estão sujeitos a tarifas de ponta – incidência de tarifa monômnia - não têm benefícios econômicos para os serviços de Arbitragem Tarifária, e a menor capacidade de geração pode implicar em altos custos iniciais e pouco retorno, dadas as condições de uso; para esse público, o benefício ambiental e social poderia ser apresentado como uma solução e incentivo à participação no setor elétrico.

Consumidores com tarifas distintas para o horário de pico e fora do horário de pico seriam as mais motivadas a adotar O BESS como forma de reduzir os custos. Consumidores tarifados da tarifa horo sazonal azul também poderiam ser um foco, mas ao optar pela operação como um gerador distribuído na ponta migram para a tarifação horo sazonal verde. A razão é a aplicação de apenas uma tarifa de demanda para a tarifação e na tarifação de demanda na ponta e fora da ponta para a azul; esse fato tende a inibir a solução da geração distribuída, uma vez que o custo da contratação de demanda na ponta é consideravelmente superior ao custo de contratação de demanda fora da ponta.

Consumidores tarifados na tarifa horo sazonal verde, consumidores de média tensão - conectados à rede de 2,3kV a 25kV - e demanda contratada acima de 300kW são, assim, o foco de soluções tecnológicas para novas fontes de geração de energia. O perfil de consumidor com maior potencial de investimentos em novas fontes e capacidade de operação e gerenciamento destas fontes tornam, assim esses consumidores qualificáveis para a implantação e operação do BESS.

Aliados à questão técnica, a segurança no fornecimento – qualidade de energia - e controle dos fatores que compõem o custo com energia elétrica também habilitam esse perfil de consumidor. Dado o estágio da tecnologia, restringir o segmento de clientes à interessados na tecnologia pode limitar o desenvolvimento de um modelo de negócios. Como será discutido posteriormente, dado que os custos para a aquisição desse tipo de sistema ainda são muito alto, uma alternativa seria desenvolver questões quanto à segurança do fornecimento, organização de um novo mercado para a venda da capacidade e uso comunitário do BESS – essas últimas possibilidades não serão contempladas nessa tese.

5.1.1.2 Quanto custa o serviço e acesso à infraestrutura necessária

Este tópico tem como objetivo descrever a parte de custos para o acesso ao BESS, apresentando como o serviço poderia ser viável ao consumidor. Aqui será descrito, dessa forma, os custos para a aquisição de um sistema baseado em BESS com capacidade para atender à demanda de um consumidor do tipo comercial ou pequena indústria, e se há um caminho para que ele possa ser disponibilizado para consumidores com o perfil definido.

O setor elétrico brasileiro tem uma estrutura que permite a conexão de micro e minigeradores distribuídos, graças à regulação existente no país. Aliado a esse fator, a matriz energética brasileira é considerada renovável e em relativa expansão. Ainda há dúvidas quanto a compensação financeira de serviços fornecidos por micro e minigeradores, mas algumas regras técnicas atualmente permitem a adesão do consumidor como gerador distribuído.

A relativa estruturação do setor nacional, aliada à proximidade com reservas de lítio, expectativa quanto ao aumento de veículos elétricos e novos geradores distribuídos – inclusive com discussão da compensação desses interessados em trâmite e discussões técnicas relevantes à viabilidade de BESS em curso. Aliado a esses fatores, a ampliação de novos geradores pode ampliar a segurança do sistema, já que causa a redução de demanda por infraestrutura, e, conseqüentemente, redução de custos para diferentes agentes do setor.

O BESS pode ser classificado como antes do medidor de energia elétrica (do inglês, *Front-of-the-meter*), e depois do medidor de energia elétrica (do inglês, *Behind-the-meter*). Toda a

instalação depois do medidor de energia não pode ser gerida pela distribuidora, e a operação e gerenciamento desses sistemas depende dos objetivos do consumidor. Como aplicações desses sistemas, destacam-se a Arbitragem Tarifária, ou deslocamento da energia no tempo (*time-shifting*), capacidade adicional de fornecimento, integração da geração nas fontes renováveis e serviços ancilares. Abaixo, uma breve explicação dos serviços listados.

- Arbitragem Tarifária é um serviço focado em armazenar a energia no horário em que o recurso tem menor custo e despachar a energia em períodos em que a energia tem maior custo. Atualmente, um volume significativo de clientes utiliza este serviço empregando Geradores Diesel no horário de ponta.
- Capacidade Adicional de Fornecimento é um serviço em que os sistemas de armazenamento podem ser utilizados para adiar investimentos em reforço da rede. Em períodos de alta demanda – esse período deve ser relativamente curto –, o sistema de armazenamento supre a energia demandada durante este intervalo, evitando a ampliação da rede ou a contratação de energia adicional.
- Integração da geração por fontes renováveis e intermitentes reduz os riscos inerentes à intermitência de fontes primárias, permitindo acumular a energia gerada por fontes solares e eólicas em momento de menor demanda ou maior produção, e despacha a energia em momentos com maior necessidade de fornecimento. Dessa forma, os sistemas de armazenamento promovem o balanceamento entre a demanda e o fornecimento de energia elétrica.
- Serviços Ancilares são aqueles que promovem o suporte à operação dos sistemas elétricos de potência, ampliando a estabilidade dinâmica, a capacidade de suprimento e a confiabilidade. As principais aplicações com estas características são o controle de tensão e frequência, reserva girante/reserva suplementar e controle de intercâmbios. Esses serviços podem ser mais direcionados para consumidores, promovendo a escalabilidade do sistema. Esses serviços, portanto, são fontes de receita para consumidores e derivam daqueles descritos anteriormente.
- A redução de ponta de carga armazena a energia quando há maior disponibilidade, e despacha a energia em períodos de maior restrição; neste caso, há a redução da demanda contratada para consumidores com picos de consumo de curta duração.
- A Arbitragem Tarifária permite que a energia seja armazenada em períodos de menor custo e despachadas quando o recurso possui maior custo. Esse serviço é comumente associado à redução de carga, e permite a redução da demanda contratada no horário de

ponta, quando a energia tem custo elevado, ou a substituição de geradores a Diesel para clientes que substituem a contratação de demanda na ponta por geração própria.

- No deslocamento de consumo, a energia é armazenada em períodos de maior produção e despachada quando há demanda.
- A confiabilidade estabelece que a energia seja armazenada para ser empregada em períodos de indisponibilidade no fornecimento, ou seja, atuando como backup. Em alguns casos, esse tipo de serviço é obrigatório, como hospitais e centros cirúrgicos, que são locais onde fontes de energia de emergência devem assegurar a continuidade do funcionamento de equipamentos vitais utilizados para o atendimento aos pacientes em caso de interrupção do suprimento.
- O suprimento de picos de demanda de potência é comum em sistemas de tração elétrica ou em indústrias com cargas de grande inércia, onde as partidas da carga exigem elevados picos de potência. Os BESS podem suprir estes picos de curta duração, reduzindo a demanda de energia da rede e a sobrecarga dela.
- A suavização de oscilações de potência é aplicada quando uma fonte de energia é incapaz de fornecer uma saída constante de potência.
- O suprimento contínuo de energia em sistemas isolados, isto é, aqueles não conectados ao SIN e localizados em áreas remotas, pode empregar o BESS para assegurar a continuidade do fornecimento ou ampliar as vantagens de fontes intermitentes de energia.
- Qualidade adicional para processos industriais sensíveis se refere a processos com elevado nível de automação e sensíveis a oscilações e afundamentos de tensão, decorrentes de distúrbios naturais do sistema elétrico.

Ainda que os estudos apontem um alto número de consumidores que empregam fontes próprias durante o horário de pico, o fornecimento de serviços baseados em energia elétrica, como é o caso de usinas termoelétricas, não é a principal fonte de renda desse grupo. Assim, o investimento em ativos próprios e os serviços que os consumidores empregarão não são necessariamente incorporados ao valor do negócio empreendido. Dessa forma, perdas com a aquisição e operação/manutenção não devem ser incorporadas ao modelo de geração de valor desses locais, visto que não são parâmetros gerenciáveis dentro do próprio negócio.

A disponibilidade dos serviços deve ser assegurada para esses consumidores, assegurando que paradas e perdas sejam minimizadas. Dessa forma, os serviços anteriormente mencionados,

mesmo que fontes de compensação financeira para o consumidor, não precisam ser, necessariamente, fonte de renda para o negócio. O equilíbrio entre o custo, operação e manutenção do sistema e o fornecimento de serviços que permitam a continuidade do negócio deve, portanto, ser incorporado aos custos de operação do local.

A avaliação dos custos para a aquisição, operação e manutenção do sistema reflete o quanto será gasto no processo. Os altos custos para a aquisição e manutenção do BESS pode inviabilizar o acesso de consumidores, como será apontado no Estudo de Caso. A variável econômica que mostra a taxa de retorno do investimento é sempre negativa com 95% de probabilidade, apontando que a soma dos fluxos de caixa futuros é inferior ao investimento inicial para a aquisição de um gerador Diesel e emprego da energia da rede.

O trabalho de viabilidade possui viés técnico e econômico, e demonstra por avaliação entre o investimento inicial, custos de operação e manutenção, e a expectativa de redução de custos a acessibilidade, e, portanto, essa composição de gastos não será novamente descrita nessa seção. Desta análise, é possível depreender que o país carece de programas de incentivos para que consumidores possam ter acesso à infraestrutura que permita a sua continuidade de negócios e a redução dos impactos ambientais negativos que a atividade causa.

Parâmetros ambientais e sociais não devem ser empregados para verificar custos financeiros para os consumidores, mas apontar que há critérios que dão suporte à viabilidade do BESS sob vieses que interessam o bem-estar e a redução de impactos negativos.

5.1.1.3 Como agregar interessados e implementar a solução

Esse tópico tem como objetivo descrever como a determinada solução deverá ser implantada, destacando canais e métodos de engajamento dos consumidores-alvo, apresentando, assim, quais recursos, atividades e parceiros devem ser empregados para viabilizar a solução.

O fato de o setor elétrico operar como monopólio natural cria um canal momentâneo com os clientes: uma vez que conhecimento da localização e dados de consumo desses consumidores pode ser mais facilmente obtida dada a aproximação “forçada” que o próprio mercado cria. Para ter acesso a clientes, são duas as possibilidades: canais diretos ou particulares, que é feita por uma equipe própria e exige maior estrutura para o preparo e estruturação dessa equipe, ou canais indiretos ou parceiros, em que o canal com o cliente é feito por canais de parceiros e distribuidores.

A escolha do canal depende do tipo de negócio que se pretende construir, mas deve-se considerar os hábitos e práticas de compra dos clientes, estudar os canais de venda existente

com esses clientes, qual o custo de estruturar esse canal dentro dos custos para a montagem do negócio, e verificar a complexidade dos canais e parceiros para a montagem do negócio pretendido.

Os canais são vinculados à demanda de serviços dentro do plano esperado para o BESS, em que a complexidade da tecnologia e barreiras com fornecedores demanda conhecimento técnico para todo o processo de comunicação com o cliente. Os serviços que serão disponibilizados aos consumidores não são focados na tecnologia em si, mas devem estar vinculados com todas as oportunidades e benefícios que os serviços a serem fornecidos poderão agregar.

Esse tipo de venda exige proximidade com o cliente, o que implica em alta agregação de valor ao atendimento, inclusive o pós-compra, indicação de oportunidades, treinamentos e manutenção. Dado o estágio de implantação do BESS, é importante que também sejam definidas métricas que permitam medir o sucesso do negócio e comprovar que a abordagem com o cliente, inclusive a quantidade e qualidade de informações coletada, são suficientes para a consolidação da nova proposta ou se a estratégia de comunicação deve mudar.

É perceptível que a vantagem da posição da distribuidora contribui para a comunicação direta com o consumidor, criando um canal de vendas direta. Esse canal fortalece a conscientização desses consumidores para as vantagens e entender as reais necessidades desse grupo. Essa etapa de comunicação depende do alto-nível de informações coletadas e do nível de formação da equipe responsável.

A comunicação também permite que o consumidor possa avaliar a validade, e verificar as vantagens que o BESS e sua operação podem trazer para a continuidade do seu negócio. Dependendo do tipo de negócio, um período de teste pode ser oferecido a esse cliente, mas dado o tamanho e a complexidade do BESS, simulações e exemplos anteriores podem colaborar com a etapa de avaliação.

A aquisição do BESS deve ter um canal facilitado, de forma a viabilizar o acesso e esse processo para o cliente. Uma vez que a opção de venda direta é sugerida, a venda pessoalmente com apoio online constante é uma opção segura. O canal de entrega não é pertencente à empresa que vende o BESS, uma vez que o negócio principal da distribuidora não é o fornecimento de equipamentos; no entanto, aqui entra a complexidade da entrega do sistema, responsabilidade da equipe de vendas. Nesse caso, a parceria com fornecedores e fabricantes de equipamentos deve ser fortalecida.

O tempo acordado entre os parceiros escolhidos e o consumidor devem ser assegurados, não criando expectativas. Esse tempo também deve incluir a implantação e comissionamento do sistema, o apoio na utilização (sistemas de gerenciamento), e solicitação de respostas quanto

ao atendimento, produto e serviços fornecidos.

5.1.1.4 Proposta de valor para o BESS

Esse tópico tem como objetivo descrever o que é a solução, destacando, assim, qual o valor que esse sistema poderá apresentar para os consumidores-alvo. O valor tem uma perspectiva econômica, mas os ganhos ambientais devem ser destacados para essa solução também.

As rotas para que esses sistemas sejam disponibilizados a interessados, independentemente do tamanho da instalação, ainda não estão bem definidas, o que impacta em como ter acesso e assegurar a comunicação entre fornecedores e clientes. Os altos custos de manutenção também são barreiras significativas para esses consumidores, e a indefinição de programas de incentivos também dificultam a construção de planos para a condução de negócios estruturados para essa tecnologia.

Os serviços já estruturados e detalhados anteriormente são aqueles em que é possível gerar o valor para o consumidor. Valor, nesse caso, será definido como os ganhos que podem ser obtidos com a implantação e operação do BESS, e como resultado a manutenção dos negócios por meio de atenuação dos custos de serviços baseados em energia elétrica. Dessa forma, a expectativa de redução de custos e impactos negativos no meio-ambiente, e a continuidade dos negócios são valores que podem ser postos aos consumidores.

O valor agregado, nesse caso, também está vinculado à credibilidade e confiança em relação aos prestadores de serviço – também incluídos os parceiros – e a percepção de que um serviço de alta qualidade está sendo oferecido. Assim, o valor não é dependente da tecnologia envolvida, somente, mas também da qualidade do serviço em geral que é oferecido. A tecnologia envolvida é um complemento do serviço e o diferencial que permite fidelizar e construir um contato diferenciado com os consumidores.

O conhecimento dos objetivos e dos interesses desses consumidores permite, assim, determinar os preços para a aquisição do serviço fornecido, cujos custos para esse grupo não podem aumentar o custo de operação do negócio, mas o complementar. O BESS e seus serviços devem complementar aqueles já disponíveis, melhorando a qualidade e fornecendo uma nova experiência para esses consumidores.

Com o objetivo de fortalecer essa experiência, em relação à operação e condução do negócio, os parceiros escolhidos para viabilizar o sistema devem permitir que o serviço oferecido seja fortalecido, ajudando a construção de um novo ramo em conjunto. Os parceiros, nesse caso, referem-se diretamente ao fornecimento da infraestrutura requerida, já que esse não é o negócio

da distribuidora. Esses parceiros ajudam a aumentar o valor agregado do serviço, ampliando a rede de comunicação e o alcance.

Esses fornecedores devem estar alinhados com os objetivos e estratégias da empresa que oferecerá o sistema, auxiliando a compor o modelo e o canal mais adequados para a definição do serviço a ser ofertado. A entrada de parceiros aumenta a complexidade do processo, obrigando a pensar em estratégias de treinamento, cadeia de suporte e gerenciamento de conflitos. No caso do BESS, esse tipo de parceria se torna obrigatória dado o perfil da empresa que irá fornecer o serviço de não provedora de infraestrutura, e a cadeia iniciante de fornecedores e fabricantes.

Essa parceria pode aumentar o controle do acesso à toda a infraestrutura, mas reduz a previsibilidade do fornecimento e ações dos parceiros na cadeia completa de venda do serviço. Aliado a esse ponto, essa parceria poderá fortalecer a cadeia de fornecimento e o acesso aos canais e crescimento do negócio; a resolução de dificuldades também pode ser ampliada, já que o fornecedor e fabricante tem o conhecimento da tecnologia e podem ajudar na formação da equipe técnica.

Como modelo de formação de canais, é sugerida a combinação dos modelos de geração de oportunidades (modelo afiliado), implementador e com valor-agregado. O primeiro modelo permite que o sistema seja indicado para a base de clientes já existente de cada parceiro do negócio, aproveitando o conhecimento qualificado. Uma vez que os parceiros têm conhecimento partes do público interessado e fornecedores, um acordo poderia ampliar o alcance para todos os vinculados no modelo proposto. Assim, os consumidores podem ser comunicados dos avanços da tecnologia, auxiliando no processo de formação, gerando a demanda e ampliando a capilaridade para o serviço,

O modelo implementador complementa o anterior dado o aproveitamento do conhecimento de todos os fornecedores da cadeia de parcerias, reduzindo a complexidade e aumentando a capacidade da geração de valor frente ao cliente, desde os estágios iniciais. Uma vez que a viabilização do BESS depende de conhecimento do funcionamento do negócio e das estratégias dos consumidores, o que obriga ao atendimento específico individual e consequente alta customização do sistema.

Esse tipo de parceiro permite reduzir a complexidade das etapas de venda e implantação do produto no local, mas também assegura um atendimento adequado para a etapa de pós-venda. Dada a complexidade dos BESS, esse ponto colabora para a formação de equipes especializadas, aumentando os índices sociais citados em outros trabalhos.

Os parceiros de valor agregado, por fim, auxiliam na retenção do cliente, dada a sua capacitação técnica para operar o sistema e prestar serviços complementares. Esses parceiros

contribuem com a redução de custos de operação, e aumentam o valor agregado do serviço, uma vez que o aprimoram.

Abaixo, a Figura 9 mostra as respostas apontadas para cada ponto descrito anteriormente e organizada para um modelo Canvas. A figura destaca alguns pontos apresentados nesta sessão, baseado nas informações relevantes e composição de mercado.

Figura 9: Organização dos parâmetros Canvas no modelo

Parcerias principais Empresa fornecedora da solução multi-fontes e suas parceiras.	Atividades principais Continuidade de negócios com solução de menor impacto ambiental	Proposta de valor Redução de impactos ambientais negativos. Redução de custos relacionados à serviços baseados em energia elétrica. Experiência com sistema tecnológico avançado.	Relacionamento com os clientes Melhoria da experiência. Redução de impactos ambientais.	Segmento de clientes Consumidores conectados à rede de Média Tensão e com tarifa do tipo binômia.
	Recursos principais Sistema com multi-fontes energéticas. Serviço de manutenção. Atendimento pós-venda.		Canais Venda direta com a fornecedora da solução Multi-fontes, especializada e com alto valor agregado	
Estrutura de custos Compra de solução de sistemas multi-fontes (customização da solução e fornecimento do equipamento diretamente com a empresa fornecedora da solução) Custo de manutenção e operação mensais			Fontes de receitas Não há receita com a venda de serviços baseados no armazenamento. Redução de custos com energia elétrica.	

Fonte: [GEPEA, 2021a]

5.2 Avaliação de *Benchmarking*

Baseados nos pontos levantados, essa seção tem como foco descrever as possíveis etapas para um *Benchmarking*. Os próximos pontos buscam levantar fatores que devem ser considerados durante a definição de um *Benchmarking* que visa a inserção de uma nova tecnologia para o setor elétrico. A descrição de algumas etapas é adaptada para o processo atual.

Os pontos devem estabelecer um plano para a realização de um *Benchmarking*, definindo quais estágios devem ser considerados no planejamento. Essas etapas podem não ser seguidas, dado o tempo e interesse da empresa que está sendo analisada; no entanto, dado o levantamento anterior, essas etapas são importantes para construir a comunicação entre áreas análises e equipe responsável.

Definir qual o objetivo a ser analisado Esse objetivo deve ser estabelecido de forma a ser possível determinar medidas e métricas para medir as lacunas e oportunidades existen-

tes, e apontar fatores que permitam implantar ou superar possíveis barreiras encontradas. Esse objetivo também deve estar alinhado à cultura da empresa analisada e refletir as prioridades e pontos de interesse para líderes e gerentes do local.

Esse objetivo deve permitir que metas relacionadas ao meio ambiente possam ser associadas, além de metas financeiras e econômicas. Dado o caráter de descarbonização do setor elétrico, metas mais vinculadas à redução da emissão de carbono e associada às práticas de eficiência e/ou tecnologias devem ser consideradas como um objetivo para o setor elétrico. Dessa forma, as melhorias poderiam ser contabilizadas por meio de parâmetros mais próximos à fatores sociais e ambientais.

Definição de lideranças associadas ao objetivo definido Os líderes devem refletir não apenas os interesses da empresa analisada, mas também serem favoráveis ao objetivo imposto. Esses parâmetros ajudam na construção da equipe que irá fazer a análise e na identificação dos dados necessários para o *Benchmarking*, mas também amplia o suporte aos envolvidos no processo.

O suporte desse líder deve permitir a identificação das oportunidades relacionadas à performance e quais os benefícios para a empresa. Esse processo dependerá do processo de avaliação do serviço a ser analisado, e quais as novas funções são esperadas para esse serviço dentro da organização. O líder, portanto, deverá ser aquele que irá unir informações anteriores, aplicando o conhecimento histórico de funcionamento do serviço, e definir estratégias de coleta de dados e métricas para a análise e ações necessárias.

A coleta de informações e a definição da estratégia de análise deve permitir a comparação da performance entre as empresas competidoras e a empresa analisada, inclusive quanto à comparação de padrões e tendências, aspectos técnicos e legais, relacionados à performance e operação, e determinar o potencial das melhorias desejadas. O líder deve, portanto, compreender a contribuição almejada, desenvolver uma perspectiva histórica e um contexto futuro, e estabelecer pontos para a medição e gerenciamento das ações aplicadas.

Esse líder também deve ser capaz de estabelecer os objetivos e métricas de acordo com os níveis organizacionais, admitindo que o compromisso pode ser assumido como uma missão de todos os níveis da empresa. Dessa forma, as métricas não devem ser apenas organizacionais, mas envolver setores técnicos, mesmo para métricas relacionadas às melhorias ambientais. Dessa forma, os objetivos poderão ser universais e mais bem compreendidos e aceitos por todos, colaborando para o estabelecimento de incentivos concretos.

Definição de ferramenta para a análise Como o próprio título define, uma ferramenta deve ser escolhida para a análise pretendida. Essa ferramenta deve auxiliar na organização dos dados levantados durante o processo de *Benchmarking*, possibilitando a sua classificação, e a enumeração das métricas e definição de responsáveis.

A maior parte das ferramentas existentes para o *Benchmarking* é focada em marketing, uma vez que essa análise deriva dessa área. A análise será feita de maneira qualitativa e sem auxílio de ferramentas externas. Assim, serão identificadas as lacunas e oportunidades para a viabilidade de BESS e apresentados alguns pontos de solução.

O emprego de uma ferramenta “caseira” e a análise simplificada da viabilidade do sistema permitem classificar o *Benchmarking* como uma ferramenta genérica, isto é, é apresentado o processo de aquisição de uma bateria e a análise de aspectos funcionais desse processo.

Definição do método de coleta de dados e processo de apuração Os dados coletados devem auxiliar na compreensão dos fatores que possam afetar a performance ou identificar os passos importante para atingir o objetivo pretendido. As análises devem compreender estudos qualitativos, o desenvolvimento de perfis de interessados na tecnologia, incluindo perfis de consumidores, comparação de performance, impactos econômicos, financeiros, ambientais e social. Nessa etapa, deve-se avaliar quais dados poderiam ser analisados, mas o grupo não possui acesso.

Determinar técnicas de avaliação Após a definição de quais pontos deverão ser considerados para melhorar a performance ou superar as lacunas apresentadas para o processo, a equipe deverá determinar quais métricas serão empregadas para avaliar a implementação das melhorias apontadas.

Avaliação da técnica de análise aplicada e planejamento da mudança Após o levantamento de todos os pontos essenciais para a análise pretendida, isto é, todas as lacunas e oportunidades para a empresa, e a determinação das medidas que serão aplicadas, a equipe responsável deve definir quais os parâmetros que deverão ser verificados para comprovar a eficácia. A comprovação ou não da eficácia deve ser feita por medições periódicas.

As medições irão apontar para a equipe responsável pela análise se os parâmetros levantados estão preenchendo as lacunas e melhorando os índices de performance. A periodicidade aponta que o *Benchmarking* não é um processo que se encerra na implantação das medidas levantadas, mas que carece de continuidade, que deve ser vista como uma busca contínua por uma melhor performance ou resolução de problemas dentro da empresa analisada. Esse processo de continuidade, portanto, visa avaliar as técnicas adotadas

pela equipe responsável e apontar ajustes necessários; os ajustes dependem das métricas delimitadas por essa equipe. No caso do setor elétrico e de projetos com foco em redução de impactos ambientais, a medição da energia e como essa energia é fornecida deve ser considerada como uma métrica para a equipe responsável, mas também a infraestrutura da empresa analisada e, caso exista, geração distribuída deve ser métrica constantemente estudadas.

Para o setor, o ciclo de vida da infraestrutura, manutenção, confiabilidade e segurança do sistema devem ser considerados, bem como o descarte dessas fontes. Os processos tecnológicos que podem suceder no próprio setor, como o caso do BESS, reforçam que o processo de análise deve ser dinâmico, uma vez que as próprias tecnologias não são estáticas e seu aprimoramento deve ser considerado durante o processo.

Comunicação e formalização do processo A análise deve ser oficializada, após a finalização das etapas acima descritas, e para uma audiência selecionada e interessada na implantação dos pontos analisados. Um canal de comunicação com essa audiência deve ser criado, com o foco em conscientizar sobre o programa estabelecido e quais os objetivos e iniciativas determinados após a análise. Essa comunicação deve criar um acesso à toda informação da análise, possibilitando a troca de práticas, procedimentos, tecnologias aplicadas, e lições aprendidas; a comunicação pode ser, em adição, um processo de treinamento para os interessados, uma vez que a troca de aprendizado é prevista.

Para isso, a comunicação deve ser oficialmente divulgada aos interessados e envolvidos por meio de um documento oficializado. Esse documento deve conter qual o plano de ação delimitado durante o *Benchmarking* e quais as métricas que permitam controlar e monitorar o progresso da análise. Não há um formato oficial para que esse documento seja entregue, o ponto importante nessa etapa é formalizar a comunicação entre os interessados e os envolvidos.

Planejar a mudança Os dados e resultados obtidos durante toda a análise devem ser empregados para determinar as metas para a empresa selecionada. Nesse ponto, os dados devem auxiliar no gerenciamento das mudanças planejadas, apontando quais os novos direcionamentos e quais os parâmetros adaptados com sucesso após a implementação da análise. Nessa etapa, os objetivos iniciais e as métricas de análise devem ser comparados aos dados dos concorrentes, ou dados de base, para verificar se os objetivos estão sendo satisfeitos. Os dados e métricas devem se referir à objetivos relativos aos custos, eficiência dos serviços utilizados, padrão de operação, e mudanças no padrão de consumo de energia elétrica. No caso de projetos com focos em novas tecnologias e redução de impactos

ambientais, o balanceamento entre as métricas citadas, especialmente em relação aos custos, deve ser feito. Nesses casos, os benefícios ao meio-ambiente e sociais devem ser ressaltados como pontos vitais para a condução desse tipo de projeto.

O *Benchmarking* para a viabilidade dos sistemas no Brasil, analisando pontos-chave descritos nas seções anteriores e concernentes à viabilidade de tecnologias que permitam a um consumidor com tarifa binômica a reduzir custos e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais negativos quanto ao funcionamento do negócio.

Para isso, serão apresentadas oportunidades e lacunas, destacando parâmetros relevantes à funcionalidade de admitir uma nova tecnologia para esse tipo de consumidor: com a restrição de concorrentes, dados os custos altos para a compra de tecnologias de BESS, o objetivo é viabilizar esses sistemas, contribuindo para o planejamento estratégico e direcionando diretrizes de negócios. Assim, o viés econômico para a compra e operação, operação e gerenciamento desses equipamentos, viés ambiental e social, viés regulatório são considerados pontos-chaves para essa análise. Os pontos analisados estão descritos por meio das análises anteriores; assim, cada capítulo contribui com a viabilização do BESS e simula membros da equipe técnica que colaboram com a análise de *Benchmarking* da tecnologia. Essa decisão auxilia no levantamento de diferentes pontos de vistas, desde técnicos até ambientais, como é recomendado para esse tipo de análise.

5.2.1 Viés Tecnológico

Nesse tópico, são analisadas as questões relacionadas à viabilidade de BESS enquanto tecnologia. São avaliadas as questões referentes à pontos de atenção de funcionamento, operação, segurança e evolução enquanto tecnologia para o setor elétrico. É de conhecimento geral que o processo de desenvolvimento e industrialização de tecnologias exige investimentos altos, sobretudo com pesquisas para o desenvolvimento dessa tecnologia. Ao atingir determinada fase em que os custos de produção e os riscos intrínsecos ao uso da tecnologia se tornam viáveis para a indústria e consumidores, ela estaria apta para a oferta ao público. Esse desenvolvimento gera diversos ramos dentro da própria tecnologia, uma fragmentação natural, que implica em diversas possibilidades de uso, mas também origina em diversificação da demanda e redução de ganhos de escala.

No caso de sistemas de armazenamento, o destaque é o atual estágio de desenvolvimento das baterias, que permite que a indústria possa oferecer em maior escala o sistema, mas também implica em riscos inerentes à implantação de uma nova tecnologia. Dessa forma, os altos

investimentos para a fabricação e compra das baterias ainda são um fator de risco para os interessados na tecnologia, mas determina que, a curto ou médio prazo, é baixa a probabilidade de ocorrer o surgimento de uma tecnologia mais apropriada ao momento do que o armazenamento. Dessa forma, a tecnologia ainda é incipiente em adoção em larga escala, ainda que em desenvolvimento há tempos, mas o estágio atual de evolução permite garantir que seu uso ainda será tópico de interesse no futuro próximo.

O fornecedor e desenvolvedor de BESS localizado no Canadá, eCAMION [ECAMION,], foi sondado para apontar pontos importantes relativos ao desenvolvimento da tecnologia e a sua disponibilidade comercial. Esse ator apontou como oportunidades o desenvolvimento de soluções de hardware e software para a gestão, controle e segurança para a tecnologia; dado o estágio atual da tecnologia, a necessidade de gestão, controle e segurança para esse tipo de sistema ainda é muito importante e está em desenvolvimento; também foi salientado que essas soluções ainda exigem altos custos para quem adquire e para quem constrói esses sistemas.

Ainda assim, o desenvolvimento da tecnologia e os altos investimentos para o aprimoramento dos sistemas permite estimar que os custos para as soluções produzidas pela empresa reduzirão significativamente no futuro próximo. Essa redução permite focar em novos mercados além dos Estados Unidos e Canadá, inclusive para o Brasil. A diversificação na geração no país é vista como um ponto de interesse para a empresa, que estava solicitando apoio financeiro do governo canadense para o processo de internacionalização. O desenvolvimento de um relacionamento com empresas do setor elétrico brasileiro estava sendo desenvolvido, no entanto a divulgação e desenvolvimento de uma cadeia de fornecimento ainda era visto como um impasse para a empresa.

O interesse de desenvolver parcerias no país visava ampliar a representação da empresa no Brasil, divulgando os produtos e serviços vinculados que a empresa poderia fornecer. A empresa citou que a construção de parcerias e oportunidades no país era um problema, dada a dificuldade de contato e comunicação com interessados na tecnologia. Ainda durante essa viagem, foram compartilhadas as lacunas quanto à segurança para a implementação desses sistemas. Complementando a necessidade de sistemas de segurança e gestão, levantados pela empresa, as condições não previstas para alguns ambientes podem causar acidentes graves durante a operação do BESS; foram citados casos de incêndios e explosões com esses sistemas. Notadamente, o emprego desses sistemas enfrenta ressalvas para o ambiente urbano. Foi citada a necessidade de protocolos para testes desses sistemas, inclusive quais testes existem atualmente para verificar o funcionamento e empacotamento das células.

Há normas e recomendações para testes e controle desses sistemas, mas carece de testes

que atestem níveis de segurança mais alto, sempre focado em ambientes com alta circulação de pessoas. Além do desenvolvimento de sistemas que possibilitem o gerenciamento dessas tecnologias e o estabelecimento de uma regulação com foco na segurança e redução de riscos, foi citado a inclusão de grupos com conhecimento de prevenção e combate à acidentes na definição de protocolos, como os bombeiros.

Como complemento da necessidade de garantir a segurança do empreendimento, foi ressaltado que visitas e acompanhamento de todos os estágios de confecção e montagem, e implementação dos sistemas deve ser feito pela equipe responsável. A equipe canadense salientou que essa prática pode reduzir custos relacionados às soluções de problemas e ajustes futuros na instalação. Dessa forma, o conhecimento da equipe e de demais pesquisadores da área quanto à qualidade e dispositivos de segurança deve ser aprimorado; em complemento a solução para segurança e controle do BESS deve ter alto padrão de qualidade. Os dois fatos citados encarecem a operação do BESS, mas são vitais para que as soluções possam ser implementadas em diversas áreas.

O compartilhamento de informações também deve ser incentivado entre pesquisadores, fornecedores e colaboradores do setor. Ainda que as vantagens do BESS sejam claras, especialmente quanto à flexibilidade, inteligência e controle de outras tecnologias necessárias para uma nova etapa de desenvolvimento do setor elétrico. O custo do emprego do BESS ainda é alto para o Brasil, dado o estágio de desenvolvimento das tecnologias no país, pulverização de fornecedores, e custos para a internacionalização dos sistemas.

Há normas técnicas para sistemas estacionários, como a portaria INMETRO 004, para acumuladores de níquel-cádmio, e baterias de lítio de 48 Volts – ABNT 16145. Está em progresso normas para baterias de alta tensão ou sistemas completos, mas ainda sem previsão de publicação ao público interessado na tecnologia. Assim, há a complexidade de assegurar a segurança e qualidade desses equipamentos por parte dos fornecedores, ou a confecção de normas muito restritas por parte de órgãos reguladores, dado o receio dos efeitos desses sistemas em redes mais complexas.

O projeto desses sistemas, enquanto fase de dimensionamento e implantação, depende de características operativas próprias; caso essas características não sejam dimensionadas adequadamente, há a redução do desempenho e vida útil dos sistemas, impactando indiretamente os custos de operação e gerenciamento. A degradação natural é prevista e anunciada pelos fabricantes, e cabe durante a fase de projeto e implantação equilibrar as expectativas do gerador distribuído com a expectativa de perda de qualidade do sistema. Para a análise da confiabilidade e segurança do BESS, alguns pontos quanto à operação desses sistemas podem ser apreendidos.

Essa compreensão está alinhada aos pontos anteriormente levantados sobre a segurança e controle da infraestrutura, especialmente quanto ao funcionamento em conjunto com outras fontes de geração de energia.

A inclusão de BESS na rede amplia a confiabilidade no fornecimento da energia, especialmente quanto ao equilíbrio entre fornecimento e demanda, e qualidade de energia. No entanto, os efeitos desses sistemas, dado o estágio atual de uso da tecnologia, ainda carece de mais informações para verificar os seus efeitos, tanto na operação da rede quanto na operação de microrredes, visto sob a perspectiva do proprietário e operador.

Esses fatores aumentam a complexidade da operação e implicam em mudanças nos procedimentos das distribuidoras. Essa complexidade inclui tanto a previsão da carga na rede, quanto alteração de nível de proteção da rede. Dessa forma, a implantação dessa tecnologia altera o nível de confiabilidade da rede e da operação da microrrede por parte do gerador distribuído.

O estudo determinou uma metodologia para calcular a confiabilidade para o BESS construída a partir da somatória de parâmetros. Esse estudo permite verificar se a confiabilidade para o BESS permite a sua implementação para o consumidor alvo dessa análise. O referido estudo não será verificado nessa análise, mas serão levantados os pontos de oportunidades e lacunas para a implementação da tecnologia. De acordo com o estudo, a proteção de todo o sistema deve ser controlada contra diferentes causas que possam prejudicar a operação, incluindo desastres naturais, falhas estruturais, e segurança de acesso ao sistema de controle, contra hackers e/ou usuários indesejados ou não preparados para essa operação. Assim, a arquitetura do sistema de operação deve prevenir esse tipo de ataque, reduzindo a probabilidade de ocorrência de incidentes, e permitindo a rápida recuperação em caso de problemas.

A Garantia de Nível de Serviço (*Service Level Agreement*, SLA) deve estar dentro de níveis de assegurem o funcionamento do serviço desejado, o que deve contemplar um SLA que satisfaça os objetivos do operador, mas também mitigue riscos durante a operação desse sistema. A análise de riscos e o controle dos recursos computacionais e de automação devem ser estabelecidos de forma a assegurar o funcionamento seguro do sistema. Não há garantias, mesmo com os níveis assegurados de serviço, que falhas e indisponibilidades não ocorrerão. Assim, o SLA deve ser estabelecido em conjunto com um plano de contingência e recuperação de desastres. O plano de contingência deve ser focado na rápida recuperação da operação: mesmo em caso de degradação da infraestrutura, deve ser possível um grau de operação da microrredes. Esses planos podem encarecer a implementação da infraestrutura para o gerador distribuído, mas devem ser vistos como instrumentos para evitar perdas significativas em caso de problemas, incluindo impactos no funcionamento do estabelecimento.

A rápida recuperação do sistema mantém a confiabilidade especificada para o sistema, dentro dos limites adequados e combinados. Para a confecção desses planos e, como consequência, a análise da confiabilidade para as tecnologias, devem ser mapeadas as ameaças, riscos e impactos passíveis, de acordo com a arquitetura planejada. A arquitetura e a escolha dos sistemas afetam, dessa forma, os custos e os parâmetros de segurança aceitáveis para determinado sistema.

A escolha dos sistemas adjacentes e da arquitetura são vitais para minimizar falhas, e dependem das especificações técnicas para os sistemas de geração, conversão e armazenamento escolhidos, bem como os fabricantes e fornecedores. A maior confiabilidade também implica em menores custos de manutenção e aumento do tempo útil dos sistemas. Também deve-se atentar com os intervalos das manutenções preventivas, fator que amplia o tempo de vida da infraestrutura e, portanto, reduz custos para o operador.

As falhas e diagnósticos para o sistema escolhido devem ser registrados, bem como erros de operação e manutenção. No estágio da tecnologia, esses pontos auxiliam na determinação dos níveis de operação e segurança do sistema. A documentação também deve ser mantida em ordem, de forma que todos os acontecimentos no sistema possam contribuir para a evolução do gerenciamento e novos estágios da tecnologia dos BESS. Esses registros dependem, assim, da equipe de operação e manutenção do sistema que devem estar aptas a fazer os registros, além de atuar no momento adequado. A composição da equipe de projeto, operação e manutenção do sistema deve ter formação e treinamentos adequados para lidar com a tecnologia. A escolha dessa equipe afeta a implementação do projeto, mas também com a continuidade dele, lidando com os níveis de segurança e confiabilidade do sistema, e, indiretamente com os custos do operador e gerador distribuído. A equipe responsável pelo planejamento e implementação do sistema deve, por fim, se atentar aos fornecedores e qualidade dos níveis de segurança e confiabilidade viabilizados pelos fabricantes.

A topologia e arquitetura escolhidos para o sistema afetam os níveis de serviço e são fatores de importância durante a avaliação do BESS. A topologia e arquitetura definem como o sistema deverá ser instalado, e depende de informações relevantes como o nível de serviço desejado, mas também dos níveis de consumo e demanda do local, bem como disposição física para a implantação. A topologia escolhida influenciará nos custos de operação do sistema, e nos custos do projeto e flexibilidade de operação, conservando a vida útil da tecnologia escolhida.

A arquitetura também influenciará nas perdas aceitáveis e acordadas do sistema escolhido, o que impacta na análise de viabilidade econômica da tecnologia. A viabilidade dependerá dos ciclos de carga e descarga suportados pela tecnologia, fator que influencia diretamente na vida

útil da tecnologia e quantidade de equipamentos a ser substituídos durante esse período. Dessa forma, os aspectos técnicos são relevantes para que os custos sejam aceitáveis pelo gerador, mas que se mantenham em um nível aceitável para assegurar a atratividade da tecnologia e continuidade dos negócios.

- Pontos de análise A partir de todo o levantamento anterior, destacam-se como lacunas e oportunidades para a inserção da tecnologia sob o viés do estágio de desenvolvimento e implantação do BESS, pode-se salientar:
 - sistemas de segurança e gerenciamento robustos para gerenciamento e controle da infraestrutura;
 - parâmetros a ser incorporados nos sistemas de segurança e gerenciamento ainda em desenvolvimento, incluindo níveis de segurança;
 - acesso aos consumidores e ambientes urbanos;
 - cadeia de fornecedores;
 - compartilhamento de informações entre interessados na tecnologia;
 - construção de documentação adequada;
 - diversidade de fornecedores e componentes para compor a microrrede;
 - arquitetura e topologia dos sistemas;
 - composição das equipes que definirão os níveis de segurança da tecnologia;
 - composição das equipes de manutenção e operação da infraestrutura.

5.2.2 Viés econômico e político

A implantação de uma tecnologia afeta os custos do interessado, exigindo investimentos iniciais e mudança no gerenciamento das atividades. Dado o perfil do consumidor, esses custos e viés econômico devem ser avaliados para assegurar a continuidade de um negócio e viabilizar o plano almejado. O alto custo de continuidade de negócio é um dos focos para esses consumidores, e dado o funcionamento das tarifas para o Brasil, eles determinam qual as funcionalidades desejadas para o BESS.

Os casos mais prováveis para esse tipo de consumidor é o deslocamento do horário de consumo: para essas situações, o BESS deverá assegurar o fornecimento de energia ativa consumida durante as três horas do horário de pico, e atuar como backup, em casos de problemas no fornecimento, com limite do período de duração do horário de pico. Como função secundária, o BESS deverá atuar como regulador de tensão e fator de potência. Esses usos são os

serviços baseados em energia elétrica esperados para o BESS, conforme expectativa e demanda do consumidor. Há também a possibilidade de redução da Demanda Contratada – Peak Shaving – que implica em vantagem para a continuidade de negócio do interessado.

O atual marco regulatório não prevê remuneração direta para geradores distribuídos do tipo micro ou minigerador que prestem serviços baseados em energia elétrica. Dessa forma, a venda desses serviços seria restrita por essa condição, mesmo se houvesse o interesse do proprietário ou operador do sistema para a venda de serviços. As regras de compensação para geradores distribuídos é um ponto de atenção para os interessados na tecnologia. A aplicação de arbítrio do operador/interessado na tecnologia também é aplicada para a conexão na rede, ou seja, injeção e despacho de energia por período. O PRODIST não determina regras específicas para a conexão de BESS no sistema elétrico, o que implica em avaliação individual dos projetos pelas empresas distribuidoras de energia, o que pode causar atraso nos projetos.

Para avaliar, sob o viés econômico, a viabilidade de fornecer esses serviços para o consumidor alvo, deve-se verificar qual o impacto desses serviços em um tempo pré-determinado. Partindo dessas premissas, analisa-se a viabilidade de BESS para fornecer os serviços referidos: o foco principal, dado o interesse em reduzir os custos de manutenção do negócio, é estudar o fornecimento do serviço de deslocamento de horário de consumo.

Na avaliação da viabilidade econômica para o BESS, a tecnologia é capaz de atender a demanda durante o período desejado com desempenho satisfatório, durante o ciclo de vida estimado de 25 anos. No entanto, dada a perda da capacidade nominal, natural da tecnologia, a troca de baterias precisa ser prevista; essa informação é explorada na análise da confiabilidade, quando se determina a expectativa de manutenção e tempo de vida para as baterias, individualmente. Essa informação é empregada para citar que algumas tecnologias podem demandar trocas durante o período do ciclo de vida: o SoC em relação à capacidade da bateria cai para 17% no último ano de vida. Esse desgaste natural também implica em maior consumo de energia elétrica para carregar a bateria, conforme a tecnologia envelhece.

Ao considerar os processos de perda de capacidade, naturais dos referidos sistemas, e os altos custos para aquisição do BESS, a viabilidade econômica avalia, por meio de indicadores econômicos, se os BESS são substitutos viáveis para o fornecimento da rede durante o horário de pico. Para o caso de uma bateria de Lítio com impostos, a substituição da energia fornecida pela rede não é economicamente viável, dados os valores sempre negativos dos indicadores econômicos estudados. Esse cenário se repete para cenários em que o custo do sistema reduz por subsídios adotados pelo governo como forma de incentivar o uso dessa tecnologia. Mesmo para casos com o Gerador Diesel servindo como fonte alternativa ao operador, o cenário não

é viável economicamente, sendo necessário considerável redução no custo da tecnologia para atingir o ponto de equilíbrio.

Ainda que a operação de Geradores a Diesel possa ser vantajosa em comparação ao custo da energia elétrica durante o horário de ponta, e o relativo fácil acesso a este sistema e para o óleo Diesel, o investimento e manutenção desses geradores é alto. Estudos apontam que, a depender do custo do óleo Diesel e condições operativas do Gerador a Diesel, essa pode ser uma opção para consumidores reduzirem o custo com serviços baseados em energia elétrica para períodos de ponta [RIBEIRO; CRUZ, 2018], [FIGUEIREDO et al., 2013]. A esperada redução no ruído e emissão de poluentes no ar por Gerador a Diesel [BARROS, 2007] são aspectos relevantes para questões ambientais.

A alta taxa de câmbio brasileira é um ponto de atenção para interessados na tecnologia, uma vez que grande parte dos sistemas que compõem são importados, e a variação cambial implica em impactos significativos na viabilidade dos projetos. Aliado aos cenários de recessão ou crescimento econômico, a decisão de aquisição dessas tecnologias é diretamente afetada, o que implica em retardo na adoção desses sistemas. As taxas de juros também são um fator de atenção para quem deseja adquirir o BESS, já que o financiamento é uma possibilidade para os interessados.

Esses dados comprovam que, caso seja de interesse governamental o emprego dessa tecnologia como incentivo à diversificação da matriz energética nacional, seriam necessários subsídios relevantes para que o custo seja acessível à uma grande parte de consumidores. A cessão de subsídios ou não, dependem de decisões políticas concernentes à expansão de fontes de geração renováveis de energia e à adoção de tecnologias que permitam esse novo cenário. A adoção de tecnologias nacionais ou de fornecedores estrangeiros também depende de decisões políticas.

A complexidade na tomada de decisão depende da compreensão e da determinação de modelos coerentes. Se, anteriormente, a decisão era vista como uma abordagem técnica e econômica, a relevância do assunto após acordos internacionais e atenção às tomadas de decisão que impactem negativamente o meio ambiente, a questão ambiental passou a ser uma abordagem necessária para o setor elétrico. Dada a importância desse setor para o desenvolvimento e manutenção de condições de vida da população, as questões que influenciem esse setor têm peso em questões políticas.

Não são apresentados os processos para a tomada de decisões, tampouco os conceitos e indicadores necessários para eles, e se restringirá a apresentar parâmetros que possam reforçar ou não a importância dos BESS sob os vieses político e ambiental. As inovações tecnológicas para o setor elétrico podem ser vistas como um auxiliar para a medição do desenvolvimento

de determinado país, uma vez que facilitaria a redução de impactos ambientais, mas também colaboram para o acesso universal ao recurso, redução de desigualdades, e geração de empregos. Essas soluções permitiram, assim, a introdução de tecnologias mais focadas na melhoria do bem-estar da população e redução de emissão de carbono, e dariam embasamento para subsídios e apoios governamentais.

A análise da viabilização do BESS sob esses vieses permite classificar como benefícios sociais a redução da emissão de partículas nocivas, criação de empregos, redução no consumo de combustíveis fósseis, ampliação da eficiência energética e acesso à energia, aumento do Produto Interno Bruto (PIB), redução no custo da eletricidade, custos ambientais e sociais evitados, ingresso de novos agentes no setor elétrico.

Para a inclusão de uma tecnologia deve-se verificar as dimensões sociais, em relação aos indicadores de possíveis transtornos sonoros e visuais, impactos positivos no entorno, e aspectos culturais, dimensão ambiental, relacionado à riscos e impactos à fauna e flora, dimensão econômica, e técnico-ecológica. Aplicando ferramenta que permite analisar os atributos e subatributos para um recurso energético – o Computo e Valoração do Potencial Completo. Em relação ao BESS, a estimativa é de criação de empregos diretos e com alta qualificação, em virtude da complexidade e riscos referentes à tecnologia referida. Os impactos sonoros para a infraestrutura instalada são esperados para permanecer nos limites pré-determinados pela Organização Mundial de Saúde, uma vez que as baterias são instaladas dentro de um edifício ou dentro de container apropriado.

O impacto visual pode gerar a desvalorização dos imóveis no entorno, visto a ocupação da vista e áreas livres, mas sem impactos grandes para a poluição sonora e olfativa. Dado que o ambiente é controlado, vazamentos de componentes químicos e gases podem ser controlados por equipe especializada, reduzindo esse risco para o público – minimizado para baterias seladas. Em comparação ao Gerador Diesel, a quantidade de empregos criados é menor para esse último, bem como os níveis de conforto sonoro e visual também são mais impactos. O vazamento de gases e a percepção de conforto são impactadas seriamente para os geradores, o que favorece a implantação de BESS.

Com a utilização de BESS e os serviços previstos preveem a redução de 156,6 tCO₂/ano, caso fossem empregados painéis fotovoltaicos, e de 69 tonCO₂/ano, sem o emprego destes painéis. Com dados de 2019, era possível estimar a geração de renda entre US\$ 34 a 68 milhões acumulados para 10 anos de operação. Esses fatores devem superar os efeitos negativos resultantes da troca por uma nova tecnologia, como o desperdício de equipamentos antigos e seus componentes, que devem ser reciclados ou gerenciados como resíduos eletroeletrônicos quando

substituídos. No caso de BESS, os seus componentes também demandam atenção quando descartados: baterias usam matérias-primas como lítio e chumbo, que apresentam riscos ambientais caso não sejam descartadas ou recicladas adequadamente. Além do descarte, há desperdício de energia durante o processo de armazenamento.

Um fator importante em relação às tecnologias sob a perspectiva do gerador distribuído é a participação de consumidores no setor, formando novas relação entre consumidores e demais agentes do setor. A entrada de consumidores pode influenciar no preço dos serviços baseados em energia elétrica, ampliar a disponibilização desses serviços, aumentar a geração de fontes renováveis e o interesse dos cidadãos nessas fontes, e mudanças na estrutura tarifária e operação da rede. Dessa forma, a implantação e escalabilidade de tecnologias depende de regulamentações específicas, que estimulem a participação de novos interessados e novas tecnologias. Para isso, o caráter político da viabilidade de tecnologias e a importância para o setor devem estar aderentes a uma agenda governamental. A ausência de políticas específicas para essa tecnologia implica que a tecnologia não é produzida em escala a atender os interessados, o que impacta negativamente na aceitação e uso dela.

- Pontos de análise

- ausência de políticas que incentivem a geração de energia por fontes renováveis;
- ausência de políticas que incentivem a participação e conexão de Geradores Distribuídos;
- ausência de políticas que incentivem a aquisição de tecnologias;
- inexistência de subsídios em curto ou médio prazo para a compra de BESS;
- desenvolvimento social vinculado à escalabilidade de tecnologias;
- redução de impactos ambientais;
- entrada de consumidores no setor elétrico como interessados;
- ausência ou caráter incipiente de regulação para essas tecnologias;
- inviabilidade para consumidores no Brasil de empregar BESS como opção para serviços energéticos;
- desenvolvimento de tecnologias adjacentes e necessárias para emprego de BESS;
- ausência de escala para o BESS no Brasil.

5.2.3 Análise e definição das métricas

Essa seção tem como objetivo fazer uma análise dos pontos relevantes apresentados anteriormente quanto à viabilização do BESS. Para isso, o estudo de trabalhos anteriores auxiliou no levantamento de pontos relevantes à implantação do BESS no setor elétrico brasileiro, como novidade no setor, mas também com qualidades para ampliar a capacidade no futuro próximo, caso lacunas sejam reduzidas ou ultrapassadas. As análises e pontos de atenção são apresentados a seguir, e, a partir da análise, quando possível, métricas são estipuladas; a partir da definição dessas métricas, o acompanhamento das lacunas e oportunidades pode ser feito, e medir, portanto, a implantação e escalabilidade desses sistemas no país.

- Sistemas de segurança e gerenciamento robustos para gerenciamento e controle da infraestrutura
 - O desenvolvimento de sistemas de segurança é um processo evolucionar para a tecnologia
 - Dependente de regras e normas técnicas
 - * Horas de funcionamento do sistema sem impactos.
 - * Tempo para liberação de normas e regras para o público.
 - * Tempo e qualidade de formação de pessoas para desenvolvimento tecnológico.
 - * Tempo para desenvolvimento da tecnologia citada.
 - * Perdas aceitáveis por equipamento.
 - * Confiabilidade entregue (taxa por tempo de operação).
 - * Ciclo de inatividade.
 - * Tempo habitual para início e término de operação.
 - * Margem de segurança dos equipamentos.
 - * Margem de segurança para a microrrede.

- Parâmetros a ser incorporados nos sistemas de segurança e gerenciamento ainda em desenvolvimento, incluindo níveis de segurança.
 - Desenvolvimento de regras e normas técnicas em processo de elaboração.
 - Investimento em projetos que meçam parâmetros de segurança e operação para o sistema.
 - * Acompanhamento de chamadas públicas para determinação de regras e normas técnicas.

- * Acompanhamento de grupos que determinam regras e normas técnicas.
- Acesso aos consumidores e ambientes urbanos
 - Acidentes relacionados à operação da tecnologia.
 - Desconhecimento do funcionamento do sistema em larga escala.
 - Desenho dos espaços urbanos e definição de normas no Plano Diretor.
 - Determinação de regras e normas específicas para esse ambiente.
 - * Controle de chamadas públicas relacionadas ao espaço urbano.
 - * Chamadas de projetos para instalação de BESS em ambiente urbano.
 - * Determinação de regras e normas mais próximas da escala urbana.
 - * Acompanhamento de ações focadas no espaço urbano.
 - * Documentação de acidentes ocorridos nesse ambiente.
- Cadeira de fornecedores
 - Cadeia de fornecedores em formação.
 - Cadeia de fornecedores vinculada à indústria.
 - Fornecedores localizados em países com poder aquisitivo para a compra dos sistemas.
 - Formação de centros fornecedores.
 - Grupos de interessados na tecnologia.
 - * Quantidade de novos fornecedores.
 - * Qualidade dos novos fornecedores.
 - * Formação de equipes de vendas e manutenção mais próxima dos centros consumidores.
 - * Incentivos governamentais à criação e fortalecimento de novas indústrias no setor.
 - * Incentivo à formação de grupos de atores.
 - * Custo com equipamentos.
 - * Existência de Help Desk.
 - * Taxa de manutenção mapeada por fornecedor.
 - * Índice de resolução de acidentes.

- * Taxa de projetos e acompanhamentos bem-sucedidos.
- Compartilhamento de informações entre interessados na tecnologia.
 - Formação de redes de trocas de informação.
 - Formação de pessoas.
 - Relatórios e documentação voltados à disseminação de informação.
 - * Quantidade de pessoas aptas a trabalhar com tecnologia.
 - * Qualidade das pessoas aptas a trabalhar com a tecnologia.
 - * Quantidade da documentação criada.
 - * Qualidade da documentação criada.
 - * Formação de grupo de interesse na tecnologia.
 - * Quantidade de eventos criados para a troca de informações.
 - * Help Desk.
- Construção de documentação adequada.
 - Formação de pessoas aptas a lidar com a tecnologia.
 - Produção de documentação e registro de atividades que permita levantar problemas e soluções.
 - * Quantidade de pessoas formadas.
 - * Qualidade de pessoas formadas.
 - * Quantidade de documentação.
 - * Qualidade da documentação.
- Diversidade de fornecedores e fabricantes de componentes para a microrrede.
 - Diversidade de fornecedores e modelos afeta a confiabilidade do sistema.
 - * Quantidade de fornecedores de infraestrutura.
 - * Qualidade da infraestrutura ofertada.
 - * Documentação da infraestrutura ofertada.
- Composição das equipes que definirão os níveis de segurança da tecnologia.
 - Arquitetura depende de pré-requisitos e expectativas do consumidor.

- Oneroso para alguns atores.
- Operar abaixo da expectativa do ator e consumidor.
- Definição de regras e normas para os equipamentos.
 - * Custo da infraestrutura.
 - * Variação da taxa de câmbio e juros para o período analisado.
 - * Estudos de viabilidade econômica.
 - * Variação de tarifas.
 - * Evolução da indústria local.
 - * Incentivos e subsídios para componentes importados.
 - * Variação nos custos do projeto.
 - * Variação no planejamento do projeto.
 - * Taxa de confiabilidade e segurança dos equipamentos.
 - * Taxa de perdas naturais do sistema.
 - * Taxa de perdas aceitáveis para a infraestrutura.
- Composição das equipes que definirão os níveis de segurança da tecnologia.
 - Equipe deve ser composta por pessoas diferentes áreas de atuação.
 - Participação de pessoas com conhecimento e prática.
 - * Quantidade da documentação forçada.
 - * Qualidade da documentação.
 - * Qualidade das equipes aptas a lidar com a tecnologia.
 - * Qualidade da formação das pessoas aptas a lidar com a tecnologia.

A partir da análise e das métricas estabelecidas para os Aspectos Técnicos, é possível delimitar que o BESS ainda depende da quantidade e da qualidade das pessoas envolvidas no processo. A qualidade não se refere à imediata aptidão para lidar com a tecnologia ou exatidão em analisar possíveis problemas, mas o acompanhamento da evolução da tecnologia e do desenvolvimento de melhores sistemas.

A análise também se refere, dado o estágio atual da tecnologia, no estabelecimento de documentação relacionada ao uso dos sistemas, e troca de informação entre interessados e equipes atuantes. O estágio atual permite admitir que os custos para aquisição das baterias e sistemas que compõem o BESS irão sofrer redução nos próximos anos, mas as previsões variam de pesquisa para pesquisa.

Essa variação impacta nos sistemas referentes à segurança e, conseqüentemente, em questões relevantes à implantação da tecnologia em ambientes urbanos; esse aspecto também tem relação com a poluição visual e impactos na vizinhança, como verificado nos aspectos econômicos e políticos. A questão do desenvolvimento, no entanto, pode ser vista como uma vantagem para aqueles que desejam empregar a tecnologia e atuar como gerador distribuído. Não há previsão de que haverá uma nova tecnologia que apresente vantagens tão significativas ao setor como as baterias. Dessa forma, o investimento nos sistemas não será tão danoso ao interessado, mesmo que os custos para a compra ainda sejam altos e a degradação natural do sistema impactem nesses custos.

Os itens abaixo mostram os aspectos econômicos e políticos quanto à viabilidade de BESS. Nesses aspectos estão incluídos os ambientais, uma vez que o crescimento ou não da sua importância depende de interesse e apoio político.

- Ausência de políticas que incentivem a geração de energia por fontes renováveis.
 - Programas com apoio governamental para a diversificação da matriz energética.
 - Programas de cessão de subsídios para Geradores Distribuídos.
 - Ausência de políticas de desenvolvimento da indústria local.
 - Apoio à descarbonização do setor elétrico.
 - * Criação ou renovação de programas com foco na universalização da energia elétrica.
 - * Criação ou renovação de programas com foco em fontes renováveis de geração de energia elétrica.
 - * Agenda governamental para redução de impactos negativos ao meio ambiente.

- Ausência de políticas que incentivem a conexão e participação de Geradores Distribuídos
 - Ausência de políticas focadas na cessão de subsídios.
 - Ausência de subsídios para viabilizar novas tecnologias.
 - Ausência ou redução de programas focados em universalização de energia elétrica.
 - * Geração ou renovação de programas de apoio ao desenvolvimento de tecnologias.
 - * Geração ou renovação de programas de subsídios para viabilizar novas tecnologias.
 - * Geração ou renovação de programas de acesso à energia elétrica.

- * Geração ou renovação de programas de acesso às fontes renováveis de geração de energia.
 - * Renovação de frentes parlamentares para voltadas a escalabilidade e incentivo de fontes renováveis de geração de energia.
 - * Formação de grupos de interesse para fontes renováveis de geração e descarbonização do setor elétrico.
 - * Apoio à aprovação de políticas focadas em fontes energéticas que causem menor impacto ambiental.
- Ausência de políticas que incentivem a aquisição de tecnologias.
 - Custo da tecnologia é muito alto para grande parte dos atores.
 - Estudos de acessibilidade mostra que os sistemas podem não ser viáveis sob algumas perspectivas.
 - Ausência de subsídios e políticas focados em apoiar atores.
 - Tecnologia em desenvolvimento, queda nos custos pode acontecer nos próximos anos.
 - Queda nos custos ainda é imprevisível.
 - Ausência de desenvolvedores da tecnologia em larga escala.
 - * Cessão de subsídios para tecnologias.
 - * Acompanhamento dos custos para a aquisição do BESS.
 - * Acompanhamento dos custos para a compra de tecnologias/sistemas adjacentes.
 - * Acompanhamento de desenvolvimento da tecnologia.
 - * Acompanhar desenvolvimento de fornecedores.
 - * Acompanhar qualidade no fornecimento de serviços.
 - * Acompanhar programas de suporte por parte de fornecedores pós-compra e implantação.
 - Inexistência de subsídios em curto ou médio prazo para a aquisição de BESS.
 - Não há informações de subsídios ou apoio específico para BESS.
 - Não há informação de subsídios ou apoio para novas indústrias de baterias e componentes.
 - Custo alto para grande parte dos atores.

- Estudos de viabilidade mostram que o uso do sistema pode não ser praticável em determinados casos.
 - * Acompanhamento de programas de subsídios para BESS.
 - * Composição de grupos de interesse para pressão para apoio governamental para agenda de descarbonização do setor elétrico.
 - * Acompanhamento de programas internacionais para compra de tecnologias.
 - * Acompanhamento dos custos de aquisição e operação do BESS.

- Desenvolvimento social vinculado à viabilidade de tecnologias
 - Redução de ruídos e poluição olfativa.
 - Redução de impactos negativos ao meio ambiente, especialmente quando comparado ao Gerador Diesel.
 - Melhoria em índices de emprego.
 - * Acompanhamento da poluição olfativa e sonora dos equipamentos.
 - * Quantidade de pessoas aptas a lidar com a tecnologia.
 - * Quantidade de interessados e operadores.
 - * Redução no uso de Geradores Diesel no horário de ponta.
 - * Variação nas curvas de carga.
 - * Verificação de padrão de consumo pelo grupo de consumidores alvo do estudo.
 - * Acompanhamento de impactos da substituição da tecnologia na continuidade dos negócios dos consumidores.

- Redução de impactos ambientais causados pelo desenvolvimento e escalabilidade da tecnologia
 - Melhoria em índices de poluição sonora e visual.
 - Melhoria em índices de rejeição de dejetos.
 - Ainda há dúvidas quanto ao descarte das baterias e demais resíduos sólidos e eletrônicos após o uso.
 - Melhoria em índices de emprego e desenvolvimento do entorno.
 - Redução na emissão de carbono, em comparação ao Gerador Diesel.
 - * Acompanhamento de poluição sonora e olfativa do sistema.
 - * Quantidade de pessoas aptas a lidar com a tecnologia.

- * Redução no uso de Gerador Diesel no horário de ponta.
 - * Impacto na continuidade de negócios dos consumidores.
 - * Criação de políticas de gestão dos resíduos eletroeletrônicos específicos para o descarte dos sistemas após o uso.
 - * Formação de rede de catadores e cooperativas que possam lidar com o descarte da tecnologia.
 - * Acompanhamento de empresas responsáveis pelo descarte dos sistemas (economia circular).
 - * Quantidade de substâncias químicas despejadas no meio ambiente sem correto manuseio.
 - * Acompanhamento de fornecedores que encaminham os equipamentos para o descarte, como processo de pós-compra.
- Participação de consumidores no setor elétrico como atores.
 - Ampliar a participação de consumidores no setor.
 - Participação em processos de tomada de decisão.
 - Mudanças em papéis e configuração no setor.
 - Possibilidade de atuação como comunidade energética.
 - Ampliar programas de Resposta a Demanda.
 - Desenvolvimento de novas tecnologias que permitam a comunicação bilateral entre os interessados.
 - * Acompanhamento da criação de grupos de interesses.
 - * Acompanhamento das ações desses grupos
 - * Acompanhamento de ações públicas voltadas à viabilidade e escalabilidade de fontes renováveis de geração de energia elétrica.
 - * Acompanhamento da criação de comunidades energéticas.
 - * Acompanhamento de mudanças regulatórias e tarifárias que permitam a atuação direta de consumidores.
 - * Estabelecimento de meios de comunicação entre Geradores Distribuídos e empresas distribuidoras (qualidade e quantidade).
 - * Acompanhamento pós-implantação e qualidade dos serviços baseados em energia elétrica fornecidos.

- * Qualidade dos serviços baseados em energia elétrica, sob a ótica da empresa distribuidora.
 - * Impactos na rede de distribuição (distúrbios, redução de indisponibilidades, redução de custos).
 - * Empresa distribuidora já atua como grupo de interesse no setor.
- Ausência ou caráter incipiente de regulação para BESS
 - Regulação existente para Gerador Distribuído.
 - Necessidade de revisão da regulação vigente para comportar consumidores e operadores de BESS.
 - Regulação específica para essas tecnologias.
 - Possível mudança de esquema tarifário para permitir compensação àqueles que mudam seu padrão de consumo de serviços baseados em energia elétrica.
 - Possível mudança de esquema tarifário para permitir compensação àqueles que fornecem serviços baseados em energia elétrica.
 - Regras e padrões ditados pelo mercado.
 - Aumento de projetos que permitam analisar medidas e impactos do funcionamento do BESS na rede.
 - * Acompanhamento de atuação de grupos de interesse.
 - * Revisão da regulação e esquema tarifário para Geradores Distribuídos e geração por fontes renováveis de energia.
 - * Projetos de pesquisa e desenvolvimento.
 - Inviabilidade sob viés econômico para consumidores no Brasil de empregar BESS como opção para fornecimento de serviços baseados em energia elétrica.
 - Regras para a compensação de fornecedores de serviços baseados em energia elétrica.
 - Regras para compensação de consumidores que alteram seu padrão de consumo de energia elétrica.
 - Altos custos da infraestrutura.
 - Ausência significativa da indústria local e incentivos à produção nacional de tecnologias.

- Taxa de câmbio.
- Taxa de juros.
- Ausência de subsídios para atores.
 - * Acompanhamento dos custos para a aquisição de BESS.
 - * Acompanhar impactos nas formas de compensação dos Geradores Distribuídos.
 - * Acompanhar qualidade e quantidade de serviços baseados em energia elétrica habilitados para o país.
 - * Acompanhar qualidade e quantidade de serviços baseados em energia elétrica aptos para o BESS no país.
 - * Quantidade de Geradores Distribuídos que empregam o BESS.
 - * Quantidade de programas de subsídios aos atores e quantidade de atores aderentes.
 - * Acompanhamento da taxa de juros para o período.
 - * Acompanhamento da variação cambial para o período.
 - * Acompanhamento dos atores.
- Desenvolvimento de tecnologias adjacentes e necessárias para a operação do BESS.
 - Aprimoramento e desenvolvimento necessários dessas tecnologias ainda geram insegurança.
 - Encarece a implantação e escalabilidade da tecnologia.
 - Ausência de políticas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias no país.
 - * Custos dos sistemas que compõem o BESS.
 - * Quantidade de incidentes e problemas de operação e manutenção.
 - * Surgimento e ações de grupos de interesse para o desenvolvimento de tecnologias no país.
 - * Retorno ou determinação de políticas públicas para subsídios de produção e pesquisa de equipamentos.
 - * Quantidade de fabricantes em território nacional.
 - * Qualidade dos componentes.
 - * Serviços de apoio ao consumidor no pós-compra e operação.
- Ausência de escala para BESS no Brasil

- Quantidade de consumidores com o perfil alvo para viabilizar o BESS é fator de expectativa para crescimento na demanda.
- Potencial de crescimento.
 - * Controle no número de consumidores com perfil para empregar o sistema analisado.
 - * Controle de novos consumidores com perfil para o período.

A partir da análise apresentada, pode-se verificar que a tecnologia possui alto potencial de crescimento no Brasil, dada a quantidade de consumidores que atendem os requisitos do perfil desse estudo. O acesso ao BESS demanda alto capital inicial para os interessados, de acordo com o estudo de viabilidade econômica focada no BESS, os sistemas não são uma opção viável para substituir o fornecimento da rede nos horários de pico. Assim, o uso de Geradores Diesel para o período ainda é a opção mais viável economicamente para a continuidade dos negócios.

O uso de geradores Diesel, no entanto, ainda é uma opção com desvantagens significativas ao meio ambiente. Os geradores pioram a poluição sonora e olfativa, e emitem gases poluentes, o que torna o acesso ao BESS vantajoso do ponto de vista social e ambiental. As vantagens quanto ao desenvolvimento da tecnologia, ainda em curso, e a formação de profissionais aptos a lidar com a tecnologia são vantagens expressivas para viabilizar o BESS, fato que ajuda a embasar pedidos por subsídios e apoio governamental.

Dados os altos custos, a cessão de subsídios para compra e desenvolvimento de tecnologias reduziria os custos e facilitaria o acesso aos sistemas; o desenvolvimento de tecnologias também ampliaria o papel da indústria nacional, com o crescimento de indústrias já existentes e a formação de novas. No entanto, carece de políticas públicas e de uma agenda governamental voltada para esse ponto: o foco no aumento de empregos e desenvolvimento de profissionais, além da redução de impactos ambientais negativos deveria ser de interesse do governo. Esse ponto deveria atender aos anseios por um atendimento às necessidades da população, e não aos desejos de mercado.

A adoção da tecnologia também amplia o papel dos consumidores, fato que leva estes ao papel de interessados no setor elétrico. Dessa forma, a criação de grupos de interesse, com capacidade de agir frente aos tomadores de decisão, é um sinal de atuação desses consumidores também em favor do crescimento em escala do BESS e definição de regras e normas que os favoreçam enquanto atores. Atualmente, há a atuação de grupos de interesses em diversas arenas de decisão relacionadas ao setor elétrico, mas a atuação e formação de objetivos relacionados à escalabilidade e aceitação de tecnologias que permitam a descarbonização do setor e atendam à objetivos sociais ainda é incipiente ou quase inexistente no país.

A formação de grupos de produtores da tecnologia e relacionados à indústria também carece de objetivos mais próximos ao desenvolvimento desses sistemas no país. Um futuro levantamento, como passos futuros dessa pesquisa, seria o levantamento desses grupos e a atuação em arenas de tomada de decisão.

5.2.4 Plano de Ação para Entrada de BESS no país

Após a definição de pontos de oportunidade e lacunas, e as respectivas métricas para ambos, a próxima etapa prevista é a comunicação dos pontos aos interessados na análise e a determinação de um plano de ação. O plano de ação será limitado a descrever demandas para essa primeira etapa, sem determinar uma sequência de execução. A partir da avaliação do momento em que a análise será estudada, pode-se definir qual a sequência mais adequada para os objetivos.

Figura 10: Ações previstas para o Plano após a análise



Fonte: [GEPEA, 2021a]

As ações são relativamente simples, e poderiam ser facilmente implementadas por qualquer grupo de interessados na tecnologia. A sequência deve ser determinada de modo a satisfazer o objetivo dos interessados, mas sem esquecer que o objetivo principal da análise é viabilizar o BESS no setor elétrico brasileiro e a substituição do Gerador Diesel durante a hora de ponta.

Ações referentes ao custo não são explicitamente definidas; ao analisar a variação de fatores que podem impactar os custos, pode-se compreender que a realização das ações citadas influencia nesses parâmetros e podem, por si, auxiliar na redução deles. Algumas das ações,

como o próprio estágio da tecnologia define, depende de intervenções mais próximas da esfera governamental.

5.3 Considerações sobre o capítulo

Uma vez que a análise da viabilidade econômica ressalta que os altos custos de investimento inicial e manutenção para o BESS, o direcionamento de caminhos que contribuam para a viabilização do sistema é uma oportunidade para assegurar o acesso. Assim, a definição de modelos de negócios voltados à acessibilidade de sistemas de armazenamento e a avaliação de *Benchmarking* podem auxiliar na definição de tal caminho.

Para a definição de novos modelos e o planejamento estratégico voltado ao BESS, estudos baseados em diversos temas e parâmetros são necessários, para definir qual o possível diferencial que essa tecnologia pode trazer para os consumidores. Essas ferramentas ajudam na construção de argumentos favoráveis, baseados em fatores técnicos, ambientais e sociais que comprovem a eficácia e a relevância desse tipo de solução. Assim, modelar um processo que permita ao consumidor atuar no setor elétrico, destacando quais pontos devem ser analisados e empreendidos para que esse processo possa acontecer, e quais atendem aos interesses de determinados grupos.

Esse capítulo apresenta duas análises com esse foco: o primeiro destaca pontos para a construção de um processo que permita viabilizar o sistema, o segundo analisa parâmetros que viabilizem a entrada de tecnologias, como o caso do BESS, no Brasil. A conclusão da não viabilidade econômica dificulta a apresentação de argumentos que possam convencer um consumidor a adquirir esse tipo de infraestrutura. Ao considerar que o interesse seja a redução de custos e a continuidade dos negócios, torna-se difícil argumentar com os altos custos para a compra dessa infraestrutura. A aceitação social e a escalabilidade da tecnologia dependem não somente de redução de impactos ambientais negativos, mas também de políticas e apoio financeiro que possibilitem a compra e manutenção da tecnologia.

A ausência de programas de incentivo e subsídios, ambos devem ser de interesse e partir de agenda do Executivo, reforçam o não atendimento à demanda de redução de custos. No entanto, os parâmetros levantados no estudo podem embasar uma agenda para o pedido de apoio financeiro para viabilizar tecnologias com reduzida emissão de carbono e outros poluentes na atmosfera.

6 ASPECTOS SOCIOTÉCNICOS PARA VIABILIZAR O BESS

Os primeiros passos para o acesso às novas tecnologias é um processo complexo e que causam mudanças profundas na sociedade. Dessa forma, a disseminação da tecnologia depende de fatores como aceitação e mudanças culturais para marcar a nova fase de introdução de um novo sistema, estabelecendo uma abordagem multidisciplinar.

Ainda que esse processo demande a aceitação social e estabeleça condições para que um novo papel para os consumidores seja estabelecido, esse processo não é uniforme e depende de dinâmicas de poder e agência no processo decisório. A perspectiva de multiníveis (MLP) ajuda a mapear as dinâmicas associadas às transições tecnológicas, como é o caso do BESS. Dividida em regimes sociotécnicos, nichos e conjuntura, essa proposta busca analisar o estado e as perspectivas para viabilizar o BESS no Brasil, com foco nos consumidores.

As motivações para que grupos possam exercer pressão focadas em mudanças significativas para a transição, e as expectativas de valor social que o sistema pode trazer para o país são pontos analisados sob a perspectiva dos multiníveis. Essa escolha foi feita dada às dinâmicas que o BESS causa no setor elétrico nacional, incluindo a motivação ambiental e o potencial comportamento mais ativo dos consumidores quanto ao gerenciamento e operação do sistema, impondo características sociais além das tecnoeconômicas.

Dado o caráter incipiente da tecnologia no Brasil, o direcionamento de como a tecnologia será admitida pode colaborar com a promoção de políticas públicas, incluindo subsídios e apoio à consumidores. Além da promoção de mais fontes de geração de energia, aptas a favorecer a transição energética, a participação de consumidores acelera o processo e amplia as possibilidade de inovação e diversidade de serviços baseados em energia elétrica ofertados. A cooperação entre os atores promove o comprometimento das partes com a visão de transição energética proposta, com diversidade de geração e redução de uso de combustíveis fósseis, redução de custos e barreiras de acesso à infraestrutura moderna, e facilidade de acesso à serviços modernos de energia elétrica.

Os empreendimentos e projetos voltados para ampliar a implantação de novas fontes de energia se preocupam, primordialmente, com aspectos econômicos e ambientais envolvidos no processo, e a preocupação com os aspectos sociais é secundária. Assim, a percepção do público afetado, embora eles sejam portadores de informações únicas e precisas para compreender as relações de causa e efeito envolvidas nos processos de transição energética, fortalecendo o fato de que ações sociais fortalecem e favorecem temas de redução de impacto ambiental. Como pontos vitais para a viabilizar determinada tecnologia, a análise multidisciplinar deve ser feita, apontando aspectos e pontos de promoção da tecnologia com apoio social, promovendo mudanças mais sólidas e com transformações culturais duradouras. Assim, esse capítulo tem como objetivos:

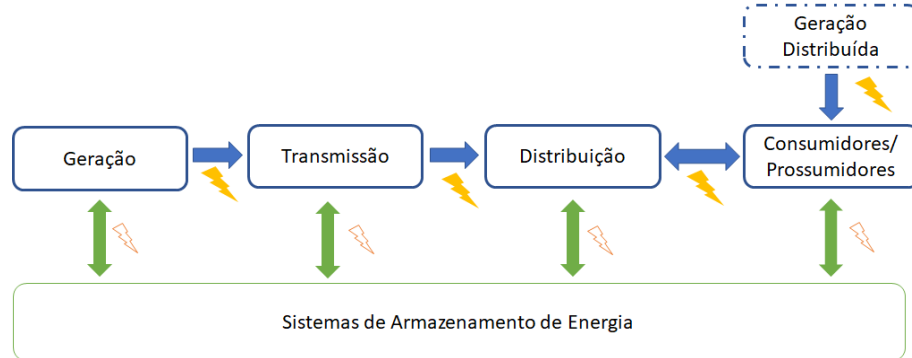
- delimitar aspectos ambientais e sociais vitais para a promoção de tecnologias de apoio à transição energética;
- análise de potenciais de agência e viabilização do sistema no setor elétrico, sob a perspectiva de consumidores;
- definição de planejamento estratégico que viabilizem o BESS no Brasil sob a perspectiva do método multiníveis.

6.1 Aspectos para viabilizar o BESS e novos papéis

A construção de um novo sistema elétrico menos centralizado e que permita a maior diversificação da matriz energética implica em ampliar a geração distribuída. A definição desse sistema causa mudanças significativas no setor elétrico, alterando a configuração atual do sistema e favorecendo a participação mais ativa de consumidores. Ao inserir novas fontes de geração de energia adjacente ao grupo de consumidores a configuração do sistema anteriormente unidirecional transita para um fluxo bidirecional tanto de energia quanto de informações entre os participantes do setor; o fluxo bidirecional implica também na possibilidade de venda de serviços baseados em energia elétrica aos demais atores.

Ao considerar a inclusão de BESS como tecnologia que viabilizará a nova etapa da transição energética, a questão temporal do fornecimento de serviços amplia o tema da participação ativa dos consumidores e processo de tomada de decisão para a injeção e despacho da energia da rede. Apoiada na definição de que o BESS inserido da rede é um novo elemento e que altera a configuração, o papel dos consumidores é alterado simultaneamente. A Figura 11 mostra a configuração para o setor após a inclusão dos elementos de Geração Distribuída e BESS.

Figura 11: Configuração do Sistema Elétrico com inclusão de Geração Distribuída e Baterias



Fonte: Elaborado pela autora

A figura mostra a configuração presumida para o setor, a partir da inclusão dos dois elementos: a adição da Geração Distribuída e do BESS modifica os vínculos dos atores na rede, estabelecendo uma nova categoria de possíveis geradores e operadores no setor. Como definição, os consumidores com capacidade de fornecimento de serviços baseados em energia elétrica e localizados do lado da Geração Distribuída, ativamente participativos do setor elétrico são definidos consumidores modernos. Essa nova categoria, representada pela seta bidirecional entre consumidores/prossumidores e Distribuição, possui interesses diversos na geração distribuída; esses interesses variam de acordo com valores e objetivos desses consumidores. A defesa ou preservação desses interesses depende da forma de organização desses consumidores no setor, incluindo as possíveis formas de representação e a recepção de demandas nas arenas de tomada de decisão.

A inserção desses consumidores modernos depende de diferentes fatores, incluindo a aceitação dos demais atores e a exposição de suas demandas. Uma possibilidade para ampliar a autonomia e agência desses consumidores é a atuação como grupos. Há duas maneiras de analisar a participação desses consumidores no setor elétrico. A primeira é como será oportunizado o agrupamento desses consumidores e/ou geradores individuais de forma a ampliar a capacidade de negociação e fornecimento dos serviços baseados em energia elétrica. A análise, sob essa perspectiva, tem relação com a redução de barreiras para esses consumidores, e ampliando os recursos necessários frente aos tomadores de decisão.

A segunda forma de representação é relacionada à assegurar a conexão desses consumidores à rede, e o acesso à infraestrutura que garante o fornecimento de serviços baseados em energia elétrica. Essa representação também concerne a descrição do papel dos consumidores, qual a relação com os demais atores previstos, a partir da inserção do BESS e das mudanças esperadas na configuração, e outros participantes do mesmo grupo, e a capacidade de até a descrição do agrupamento, na sua totalidade. Essa descrição permite definir, portanto, metodologia de

operação dos agrupamentos e consumidores, parâmetros técnicos e de mercado que deverão ser exigidos de tais grupos.

As duas capacidades de agir do consumidor moderno dependem da articulação dos interesses e do acesso à infraestrutura desses atores. Esses dois pontos são interesses a ser estruturado por esses consumidores, que podem se agrupam de forma a ampliar os recursos disponíveis para que os objetivos e expectativas sejam alcançados. Esses grupos, denominados grupos de interesse, existem em diferentes áreas de atuação e podem exercer pressão em diversas arenas de tomada de decisão [OLSON; FERNANDEZ, 1999],[MANCUSO; GOZETTO, 2018].

O processo de financeirização e a consequente desregulamentação do setor elétrico conduz à tomada de decisões para o setor focadas na satisfação de metas de mercado, fato que reduz a autonomia e o acesso de consumidores com menor poder de decisão; esse fator também leva a questões que podem atrasar a transição energética, uma vez que a escalabilidade de tecnologias e cenários com novas fontes dependeriam de ganhos financeiros para aqueles que os implementam. Dessa forma, há uma contrariedade para o setor, uma vez que a ampliação das fontes renováveis de geração dependem de cativar mais consumidores aptos a fazer os investimentos iniciais e adquirir a infraestrutura necessária para o fornecimento de serviços baseados em energia elétrica, mas a capacidade de articulação e defesa dos interesses para esses consumidores depende de ampliação de espaço no processo de tomada de decisão e papel ativo na rede.

Ainda que as atividades mencionadas façam parte de um modelo de negócios a ser gerenciado por distribuidoras ou empresas do setor elétrico, o atendimento às expectativas desse grupo e o auto planejamento da operação e fornecimento dos serviços dependem de tomadas de decisões de cada consumidor moderno. O atendimento à essas questões dependem de aspectos relacionados à participação dos indivíduos, especialmente quanto à satisfação dos interesses, mas também de conhecimento técnicos específicos relacionados às tecnologias disponíveis. A atenção à esses critérios amplia a participação desses consumidores, impactando diretamente na ampliação da Geração Distribuída e consequente descarbonização do setor.

A definição de um consumidor moderno implica no interesse não somente de demandas individuais, mas à ações participativas e participação em processos relativos à comunidade. Por esse motivo, as ações participativas são vinculadas diretamente às intuições e políticas voltadas à mudanças que possam fortalecer a participação ativa desses consumidores, como subsídios, esquemas tarifários e programas de incentivos; a própria criação de modelos de negócios voltados ao fornecimento de serviços focados em abordagens sociotécnicas favorece parâmetros voltados ao acesso à tecnologias e serviços mais confiáveis, incluindo a segurança no forne-

cimento, Arbitragem Tarifária, e Resposta à Frequência, serviços mais específicos e definidos para o BESS.

O potencial de os serviços propostos para um BESS em atender as demandas desses consumidores tem associação com a aceitação por parte desses grupos. Dessa forma, as questões referentes à implantação e aos fatores positivos para o sistema passam a ser também contabilizadas quanto ao impacto social que causam. Questões quanto ao atendimento de demandas da comunidade, localização no espaço urbano, impactos na saúde e desenvolvimento locais, confiabilidade e eficiência, questões relativas à operação e manutenção, além dos ganhos com redução de custos são benefícios com potencial de avaliação por esses consumidores [THOMAS; DEMSKI; PIDGEON, 2019]. No nível da comunidade, a igualdade no acesso, conveniência e redução da vulnerabilidade deste grupo alteram as percepções dos consumidores, e permitem uma classificação e descrição das etapas de instalação do BESS além dos termos técnicos e econômicos conhecidos.

Os aspectos de participação e efeitos na comunidade para a transição reforçam o engajamento em políticas e medidas que impactam o setor e a implantação da tecnologia. Essa participação social é reforçada pelas características de operação e gerenciamento do BESS, dada a autonomia que o aspecto temporal de operação proporciona. Assim, a análise da participação da comunidade e dos consumidores modernos no processo de decisão aponta como os parâmetros sociotécnicos estão sendo direcionados.

Uma das arenas possíveis são as agências reguladoras, como é o caso da ANEEL, para o setor elétrico. Na formação das agências reguladoras foi prevista a participação de cidadãos, tanto como grupos como individualmente [BELTRAME; NETO, 2018]. Em 1993, durante período de privatização de diversas empresas do setor elétrico e formação da ANEEL, foi aprovada a lei que determina a formação de grupos de consumidores, com representantes escolhidos para equivaler às diferentes classes do setor [BRASIL,]. Esses grupos, vinculados à empresa distribuidora do local onde os representantes possuem vínculo com o setor, deveriam, então auxiliar em assuntos relacionados à prestação de serviços públicos do setor. Há no Brasil 53 conselhos.

Os dados da ANEEL sobre a atuação desses grupos, no entanto, apontam que a sua participação é inferior ao desejado: 40% desses grupos possuem alguma visibilidade junto à ANEEL, e apenas 11% desses grupos apresentou demandas em reuniões públicas [ELÉTRICA, h]. Os dados apontam que o engajamento desses grupos pode não apresentar significado concreto aos seus participantes, implicando em poucos esforços no suporte às instituições e reduzida representatividade dos consumidores. Os desafios para ampliar a participação social de cidadãos em instituições públicas são grandes [FUNG, 2006a], dificultando a potencial solução de problemas

desse grupo e a pouca aderência aos obstáculos impostos ao setor.

A deficiente representatividade e troca de informações desses indivíduos pode ser solucionada por uma organização estrutural adequada para receber as demandas, bem como atender aos interesses dos consumidores. Essa organização também deve permitir aos consumidores com interesses em comum se agrupar baseados no atendimento das demandas individuais e satisfação de objetivos. O atendimento dos interesses dos consumidores também deve considerar os interesses individuais, permitindo a criação de iniciativas locais que possam auxiliar no cenário de transição energética desejada. A seguir, alguns grupos são analisados para diferentes países e interesses.

Nos estados americanos do Missouri e Kansas, o grupo *Midwest Energy Consumers Group* representa grandes consumidores do tipo industrial e comercial [MIDWEST ENERGY CONSUMERS GROUP,]. O grupo pratica *lobby* junto ao legislativo estadual, isto é, representa o grupo diante da *Missouri Public Energy Commission* - comissão estadual que regula os serviços de telecomunicações, gás natural, água e esgoto de propriedade de investidores, e a operação de infraestrutura de gás natural de propriedade de municípios, e cooperativas elétricas rurais - *Kansas Corporation Commission*- comissão para serviços de utilidade pública do estado do Kansas, administrada por três comissários apontados pelo governador e aprovados pelo Senado, com a tarefa de regular serviços de telecomunicação, gás natural, transporte e energia elétrica -, e *Missouri General Assembly*, o legislativo estadual, do tipo bicameral e composto por senadores e representantes políticos dos distritos. O grupo possui como membros diversas empresas com sede nos estados, e foca no aumento ou redução das taxas de energia elétrica para ampliar os ganhos dos seus membros, reduzindo custos e ampliando os lucros com a venda da energia.

A *Industrial Energy Consumers of Pennsylvania* (IECPA), fundada em 1982, é uma organização composta por grandes consumidores de energia e com instalações localizadas no estado [IECPA,]. A organização monitora as atividades das comissões públicas *Public Utility Commission*, participa de processos regulatórios nas comissões públicas e de processos legislativos relacionados à questões de impacto direto para a atuação de grandes usuários de energia. A organização atua na reestruturação dos setores de gás natural e elétrico, e na promulgação da legislação de melhorias do sistema de distribuição (*Distribution System Improvement Legislation*- DSIC). A organização apoia e promove mercados competitivos de energia e estruturas regulatórias que facilitem o acesso dos seus membros à esses mercados.

Na ausência de condições competitivas no fornecimento, a IECPA apoia mercados de monopólio regulado e com taxas de serviços que reflitam os custos incorporados de consumidores individuais. O objetivo da organização é auxiliar seus membros a melhorar suas posições com-

petitivas utilizando a compreensão de questões energéticas relevante à continuidade do negócio. Esse objetivo é satisfeito ao fornecer aos membros da organização informações da atual regulação e legislação, e informações de mercado relevantes aos seus resultados.

A organização participa do processo de definição de políticas energéticas na Assembléia Geral, intervém em atividades regulatórias que afetam o fornecimento e custo da energia para grandes usuários, estabelece e mantém relações com tomadores de decisão chave, e desenvolve a articula posições baseadas nos princípios da organização e expectativas de taxas e políticas. Como princípios, a organização defende que o preço da energia regulada deve ser baseada na funcionalidade e alocação de custos de cada consumidor, as empresas reguladas devem fornecer serviços confiáveis e operar de maneira confiável, com um retorno justo como pagamento. Ainda como princípios, a IECPA defende processos regulatórios federais e estaduais oportunos e responsivos às demandas dos agentes, de forma a encorajar mercados não discriminatórios e competitivos. As agências regulatórias e a legislação devem consolidar políticas que ampliam a base industrial e de produção do estado, promovendo a criação de empregos no estado.

Como benefícios à seus membros, a comissão destaca a troca de informações sobre riscos e oportunidades no mercado de energia, auxiliando a melhor tomada de decisão, incluindo dados mensais de decisões do legislativo e agências regulatórias, análise de questões energéticas no estado e de âmbito nacional, acesso à questões regulatórias técnicas e governamentais, e recursos legais que permitam seus membros a manejar negócios mais competitivos.

O grupo *Mutual Energy*, localizado na Irlanda do Norte, é um agente no setor do país que atua com foco em decisões de longo prazo que beneficiem os consumidores locais [MUTUAL ENERGY,]. A empresa alega não ter acionistas, e que o foco de suas decisões é assegurar um custo baixo no fornecimento da energia por meio da aquisição de infraestrutura de geração. A empresa alega que o interesse não é o lucro, mas o benefício dos seus consumidores. A empresa atua no setor de transmissão de energia elétrica e gás natural. Ainda que essa empresa não cite a composição de um grupo de consumidores que atuem junto em prol do desenvolvimento de políticas energéticas, ela foi incluída dado o seu caráter social e o foco nos consumidores finais.

Ainda em estágio inicial, a Escócia promove o projeto *Energy Consumer Action Plan* com foco em estabelecer comissões independentes de atuação dos consumidores de energia elétrica [CHAIR, 2019]. O país, com o objetivo de zerar emissões de carbono do setor elétrico até 2025, promove a criação de consumidores para atuação na Escócia e Grã-Bretanha que permitam o endereçamento de questões de cunho regulatório e políticas energéticas. Essas comissões permitirão aos consumidores serem ouvidos em questões energéticas. O objetivo é assegurar que o mercado de energia seja responsivo aos interesses e necessidades das pessoas, assegurando

que o atendimento da demanda dos cidadãos seja o foco do setor. As autoridades públicas deverão introduzir um dever estatutário para a inserção dos interesses populares em decisões regulatórias e políticas.

Nos Estados Unidos, o *Green Energy Consumers Alliance* é uma organização sem fins lucrativos focada em incentivar o uso de fontes renováveis de energia em diversas cidades do estado de *New England* [GREEN ENERGY CONSUMERS ALLIANCE,]. O grupo advoga em prol de políticas energéticas de eficiência energética, ampliação de uso de veículos elétricos e uso de fontes renováveis de energia para suprir a demanda de prédios e residências. Nesta área, o grupo atua junto aos legisladores estaduais e tomadores de decisão com o objetivo de aprovar leis e projetos que ampliem o uso de fontes renováveis de energia. O grupo também possui ações educativas e eventos locais, explicando as vantagens dos habitantes do estado em optar por fontes renováveis. A organização apóia mais de 390 projetos de sistemas fotovoltaicos em Massachussets e 33 no estado de New England, bem como a compra de energia gerada por turbinas eólicas, projetos hídricos e biodigestores.

Como o estado onde a organização está sediada permite que seus cidadãos escolham quem será seu fornecedor de energia, o grupo atua junto aos residentes e empresas da comunidade, incentivando a construção de plantas comunitárias, alegando a tomada de decisões de pessoas pertencentes à comunidade e não de grandes investidores ou empresas que atuam no setor. Os domicílios que fazem a mudança nos seus fornecedores colaboram com taxas mensais entre \$20 a %50, para manutenção dos programas desenvolvidos pela associação, e podem deduzir esse valor de impostos federais. O foco dessa associação é residentes e pequenas empresas.

Na região de *New England*, o grupo *Consumers for Sensible Energy* representa os consumidores do estados de Massachussets e Connecticut [CONSUMERS FOR SENSIBLE ENERGY,]. O grupo atua em conjunto com os consumidores tencionando a promoção de políticas energéticas que assegurem o fornecimento adequado de energia e com preços justos. O grupo faz lobby frente à tomadores de decisão em conjunto com outros grupos e, também, se torna membro de outras associações que atuam na composição de preços para os consumidores. O foco do grupo é promover políticas energéticas contra a utilização de gás obtido com o método de *fracking*, e a construção de novas infraestruturas para transporte de gás natural que não causem impactos significativos na redução do preço do recurso, tampouco no aumento da confiabilidade ou segurança no fornecimento.

Com o objetivo de reduzir a necessidade de gás obtido por *fracking*, o grupo incentiva medidas de eficiência que resultem em redução do consumo de energia, e diminuam a necessidade de gás e combustíveis fósseis importados de outros estados; o grupo também incentiva a redu-

ção da dependência do emprego de combustíveis O grupo alega que as companhias do setor elétrico devem investir em melhorias e infraestrutura, que poderão resultar em energia obtida com custos mais baixos e buscando eficiência.

A empresa *Consumers Energy*, do estado americano do Michigan, atua por meio de *advocacy* em prol de consumidores, seus acionistas e colaboradores [CONSUMERS ENERGY,]. A empresa atua na geração de energia e operações de gás natural, e seu foco são consumidores do tipo residencial e empresas. O grupo atua por meio de comitês que informam e ajudam a moldar políticas públicas que permitam à companhia prover serviços energéticos seguros, confiáveis e acessíveis. Há três tipos de categorias que o grupo atua politicamente. A empresa incentiva seus colaboradores a participar do processo político; esse grupo de chama *Employees for Better Government*. A participação dos colaboradores em atividades políticas de cunho civil, como, por exemplo, ações para incentivo de voto, bem como as contribuições corporativas para incentivos à ações de políticos aderentes à atividades raízes em esfera estadual e federal.

O grupo australiano *Energy Consumers* foi criado pelo *Council of Australian Governments* e busca promover os interesses dos consumidores em questões relacionadas ao preço, qualidade, segurança e confiabilidade no fornecimento de serviços energéticos [ENERGY CONSUMERS AUSTRALIA,]. O grupo conduz pesquisas e análises, identifica questões e trabalhos com outras organizações de consumidores, ombudsman, companhias de energia e governo para melhorar os serviços para os consumidores. O foco são consumidores do tipo residencial e pequenos negócios.

O grupo disponibiliza pesquisas periódicas com os consumidores alvo, buscando evidências e pontos-chave essenciais para essas pessoas, e devolve esses pontos para o mercado, procurando influenciar o mercado em prol desses consumidores. O grupo acredita que as escolhas dos consumidores quanto aos sistemas de energia e proporcionar o controle para que famílias e pequenas empresas possam gerenciar seu consumo resulta em parceria em mudanças importantes para o setor elétrico no país. Para isso, eles buscam construir circunstâncias únicas que permitam às pessoas gerenciar o uso do recurso bem como seus custos. Para isso, ferramentas e suporte devem ser fornecidos aos consumidores, como informação, dados, tecnologias, entre outros.

Um corpo técnico com experiência em *advocacy* junto aos consumidores, mercado de energia e regulação compõem o grupo. Os projetos são referentes à uma pesquisa periódica das necessidades, preferências e problemas dos consumidores em relação às atuais políticas energéticas, regulação e mercado; outra frente de trabalho também identifica questões das comunidades em relação às demandas e expectativas de consumidores, apresentando questões que possam

alterar as deliberações de tomadores de decisão, reguladores e empresas. O grupo também promove fóruns, auxilia o governo e companhias a prover serviços e programas para gerenciamento do consumo, controla variações nas tarifas e constrói uma base de evidências dos impactos reais das tarifas na condução de pequenas e médias empresas. Por fim, o grupo advoga em prol de propostas de negócios e resultados da regulação que reflitam as preferências dos consumidores.

No Brasil, a lei 13.848 de 2019, conhecida como a Lei das Agências [BRASIL,], determina que a consulta pública é o instrumento de apoio durante o processo de tomada de decisão e que permite consultar a sociedade, por via de críticas, sugestões e contribuições enviadas à agência por qualquer interessado, ou outros meio de participação social, por via direta, organizações ou associações legalmente reconhecidas. Para isso, a agência disporá um período para consulta pública, que iniciará após a publicação do despacho ou aviso via Diário Oficial da União ou no *site* da própria agência; esse período terá duração mínima de 45 dias, com exceção de casos de urgência e relevância.

A lei determina que as críticas e sugestões encaminhadas pelos interessados deverão ser disponibilizadas na sede ou no *site* da agência em até dez dias após o prazo da consulta pública; a agência deverá apresentar um posicionamento em até 30 dias úteis após a reunião do conselho diretor ou da diretoria colegiada. Em caso de atos normativos de interesse geral dos agentes econômicos, consumidores ou usuários dos serviços prestados, o Ministério da Economia poderá opinar em relação aos impactos regulatórios esperados. A agência reguladora poderá convocar audiência pública para formação de juízo e tomada de decisão sobre matéria relevante. A audiência pública é o instrumento de apoio à tomada de decisão onde os interessados poderão se manifestar oralmente em sessão estabelecida para debates de assuntos de interesse.

Em 1993, a lei 8.631 [LEI...,] estabelece a criação dos Conselhos de Consumidores de Energia Elétrica. Esses conselhos são órgãos sem personalidade jurídica e de caráter consultivo, e composto por representantes das unidades consumidoras do tipo residencial, rural, poder público, comercial e industrial, com o propósito de opinar em assuntos relacionados à prestação do serviço público de energia elétrica. Um Conselheiro Titular, representante de uma das classe consumidora integrante do Conselho, um conselheiro suplente e entidade representativa das classes de unidades consumidoras, instituição responsável por indicar candidatos ao cargo de conselheiro, são os cargos previstos no conselho de consumidores. A representação no Conselho é de caráter voluntário e não remunerado.

A resolução normativa 451 do ano de 2011 é aquela que descreve as regras gerais para a criação dos Conselhos de Consumidores e contém as competências esperadas desses grupos

[ELÉTRICA, f]. A criação dos conselhos é de responsabilidade das distribuidoras, e este deve ser consultado em questões de caráter orientador, analítico e avaliativo de assuntos relacionados ao fornecimento, incluindo tarifas e adequação dos serviços prestados ao consumidor. Esses conselhos atuam em ações educativas, orientando os consumidores quanto à melhor utilização da energia elétrica, esclarecendo direitos e deveres, e acompanhando situações de conflitos entre classes representadas no conselho; também é responsabilidade do conselho divulgar os assuntos de interesse das classes representadas. Como tarefa, esse grupo ainda cooperam com a distribuidora na formulação de propostas de assuntos de interesse e competência do conselho, encaminhando à ANEEL ou grupo indicado, e solicitar a atuação da ANEEL ou órgão conveniado em caso de conflitos entre distribuidora e classes representadas.

Os conselhos são obrigados a realizar, no mínimo, 6 reuniões anuais e divulgar aos consumidores de sua área de concessão a realização de audiências e consultas públicas promovidas pela ANEEL. Após a determinação dos problemas identificados, as distribuidoras deverão apresentar quais as medidas a serem realizadas para resolver os problemas apresentados ou expor justificativas. O Conselho também deve ter, ao menos, uma reunião anual com a diretoria da distribuidora, com o objetivo de apresentar as providências adotadas pela empresa em relação às propostas do grupo. Os gastos com a manutenção e condução do Conselho são de responsabilidade da distribuidora.

A ANEEL deve realizar reuniões anuais, no mínimo, com a coordenação do Diretor-Ouvidor, e representantes regionais dos Conselhos de Consumidores. De acordo com dados da agência reguladora, atualmente há 53 conselhos no Brasil: no entanto, a ANEEL declara que apenas 40% das atividades desses conselhos são visíveis à agência. Em reunião técnica entre presidentes e Conselhos de Consumidores, realizada em março de 2019, a agência divulgou que 30% dos conselhos estão em desconformidade quanto à prestação de contas, apenas 35% apresentaram alguma contribuição durante o período de 2017 e 2018, 32% não participou do processo de revisão tarifária junto à respectiva distribuidora, 11% dos representantes realizaram sustentação oral em reunião pública da Diretoria. Quanto à qualificação dos membros dos conselhos, apenas 20% investiu em ações desse tipo, e apenas 7% desenvolveu ações educativas junto aos consumidores que representam. Grande parte não implementou as ações planejadas.

A participação no setor elétrico na forma de grupos não é, portanto, original ou incomum. O foco desses grupos vão desde assegurar que o custo do recurso esteja dentro de um patamar aceitável por esses consumidores ou, até, que permita o crescimento de negócios locais, até a atuação junto à membros do legislativo ou outras arenas políticas para atuar em questões sobre fontes renováveis de energia. A partir do levantamento dos grupos e empregando a metodologia do Cubo Democrático, esses grupos serão avaliados com o objetivo de investigar metodologias

que permitam a atuação ativa desses atores.

A participação social no setor elétrico visa em examinar mecanismos que permitam aos consumidores expor suas demandas e satisfazer seus interesses. consumidores, portanto, serão definidos como aqueles que transpõem o papel de consumidor de energia elétrica, mas também passam a ser geradores. Nesse caso, a geração não apenas atende à demanda própria dos consumidores, mas há a possibilidade de atender ao setor, isto é, aos demais consumidores e/ou consumidores. O consumidor tradicional do setor elétrico não é inativo e sem interesses no setor, visto que o próprio modelo das agências reguladoras motiva a participação dos cidadãos, porém um prossumidor é considerado como aquele com interesse na qualidade e manutenção do serviço.

Os consumidores de energia elétrica são vistos como um grupo de interesse, ainda que dispersos. Nesse caso, a definição atual na regulação brasileira sobre a composição de corporativas entre micro e mini geradores atende à ideia de agrupamento por um interesse, que é a divisão da energia gerada na infraestrutura comum e dos benefícios financeiros que possam ser obtidos no seu despacho. No entanto, esses não serão considerados como os interesses dos consumidores no setor elétrico, visto que sua atuação não se restringe à divisão da infraestrutura de geração. Nesse caso, os consumidores são um grupo de interesse com foco em ampliar a representação nas arenas de decisão de políticas energéticas, assegurando a quantidade de membros que possam garantir a representatividade do grupo e a disseminação do conhecimento prático e específico no processo.

Ampliar a geração distribuída depende da capacidade de persuadir consumidores a alterar seu estado no setor elétrico para consumidores: essa etapa é essencial para assegurar a diversificação da matriz energética, aumentando a oferta de fontes renováveis de geração de energia. Para o sucesso dessa etapa é necessário o acesso e a escalabilidade do BESS. Ainda que o sucesso no uso de fontes renováveis de geração não obrigue à aquisição de tais sistemas, o emprego dessas estruturas permite a manutenção na qualidade do serviço fornecido por esses geradores, tanto relacionado à garantia do fornecimento em períodos adequados à demanda e/ou custos da energia elétrica, mas também quanto à manutenção dos níveis técnicos exigidos para esse fornecimento.

A ideia de comunidades energéticas é apresentada como aquela que permite aos consumidores gerar a energia e fornecer serviços baseados em energia elétrica para membros e investidores. Conhecida como Comunidade de Energia composta por cidadãos (tradução da autora para *Citizen Energy Community*), esses grupos têm o foco de fornecer acesso de consumidores/consumidores ao setor elétrico não apenas como fornecedores de serviços, mas também in-

cluindo a participação em processos decisórios de políticas energéticas [ROBERTS; FRIEDEN; D'HERBERMONT, 2019],[SCHOOR et al., 2016]. O objetivo de tais grupos é auxiliar na transição para um sistema elétrico descentralizado, flexível e com usuários ativos, não apenas na venda/compra de serviços baseados em energia elétrica, mas também no processo decisório. As comunidades energéticas aceitam como membros cidadãos comuns, pequenas e médias empresas, e até membros de órgãos municipais. Esses grupos são escolhidos como forma de assegurar a participação aberta e autônoma no setor, gerando benefícios sociais, econômicos e ambientais para a comunidade, ao invés de manter o foco em lucros financeiros.

Esse grupo possui o foco principal em geração, incluindo a geração de fontes renováveis, distribuição, fornecimento, consumo, agregação - quando um determinado grupo combina de comprar energia de um ou mais fornecedores específicos em volumes menores, mas aproveitando vantagens de uma compra de maior volume -, armazenamento de energia, serviços de eficiência energética e carregar veículos elétricos [ROBERTS; FRIEDEN; D'HERBERMONT, 2019], [EARTH, 2018]. Simultaneamente, o conceito de Comunidades de Energia Renovável (tradução livre de *Renewable Energy Community*) se assemelha àquele das comunidades energéticas, mas difere quanto à sua localização geográfica de seus participantes e estrutura de propriedade: os membros dessas comunidades deverão estar próximos ao local da propriedade, incluindo para o controle da infraestrutura, e seus benefícios são restritos àqueles que são membros ou investidores na infraestrutura [ROBERTS; FRIEDEN; D'HERBERMONT, 2019]. As Comunidades de Energia Renovável têm o direito de produzir, consumir, estocar e vender energia por meio de acordos, mas também podem dividir energia com a comunidade; não há restrição de mercados para atuação dessas comunidades.

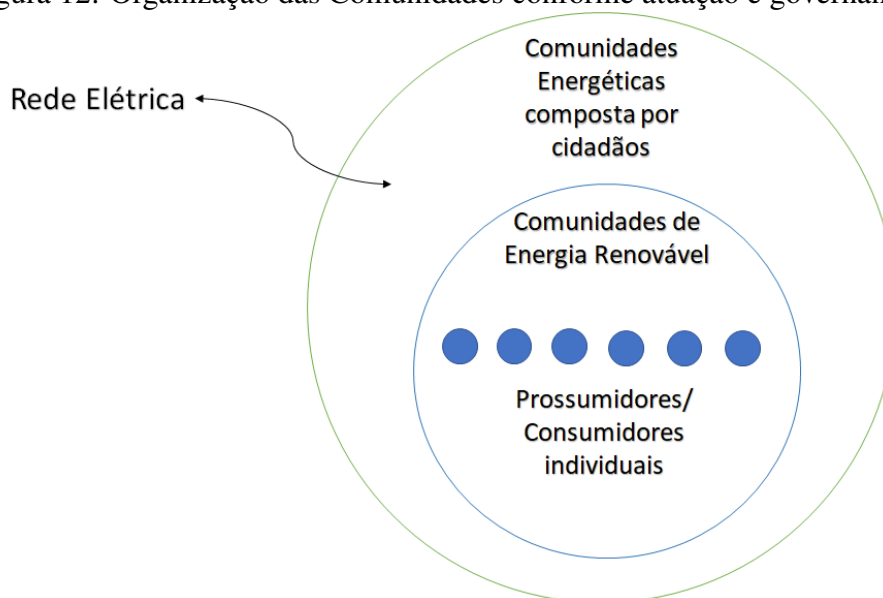
Dado o critério participativo desses grupos, membros de governos municipais estão ingressando nas comunidades energéticas para ampliar a participação em processos de decisão de políticas energéticas. A cooperação entre as comunidades energéticas, realizada de forma coordenada, é tida como uma solução para assegurar a flexibilidade do setor elétrico, aumentando o benefício social e planejamento otimizado da rede, permitindo o uso econômico de recursos, reduzindo o custo de negócios locais e facilitando a transição energéticas de diversas localidades [ROBERTS; FRIEDEN; D'HERBERMONT, 2019],[SCHOOR et al., 2016]. Ambas as comunidades se diferenciam das demais estruturas existentes de geração, incluindo microrredes e sistemas de geração locais de energia, dado os requisitos de adesão (autônoma e livre), mas também quanto ao propósito e governança: os dois tipos anteriores são considerados como aqueles focados em geração de energia renovável para auto-consumo. Microrredes e consumidores que geram para próprio consumo não são considerados como uma comunidade energética.

Ambas as comunidades citadas nessa seção são consideradas como atores não comerciais no

mercado de energia; as comunidades são consideradas como uma forma de organizar a atividade de troca dos serviços baseados em energia elétrica, conforme a descrição anterior. Dado o caráter mais restrito de utilização dos serviços baseados em energia elétrica das Comunidades de Energia Renovável, isto é, com foco nas comunidades locais [ENERGY, 2019], essas podem atuar como membros internos da Comunidade de Energia Composta por Cidadãos, mas não o contrário. Essa organização das duas comunidades é tida dessa maneira dada a possibilidade da Comunidade de Energia composta por Cidadãos poder acessar a rede elétrica e atender tanto serviços requisitados dentro da própria comunidade mas também por outros sistemas locais.

A Figura 12 mostra a organização por atuação e governança das duas comunidades conceituadas. A figura mostra que os consumidores ou consumidores poderão atuar dentro das Comunidades de Energia Renovável, adquirindo ou gerenciando serviços baseados em energia elétrica próximos a sua localização, e estas comunidades estão, assim, inseridas na Comunidades de Energia composta por cidadãos, que poderão fazer a governança dos serviços entre as comunidades que a compõe e daqueles adquiridos de empresas externas ao grupo, bem como fazer a representação dos grupos e indivíduos que o compõem.

Figura 12: Organização das Comunidades conforme atuação e governança



Fonte: Elaborada pela autora

A estrutura de comunidades como definidas para a União Europeia não existe no Brasil, mas a possibilidade de atuação como cooperativas se assemelha à definição das Comunidades de Energia Renovável. A Resolução Normativa 687 [ELÉTRICA, g] define os conceitos de geração compartilhada, empreendimento de múltiplas unidades consumidoras e autoconsumo remoto. A Resolução conceitua que geração compartilhada é aquela em que consumidores sob mesma área de concessão e com geração em local diferente da unidade consumidora podem se

agrupar em consórcio ou cooperativa.

As múltiplas unidades consumidoras estão, portanto, localizadas em uma mesma propriedade ou propriedades próximas e poderão utilizar a energia gerada por mini ou micro geração local de forma fracionada e independente para cada consumidor. Autoconsumo remoto estabelece que os consumidores que possuam unidades geradoras fora de sua propriedade terão direito ao uso do recurso. Esses conceitos permitem classificar os mini e micro geradores que atuem sob a forma de cooperativa ou consórcio como uma espécie de grupo, ainda que não confirmem o caráter de participação no setor, tampouco a participação em processos decisórios de políticas energéticas.

A organização dos consumidores e a definição de consumidores modernos amplia a percepção do sistema e da infraestrutura em que estão inseridos, ampliando as discussões dentro das arenas e produzindo respostas necessárias para a flexibilidade do sistema, aumenta a sensibilização para o papel que ocupa dentro da configuração proposta. Uma vez que a implantação do BESS do lado da distribuição demanda um conhecimento específico por parte dos consumidores, esse pode ser um fator limitante para a participação, especialmente quanto à operação e flexibilidade dentro da rede em que estão inseridos, o que inclui a percepção dos possíveis benefícios e riscos.

Esse fator impacta nas expectativas e na viabilidade sob a perspectiva cultural, uma vez que a percepção dos benefícios e riscos é subjetiva e também é vinculada à troca de experiências e resultados obtidos. A análise dos impactos e a estimativa dos benefícios, incluindo fatores como manutenção e impactos no entorno, confiabilidade, segurança, impactos ambientais e na saúde, e sensação de desenvolvimento são temas vinculados às expectativas culturais e sociais.

Dada a escala de operação e governança para os BESS, questões relevantes à justiça, independência e conveniência. As iniciativas se referem à descentralização da operação e a criação de uma nova rotina de operação e gerenciamento do sistema, a relação de dependência com os demais atores e os efeitos da operação na comunidade. Esses parâmetros dependem do nível de centralização e a articulação dessa centralização, incluindo a flexibilidade na tomada de decisão quanto ao fornecimento dos serviços, atendimento das demandas e distribuição dos custos.

A descentralização da geração pode ampliar a sensação de injustiça e questões relacionadas à independência dos consumidores frente aos demais atores, uma vez que o conhecimento necessário para operar, acesso às informações e desigualdade no acesso à infraestrutura e distribuição dos custos, beneficiando somente aqueles com maior poder e capacidade de agência. A formação de preços para os serviços baseados em energia elétrica favorece aqueles com maior capacidade de criação de situações favoráveis, beneficiando consumidores e comunidades com

maior poder aquisitivo, ou seja, aqueles com maior capacidade de lidar com a carga de preços de energia de pico mais alto e manutenção. Assim, a sensação de justiça por prestar um serviço baseado em energia elétrica de qualidade e atendimento à demanda do local pode ser substituído por uma recompensa financeira em que os atores com infraestrutura mais robusta e capacidade de resposta às variações de preços são aqueles com maior compensação parte dos demais atores.

Essa situação gera um desequilíbrio entre os atores, uma vez que implica na redução da independência na tomada de decisão e no atendimento às demandas das comunidades. A interpretação de como a participação no setor elétrico pode ocorrer parte de uma proposição individualista de tomada de decisão, o que implica que a identificação de propósitos voltados ao atendimento de demandas do grupo e da comunidade são mais complexos. Assim, a capacitação das comunidades e indivíduos que operam infraestrutura de menor escala é um passo interno dos grupos que lidam diretamente com as comunidades e com consumidores. A etapa de divulgação das informações e escalabilidade de soluções para Geradores Distribuídos implica na ruptura do estado atual de dependência dos demais atores e os capacitar a gerenciar os próprios serviços.

A mudança para esse novo estado origina um processo de descarbonização do setor e redução de impactos negativos por meio da integração e mudanças culturais fortes por parte dos consumidores, aumentando a aceitabilidade e a confiança entre os atores. Esse modelo é mais engajado e próximo dos princípios da justiça energética, relacionado aos direitos e deveres dos consumidores quanto à gestão dos serviços. Essa discussão reflete nas decisões constantes desses consumidores, uma vez que é relacionada à manutenção do estado material e na negociação de valores e expectativas frente aos demais atores do setor elétrico.

A partir dessa perspectiva mais participativa, e consolidada pela viabilidade do BESS, a eficiência no fornecimento dos serviços, hoje determinada pela infraestrutura e capacidade de geração, fica mais voltada à viabilidade dos serviços, gestão da demanda e métricas de eficiência. O próprio desenho e quesitos técnicos para o BESS, na simplicidade de construção, durabilidade e capacidade, permitem que esse novo cenário se construa.

Aliado à aceitação social, a avaliação de aspectos relacionados ao impacto ambiental e no espaço urbano também devem ser desenvolvidos. A maturidade tecnológica ocasiona a robustez e confiabilidade para o gerenciamento desses sistemas a ponto de reduzir acidentes e riscos de toxicidade, e facilitar a programação e o gerenciamento de processos de manutenção. A cautela com esses equipamentos também é relacionada às informações e conhecimento prévio dos consumidores, que podem associar os riscos com notícias e impactos de acidentes.

A maturidade tecnológica e desenvolvimento da tecnologia ainda pode fornecer à resposta

aos questionamentos e questões de imaginários baseadas na segurança e mitigação de riscos. Essas questões são vitais no caso de BESS e outras fontes de geração renovável dada a proximidade com as residências e locais de convívio dos consumidores. Dessa forma, o tamanho e impactos no espaço também devem ser considerados durante um projeto voltado à implantação do BESS, de forma a minimizar os impactos visuais e acomodar o sistema de forma a não reduzir a mobilidade e a condução das atividades diárias no local.

O tamanho do BESS e a sua relação com a capacidade de armazenamento ainda pode ser um obstáculo para localidades com reduzido espaço disponível e proximidade com centros populacionais. A comparação, nessas dimensões, entre o BESS e outros sistemas que possam fornecer serviços contribui com o processo de escolha de tecnologias mais convergentes ou divergentes com os interesses e dificuldades para a aceitação social.

6.2 Avaliação de aspectos ambientais e sociais relativos ao BESS

Baseado nos serviços previstos, os recursos previstos são quantificados dentro de dimensões estabelecidas no Cômputo e Valoração dos Potenciais Completos (CVPC), ferramenta desenvolvida para auxiliar na determinação de valores para os impactos socioambientais a partir da análise qualitativa, estabelecendo custos socioambientais para os recursos disponíveis. Essa seção foi definida a partir de [GEPEA, 2019b]

A Dimensão Técnico-econômica qualifica as fontes previstas de acordo com itens de ordem técnica, como a vida útil de componentes, potência gerada, fator de capacidade, bem como itens de ordem econômica e financeira, como, por exemplo, ferramentas macroeconômicas de viabilidade, custo por Watt instalado, custos de Organização e Método. Essa dimensão foca na redução dos custos.

Baseada nas premissas de gerenciamento do Gerador Diesel, a caracterização dentro dessa dimensão é detalhada a seguir. Os custos de operação e manutenção são compostos por parcelas fixas - custos de manutenção preventiva anual - e parcelas variáveis, referentes aos custos com o combustível. Este custo será mais afetado pelo preço de compra do óleo diesel; com a redução da operação do Gerador Diesel, os custos com óleo diminuirão, mas ainda tem um impacto significativo para essa fonte. No estudo de Viabilidade econômica, considera-se o custo de compra de um novo Gerador Diesel, bem como todos os custos de instalação da infraestrutura.

A Vida Útil é impactada por ser um motor a explosão, uma tecnologia madura; os principais custos são relativos às manutenções periódicas e preventivas, frequência de utilização do gera-

dor e qualidade do combustível. Um gerador diesel com rotação de 1.800 RPM resfriado por água e com manutenção apropriada pode fornecer aproximadamente 20.000 horas de vida útil. O Gerador Diesel está sempre disponível, com tempo de resposta de 10 a 20 segundos, e pode operar ininterruptamente enquanto houver disponibilidade de óleo Diesel. O seu funcionamento tem bons índices de qualidade, ainda que gere harmônicas quando em operação; dadas as condições de funcionamento do BESS, a geração de harmônicas não influenciará negativamente na qualidade do serviço oferecido.

A tecnologia é amplamente conhecida no Brasil, com fabricação nacional e cadeia de fornecedores local e de fácil acesso; esse ponto também é vantajoso sob a perspectiva da logística e atendimento pós-venda.

O emprego de módulos solares para auxiliar na carga do BESS poderia incorporar benefícios, e por esse motivo a fonte é analisada também nessa seção. Os custos de operação e manutenção são compostos por parcelas fixas, relacionados aos custos de manutenção preventiva e limpeza dos painéis. Os custos também são impactados pelo investimento inicial para aquisição e instalação da tecnologia, mas a possível energia economizada pode minimizar esses custos. Como essa fonte não foi considerada no estudo de viabilidade econômica, o impacto da energia economizada nos custos é supostamente positiva. Com uma vida útil estimada entre 20 e 25 anos, o custo de implantação depende do valor de aquisição dos módulos e instalação, da tecnologia empregada; estima-se, para atender a demanda do consumidor alvo, o custo estimado para aquisição de módulos, estruturas, inversores e mão de obra é aproximadamente R\$ 407.900,00.

Dado o caráter intermitente da geração solar, a geração só é possível quando a luz solar está disponível, e ainda depende de condições geográficas para que possa gerar uma quantidade ótima e com garantias de atendimento da demanda. A energia é gerada em corrente contínua, o que exige inversores para a conversão e futura utilização pelo consumidor ou injeção da energia na rede. Algumas harmônicas são produzidas no processo de conversão, mas reduzido dadas as evoluções no sistema.

Como a geração depende de condições meteorológicas, em períodos que essas condições são satisfeitas a resposta é praticamente imediata. As condições para carga do BESS são as mesmas. Assim, a operação e manutenção é amplamente conhecida, o que permite classificar o sistema como maduro tecnologicamente. A produção é inteiramente feita em outros países, acrescentando o tempo de compra e importação para esse tipo de sistema, mas a cadeia de fornecimento e logística está estabelecida no país, reduzindo barreiras de acesso.

Para o BESS, os custos de operação e manutenção são compostos por parcelas fixas, custos

de manutenção preventiva e troca de baterias, e o fluxo de caixa depende do custo de aquisição e manutenção do sistema, bem como da redução de custos de serviços baseados em energia elétrica durante a vida útil. As baterias têm vida útil de aproximadamente 8 anos e o sistema de controle tem vida útil de 20 anos.

Quando carregadas e atendendo requisitos operacionais, o BESS tem rápida resposta, a depender do serviço a ser fornecido. O BESS fornece energia em corrente contínua e demanda inversores para que os serviços previstos sejam fornecidos; devido à natureza eletrônica desses equipamentos, harmônicas são produzidas, mas controladas e reduzidas. O BESS tem atuação instantânea quando requisitado, e no caso de baterias de íons de lítio a tecnologia é considerada madura e apta para uso em escala.

Os equipamentos são importados, e os sistemas não estão qualificados para pronta-entrega, especialmente para aqueles de grande escala; a cadeia de fornecedores sendo montada. Esse ponto dificulta a acessibilidade da tecnologia para consumidores.

A dimensão ambiental, durante a operação, é qualificada em atributos e subatributos vinculados aos impactos negativos que as fontes previstas possam ter. O Gerador Diesel, para o meio terrestre, não gera dejetos sólidos e líquidos durante a sua operação, e por ocupar área pertencente ao próprio consumidor é considerada de impacto mínimo para o entorno. A fonte também não causa mudanças no fluxo de água ou alteração da temperatura para meio aquático, e não emite poluentes que afetam o meio aquático.

Em relação ao meio aéreo, não há emissões de material particulado e poluente desse tipo, mas a emissão de gás carbônico equivale a 55 toneladas por ano. Para a fonte de geração solar, não há geração de dejetos sólidos ou líquidos, tampouco mudanças no fluxo de água corrente ou mudança de temperatura para esse meio. A área ocupada é irrelevante, pois a fonte estaria instalada dentro de área privada e pertencente ao consumidor.

Para o meio aéreo, a geração solar não emite material particulado ou outros poluentes e tampouco há produção de gases do efeito estufa para essa fonte durante a sua operação. Para o BESS, também não há geração de dejetos sólidos ou líquidos, e não há impactos expressivos no meio aquático. Essa fonte também não emite materiais particulados e outros poluentes, incluindo gases do efeito estufa, durante a operação.

A dimensão social avalia os impactos do BESS sob atributos e subatributos subordinado à melhorias e impactos na sociedade e entorno. Para o Gerador Diesel, há produção de ruído durante a operação, e, a depender do local a ser instalado gera poluição visual. A poluição olfativa, durante operação, gerada por emissão dos gases pode afetar as pessoas na proximidade, que podem perceber leve alteração no conforto olfativo. Ainda para o Gerador Diesel, há a

alteração da temperatura ambiente, ainda que apenas para o local de instalação e operação. A emissão de gás carbônico pode causar impacto na saúde das pessoas, especialmente para aquelas que executem atividades próximas ao Gerador Diesel.

Caso seja instalado em local fora do ambiente urbano, esses parâmetros podem ter menor relevância na avaliação do Gerador Diesel. No entanto, há impactos na infraestrutura local, que sofre ajustes para receber a infraestrutura, sem impactos significativos nas atividades econômicas regionais. Assim, não há efeitos em índices de desenvolvimento humano, criação de empregos, e qualidade para os possíveis empregos criados.

Para a geração solar, não há produção de ruídos e poluição olfativa, e os impactos da instalação dos módulos altera a paisagem e pode alterar a sensação térmica no entorno. Ainda assim, não há impactos significativos na saúde das pessoas que exerçam atividades no entorno, pois a emissão de gás carbônico é inexistente durante a operação.

O maior impacto na agricultura pode ser relacionado ao uso do solo, mas sem impactos negativos diretos pela operação dos módulos, e as atividades econômicas podem ser impactadas positivamente pelo uso de energia menos cara e com menor impacto ambiental, ainda que o uso dessa fonte não gere empregos diretos. Assim, os impactos sociais mais relevantes para fonte solar são relacionadas ao acesso e custo dos serviços baseados em energia elétrica.

O BESS não produz ruídos e poluição olfativa, mas há impacto visual no local de instalação, o que implica em mudanças quanto ao uso do solo e consequências na infraestrutura do entorno do sistema, já que questões de segurança e confiabilidade durante a operação ainda são analisadas em relação à essa fonte. Não há impactos diretos na saúde das pessoas, e as melhorias quanto às atividades econômicas são relacionadas ao acesso à uma fonte com potencial menor de impacto ao meio ambiente e com menor emissão de gás carbônico e resíduos, em comparação ao Gerador Diesel.

A dimensão política valora os recursos quanto ao apoio e condução de processos relacionados à escalabilidade de determinadas fontes em relação ao apoio da esfera governamental em diversas esferas. Os atributos e subatributos determinados para essa dimensão têm o objetivo de reduzir o risco de subjetivar o tema.

Para o Gerador Diesel, não há apoio político específico, mas o óleo Diesel conta com subsídios e incentivos fiscais. Mudanças de políticas em relação ao óleo Diesel, no entanto, podem causar grande variação no custo do recurso, o que não torna a geração baseada no combustível menos custosa. Assim, o nível de aceitação social não é um impeditivo para o uso da fonte em questão, não alterando o nível de aceitação dos consumidores, que não são afetados diretamente pelo uso do Gerador Diesel pelo grupo de consumidores alvo desse estudo. As empresas do

setor de energia se beneficiam do uso de Geradores a Diesel quando seu funcionamento é empregado para reduzir o sistema durante horários de ponta ou de falhas na distribuição.

Como a produção dos Geradores Diesel são feitas em território nacional, o acesso e custo são fatores que favorecem o uso, até mesmo para regiões isoladas ou com problemas de acesso à fontes renováveis de geração de energia, como é o caso da fonte solar. No momento, não há apoio político específico para esse fonte, ainda que a recente Lei 14.300 [LEI. . . ,] estabeleça o Programa de Energia Renovável Social (PERS), voltada a financiamento especiais para instalação de projetos de energia solar para consumidores classificados como Residencial e Baixa Renda, e proponha mudanças na tarifação para Geradores Distribuídos.

Como a lei só será válida a partir de março de 2023 e o grupo de consumidores citado esteja fora do escopo, conclui-se que não há apoio político e financiamento especial voltado para a instalação de fontes solares, incluindo esquema de tarifação especial ou até mesmo isenção de impostos. Não há impedimento por parte da sociedade e consumidores para essa fonte, ainda que, do ponto de vista governamental, a implantação de fontes renováveis favoreça o cumprimento de metas de emissão de carbono e acordos internacionais voltados ao meio ambiente.

Como a tarifação e os impactos na rede ainda estão em fase de análise, as empresas do setor de distribuição começam a voltar a sua atenção para esse tipo de fonte, analisando seus modelos de negócios e impactos no faturamento das empresas, bem como os impactos à infraestrutura da rede de distribuição. Dada a escalabilidade da instalação dessas fontes, esse tende a ser um problema no futuro próximo para essas empresas que, dado o poder e capacidade de agência, podem facilitar o acesso à fontes renováveis e gerar um novo modelo de negócios mais inclusivo.

Como grande parte da infraestrutura necessária para a geração solar é produzida fora do Brasil, ela está sujeita a variação cambial e impostos, o que impacta significativamente seus custos. Não há projetos de apoio à produção nacional, tampouco desenvolvimento de tecnologia, com recursos financeiros voltados à Pesquisa e Desenvolvimento.

O BESS, ainda que seja um recurso novo e com alto potencial de mudança no setor, não tem um apoio político específico; o crescente interesse da ANEEL e demais entidades vinculadas à padronização, como o caso da ABNT, e vinculadas ao governo federal indicam que há interesse no BESS e relativo apoio político. Não há apoio fiscal ou a determinação de esquema tarifário diferenciado para o BESS no país. Como a discussão e discussão sobre a implantação da tecnologia é incipiente, e a inexistência de apoio, não há também impeditivos ou não aceitação por parte do governo para o BESS.

A sociedade e consumidores, ainda em relação ao caráter incipiente e pouca perspectiva

quanto aos impactos do BESS no fornecimento de serviços baseados em energia elétrica, tem nível de aceitação alto, uma vez que não são, ainda, diretamente afetados. Já para as empresas de distribuição, a tecnologia ainda está em estágio inicial e ainda não causa impactos significativos na sua infraestrutura e modelo de negócios. Semelhante à fonte solar, a escalabilidade e crescente interesse causará, em um futuro próximo, impactos para essas empresas, que investem e analisam como seus lucros serão afetados e seus padrões de qualidade de fornecimento de serviços.

Os custos para essa tecnologia, reforçada por sua não produção em território nacional e falta de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento, dependência de moeda estrangeira e altos custos de importação ainda são pontos de barreira para essa tecnologia, do ponto de vista político.

6.3 Considerações sobre o Capítulo

A análise de critérios que causam o agrupamento de consumidores é avaliado nesse capítulo sob a perspectiva da participação e da aceitação social de tecnologias no setor elétrico. Os interesses verificados na análise de condução e motivação para agrupamento desses consumidores auxilia na determinação de parâmetros voltados à barreiras e oportunidades para o crescimento de Geradores Distribuídos e participação em processo decisórios.

Esses parâmetros são, portanto, analisados para determinar quais incentivam a escalabilidade e implantação de tecnologias sob o viés sociotécnico. Da análise desses pontos, a satisfação de interesses econômicos, como a redução de custo, é vista como um fator importante, mas parâmetros referentes aos impactos na comunidade e melhorias significativas na condução de atividades por parte dos consumidores também são relevantes. Dessa forma, quantificar esses impactos, destacando quais poderiam ser aplicados para incentivar a participação e acesso de Geradores Distribuídos à rede e a escalabilidade do BESS para esses atores são destacados na seção referente.

Os impactos visuais, também ao considerar o impacto dentro do espaço urbano e a perda de espaço viável para outras atividades são analisadas por esses grupos, especialmente para aqueles de menor demanda. A sustentabilidade das atividades e a redução de impactos ambientais podem ser vistos como consequências da condução das atividades para esses atores, uma vez que há a preocupação com os impactos, e com as consequências ocasionadas pela viabilização da tecnologia.

A próxima etapa, portanto, propõe o emprego de uma ferramenta de contabilização para

analisar os valores desses parâmetros para a comunidade. A ferramenta, parte da análise para Planejamento de Recursos Energéticos, analisa em diferentes dimensões quais os impactos e quais os valores que esses impactos acarretam para os atores. A dimensão social determina que as novas relações estabelecidas podem ser vistas como oportunidade para que consumidores sejam mais participativos, o que exige novos esquemas tarifários e uma nova relação entre empresas distribuidores e consumidores. Ainda quanto à essas relações, há a perspectiva de criação de novos empregos e formação de equipes especializadas, o que contribui para a melhoria de índices para a comunidade. A geração de empregos é uma das vantagens da implantação de novas tecnologias, e o crescimento da demanda por mão de obra especializada valoriza profissionais e rede de troca de informações.

Para dimensão ambiental, a redução de emissão de carbono e o aumento da penetração de fontes renováveis de geração de energia são pontos de destaque. A melhoria desses índices deve ser parte de uma agenda política, analisada na dimensão política, que pode ser considerada aquela determinante para a criação e estabelecimento de um novo sistema de geração e diversificação da matriz energética. A regulação tem forte papel nessa dimensão, estabelecendo regras e padrões para trocas e fornecimento de serviço entre os atores estabelecidos.

Esse ainda é um ponto de atenção para o Brasil: ainda que a escalabilidade do BESS ainda esteja em caráter incipiente no país, a criação de regras e apoio para aqueles interessados na tecnologia se faz necessária para ampliar a aceitação e as vantagens sociais da implantação.

7 CENÁRIO DE TRANSIÇÃO PARA O BRASIL - ESTUDO DE CASO

Esse capítulo apresenta o Estudo de Caso de implantação do BESS em um consumidor real. A principal análise é relacionada à viabilização de serviços que contribuam para a redução de custos para um consumidor aderente à esquema tarifário do tipo Tempo de Uso (*Time of Use*, ToU), do tipo cativo e preferencialmente do tipo comercial ou pequena indústria. O BESS é analisado sob o foco de substituição do Gerador Diesel como fonte alternativa mais empregada para esses fins, reduzindo os possíveis impactos negativos ao meio ambiente e ampliando o papel do consumidor como ator ativo no setor elétrico.

A análise da viabilidade da implantação do BESS no Brasil é parte da demanda para a participação na chamada pública da ANEEL para projetos voltados ao armazenamento. O do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento “Sistema de Armazenamento Integrado a mais de uma fonte energética – Gestão Híbrida de Sistema Energético Multi-fontes”, parceria entre o Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas (GEPEA) e empresa do setor de energia Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), é aprovado pela agência e prevê a etapa de implantação do BESS em um consumidor real.

Para esse projeto, o um sistema chamado Multi-Fontes utiliza um BESS em um consumidor dentro da área de concessão da CPFL apto a fornecer serviços de gestão de energia [GEPEA, 2019c] e [GEPEA, 2021b]. Para analisar o processo de modelagem da solução para um consumidor real e a viabilidade de serviços baseados em energia elétrica com redução de custos e relativa autonomia para o consumidor, esse capítulo tem como objetivos:

- descrever o processo de análise e definição de consumidor real para implantação do BESS;
- apresentar os requisitos técnicos da infraestrutura necessária para o fornecimento da solução para um consumidor real;
- analisar o processo de escolha da infraestrutura;

- analisar o processo de pós-implantação da solução proposta;
- estudar a eficiência operativa dos serviços propostos para o consumidor real.

7.1 Definições para a Implantação do BESS em consumidor real

No caso brasileiro, um dos pontos de atenção é o uso de Geradores a Diesel para atender a demanda no horário de ponta e como backup. O combustível é o mais empregado no Brasil para a geração durante o horário de ponta, e a quantidade de emprego desses geradores tende a crescer em épocas de alta no preço das tarifas ou escassez hídrica [Nota Técnica DEA 01/15 Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta YEAR = 2015,]. No ano de 2015 eram estimados cerca de 20 mil Geradores a Diesel instalados no estado de São Paulo, [Nota Técnica DEA 01/15 Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta YEAR = 2015,]. Em 2019, foi estimado que 4,9% de toda a capacidade instalada no Brasil era baseada em derivados de petróleo, incluindo nessa quantidade óleo Diesel e óleo combustível [Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 - ano base 2019 YEAR = 2020,].

Com base nos serviços que podem ser oferecidos por BESS e as regras tarifárias vigentes no Brasil para o mercado cativo de energia, que estabelece um método de cobrança por ToU por horário para determinados grupos de consumidores, é possível delimitar um grupo em que a implantação de BESS possa ser feita no curto ou médio prazos. Para isso, assume-se que os custos com energia elétrica seja um fator que incentiva o gerenciamento de uma fonte de geração de energia conhecida, no caso os Geradores a Diesel, e da demanda. Dessa forma, esses consumidores já gerenciam as cargas, reduzindo o consumo em horários com tarifas mais caras, aplicando medidas de eficiência energética ou atuando como geradores durante esse período. Para todos esses casos, é vital a análise do impactos dos custos de aquisição e manutenção de uma fonte própria em comparação com os custos das tarifas.

A partir da expectativa de possíveis consumidores com interesse na viabilização do BESS, o primeiro passo é determinar qual seria esse grupo e um nicho de atuação. Para isso, os possíveis efeitos da operação de Geradores Diesel durante a hora de ponta auxilia na determinação do aprofundamento na curva da empresa distribuidora [GEPEA, 2019a]. Dado a escopo do projeto aprovado pelo ANEEL, foram avaliados consumidores localizados no centro-norte do estado de São Paulo, sob área de concessão da CPFL Energia e classificados no subgrupo A4. Para esses consumidores, ainda classificados como do tipo verde - com valor de demanda e custo mais alto

no transporte da energia elétrica-, e do tipo azul - com dois valores de demanda, um para cada período de utilização durante o dia. A subtração da média de demanda pelo valor da demanda contratada na ponta é tida como o efeito líquido da presença de Gerador a Diesel.

Tabela 4: Estimativa do impacto líquido do uso de Gerador a Diesel no horário de ponta

Demanda (em kW)	Quantidade de instalações	Capacidade (kW)
inferior a 100	7.412	366.737
101-300	2.473	394.848
301-1000	551	274.071
1.001 - 2.000	63	85.759
2.001 - 3.000	17	39.396
3.001 - 4.000	2	6.206
4.001 - 5.000	2	8.912
Sem a atuação de geradores	320	0
Total	10.840	1.175.929

Fonte: [GEPEA, 2019a]

A Tabela 4 mostra o impacto líquido da demanda contratada no horário de ponta, ou seja, para consumidores classificados como A4 Azul. Para esse grupo, estima-se que 3.000 consumidores nas faixas de demanda entre 101kW e 1MW têm potencial estimado de substituição de Gerador a Diesel por BESS de 0,7 GW. Esses dados, ainda que restritos à uma região do estado de São Paulo, apontam uma quantidade potencial de consumidores aptos ao emprego de sistemas de armazenamento.

A partir dos dados desta Tabela, é possível limitar o grupo a quem a implantação de um BESS pode se destinar e os tipos de serviços a ser fornecidos: um consumidor atendido por uma fonte durante os horários em que a energia é mais barata e ser atendido pelo BESS durante horários em que o custo da energia é mais alto. Como a variação prevista pela regulação brasileira no esquema tarifário determina a tarifa do tipo horo sazonal, a variação do tempo é analisada para os períodos previstos. Assim, a minirrede opera com um BESS, Gerador Diesel e conexão à rede da distribuidora, portanto consumidor do tipo cativo. Há a possibilidade de a minirrede atuar de forma isolada da rede principal ou de forma paralela, e o carregamento do BESS será feito via conexão da rede.

Durante os horários de ponta ou ocasionais problemas de com a rede da distribuidora, a minirrede pode se desconectar do sistema. Nesses períodos, o controle da minirrede passa a ser do operador local, isto é, do consumidor onde o sistema está instalado, e o controle em relação aos serviços fornecidos, incluindo custos e qualidade, passa a ser desse operador.

Para esse local, é esperado que o BESS forneça os serviços de deslocamento do horário de consumo, fornecendo energia elétrica para durante as três horas do horário de ponta sem inter-

rupções. Caso a capacidade do BESS não seja suficiente para atender à demanda do local, o sistema de gerenciamento deve ser capaz de acionar o Gerador Diesel. Em caso de eventuais falhas e interrupção no fornecimento da rede principal, o BESS poderá atender à demanda dentro do período de três horas estipulado; na eventualidade de falta de capacidade de atendimento à demanda em situações como as referidas, o Gerador Diesel deverá ser acionado. Não é previsto o despacho de energia para a rede principal em nenhuma situação.

Como serviços secundários, o BESS substitui o banco de capacitores e faz o controle de tensão do barramento principal de baixa tensão, controlando a injeção e absorção de reativos. O BESS deve manter o fator de potência em valores inferiores a 0,92 do tipo indutivo. O fornecimento dos serviços está previsto para acontecer em todos os dias úteis do ano.

A partir da definição de um nicho de consumidores, o próximo passo era referente à escolha de um local adequado para a instalação física do BESS, e incluía processo para levantamento dos dados e das condições das instalações foi feito. A análise consistia em etapas pré-definidas pela equipe responsável pelo projeto.

7.1.1 Análise da demanda e infraestrutura

A primeira etapa consistia no reconhecimento geral dos locais, analisando os quesitos de localização e situação de instalações e equipamentos, espaço para implementação do BESS, condições de acesso aos locais, estado do terreno, se há interrupções na rede e em quais momentos. A segunda etapa, portanto, analisava o estado físico das instalações do consumidor, e os hábitos do local e demandas específicas do local.

Entre os pontos observados nessa etapa, era obrigatório o funcionamento do local durante o horário de ponta. Para consumidores que atendiam esse requisito, as instalações elétricas foram avaliadas, e as principais cargas do local identificadas. Ainda nesse estágio de avaliação, toda a instalação elétrica foi mapeada, incluindo na análise os pontos de instalação dos quadros gerais, identificação do número de circuitos principais do empreendimento, distância entre ponto de conexão da rede e quadros, comportamento da carga ao longo do dia, verificação de sistemas de proteção e planos de expansão da carga.

A terceira etapa focou na análise do Gerador Diesel dentro das instalações do consumidor, avaliando questões de segurança e condições de instalação do equipamento, incluindo temas pertinentes à manutenção e limpeza do equipamento e acesso ao local onde está instalado. Ainda para essa etapa, todos os dados de funcionamento do gerador foram sondados, tanto os parâmetros disponibilizados pelo fabricante, mas também os dados de operação em relação

às demandas do local, o que abrange as horas de funcionamento e custos para a operação do gerador. A existência e o estado de sistemas de monitoramento para esse Gerador a Diesel também faziam parte das análises iniciais no local, focando na informação e coleta de dados quanto ao consumo de óleo diesel, horas de funcionamento, número de partidas, entre outros.

Caso não houvesse tal sistema de monitoramento, as condições para a instalação de um sistema com essa finalidade foram avaliadas. A documentação do local, em relação ao consumo e gastos com serviços baseados em energia elétrica, e diagrama unifilar atualizado da instalação elétrica e planta elétrica do empreendimento também foram pedidos aos responsáveis pelas instalações do local. Para esses responsáveis, também foram requisitadas informações relativas às iniciativas de eficiência e/ou redução de consumo, e disponibilidade física e expectativas para a instalação do sistema.

Três locais foram visitados e avaliados, de acordo com os passos anteriormente detalhados. O local selecionado é posto de serviço composto por restaurante-conveniência, um posto de combustíveis, estacionamento e área de descanso para caminhões, e localiza-se na rodovia Anhanguera km 67, no bairro Distrito Industrial, cidade de Jundiaí, estado de São Paulo. O local possui fácil acesso, amplo espaço para implementação do BESS, telhados disponíveis no posto e no restaurante para instalação de sistema fotovoltaico e funciona durante todo o horário de ponta; o local também apresentava área livre para implantação de um container, necessário para instalação do sistema de baterias. O local é atendido em média tensão e enquadra-se no subgrupo de tensão A4, com tarifa Horó sazonal verde, demanda contratada de 160 kW e sistema de medição - faturamento - do lado de média tensão. O ramal de ligação é derivado da rede primária aérea trifásica que passa a uma distância próxima de 5 m do posto de transformação abrigado da instalação. A potência de curto-circuito no barramento de 13,8 kV é de 56 MVA. A unidade consumidora possui um transformador trifásico abaixador, 225 kVA – 13,8kV/220V, conexão delta-estrela aterrado.

O local tem funcionamento 24 horas, mas nem todas as cargas atuam durante todo o período. As câmaras frias, por exemplo, têm controle automático para manter a temperatura em -17°C , a iluminação durante o dia é reduzida, e o sistema de ar-condicionado é preferencialmente ligado apenas entre as 12h e 16h. No local tem um eletro posto com potência nominal de 98 kW, alimentado em tensão trifásica nominal de 400 V, e com duas saídas para recarga do carro elétrico de aproximadamente 50 kW cada. O posto elétrico tem potência limitada a 45kW, consumo médio por recarga de 15 kWh, número médio de recargas de 110 por ano, rampa de carga $+23$ [kW/seg] e fator de potência $>0,96$. O eletro posto não entra em funcionamento durante os horários de ponta.

O restaurante é o local com maior demanda de energia elétrica. No momento da verificação do local, averiguou-se que cargas sensíveis às interrupções de curta duração estão conectadas à *Nobreaks* individuais, motivada pela transferência de cargas para o Gerador Diesel durante o horário de ponta e a interrupção de, aproximadamente, 20 segundos no fornecimento para as cargas. A transferência da carga de volta para a rede da concessionária é suave (*seamless*).

O Gerador Diesel operava, no momento da análise do local, de segunda-feira a sexta-feira, durante todo o horário de ponta, e atendia diretamente toda a carga instalada no local; o Gerador Diesel não operava em paralelo com a rede da distribuidora. Além do funcionamento diário, o Gerador Diesel é acionado quando há uma interrupção no fornecimento de energia elétrica, e operava em feriados que ocorriam durante a semana, aumentando o custo de operação.

O Gerador Diesel consumia, em média, 126 l/dia de óleo diesel, que custava, aproximadamente, R\$ 7.000,00 por mês, considerando o custo médio de mercado do óleo Diesel na época na análise inicial. A manutenção preventiva ocorria a cada seis meses, com trocas previstas de óleo e verificação geral do estado do equipamento. O Gerador instalado no local não oferecia riscos de vazamento dos gases exaustores ou incêndio. Na sala não havia abafador sonoro, mas entradas de ar para auxiliar no arrefecimento da máquina. No momento da análise, não havia sinais de vazamento de combustível, óleo lubrificante ou líquido arrefecedor.

No momento da verificação física, não havia sistema de monitoramento voltado para a gestão de demanda ou caracterizar o perfil de consumo, e o registro de consumo de óleo Diesel era feito manualmente, com anotações diários de horas de funcionamento e partidas do motor. Como medidas de eficiência energética, o local fez a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de *Light Emitting Diode* (LED), 20 *freezers* por câmaras frias com controle automático de refrigeração - manutenção da temperatura sem a necessidade de funcionamento dos compressores durante todo o dia -, sistema de climatização ligado durante os períodos mais quentes do dia, entre meio dia e 16h, ou durante todo o dia somente em caso de temperaturas muito elevadas. Ainda como medida de eficiência, há o controle automático do fator de potência acima de 0,92.

Para o caso de instalação de módulos solares, o local possuía área livre nos telhados, suficiente para a instalação de um sistema de 40kWp sem problemas de sombreamento. O potencial para a geração solar é confirmado pelos dados ambientais para o local de análise. A cidade de Jundiaí tem temperatura máxima de 38°C e mínima de 10°C, com quantidade média de dias abaixo de 40°C e dias abaixo de 5°C inferior a um. A umidade relativa é de 70,7% e a altitude 755 m, com precipitação média anual de 1425mm [GEPEA, 2019c].

O local escolhido utiliza o Gerador Diesel durante os horários de ponta, zerando totalmente

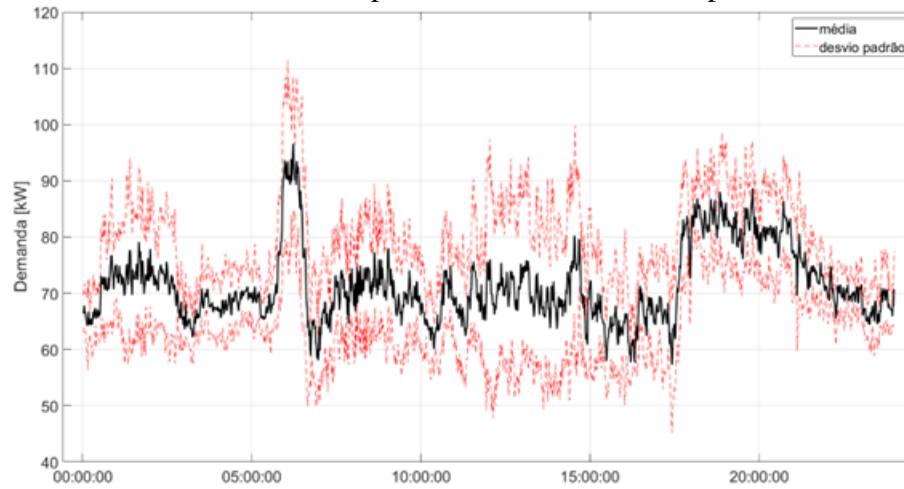
a demanda da energia vinda da concessionária durante este período. A base de dados da concessionária, ainda que tenha um controle histórico de consumo para consumidores conectados na Média Tensão, carece dos dados de consumo no horário de ponta. A etapa seguinte focou em campanha de medição realizada no quadro geral de distribuição de baixa tensão, realizada entre os dias 11 e 18 de maio, do ano de 2018. As medições foram feitas com equipamento FLUKE 435, trifásico, devidamente calibrado, programado para fornecer uma taxa de integração dos dados amostrados de um minuto.

A síntese desses dados criou uma curva de demanda de longo prazo, 25 anos. Os dados medidos com grande distância dos demais da série (*outliers*) foram excluídos: todos os valores acima de oito desvios padrão da média foram retirados. Os dados inseridos dentro dos limites estabelecidos auxiliaram no cálculo do valor médio e desvio padrão para cada minuto do dia; uma curva média de demanda diária e respectivo desvio padrão, composta por 1.440 pontos, foi produzida.

A partir do valor médio e desvio padrão, foram gerados valores aleatórios a partir de uma distribuição normal, distribuídos para cada minuto do dia durante o período analisado. Por fim, a partir da distribuição dos dados foi gerada a curva de demanda sintetizada, com resolução de um minuto, integrada em intervalos de 15 minutos. Esta abordagem permite que as curvas de demanda real e sintetizada, apesar de não serem iguais, apresentem características semelhantes do ponto de vista do formato da curva (vales e picos), e, devido à alta resolução utilizada para sintetizar a curva, a volatilidade da demanda é preservada. Como desvantagem, não é possível analisar aumentos significativos da demanda para o período de 25 anos analisado.

A Figura 13 exibe os valores médios e desvio padrão da curva de demanda diária para o local, com resolução de um minuto. A maior variabilidade da curva se localiza fora do horário de ponta, entre as 6h e 7h, e entre 12h e 15h, com desvio padrão na faixa dos ± 18 kW. No horário de ponta, entre as 18h e 21h, o desvio padrão cai para aproximadamente ± 7 kW. Este comportamento é vantajoso, pois garante que para o horário de ponta, aqueles com a operação do Gerador Diesel, a incerteza em relação à demanda real é relativamente baixa.

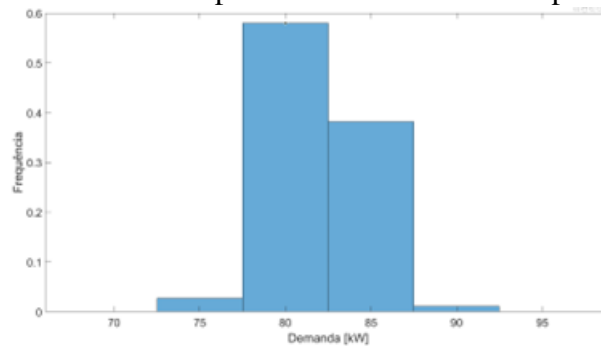
Figura 13: Curva média e desvio padrão da demanda diária para o local escolhido



Fonte: [GEPEA, 2019c]

A Figura 14 exibe o histograma da demanda sintetizada, com período de integração de 15 minutos, calculada apenas para o horário de pico.

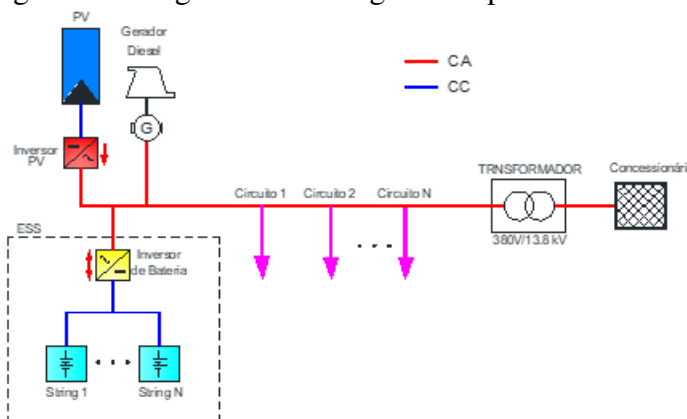
Figura 14: Curva média e desvio padrão da demanda diária para o local escolhido



Fonte: [GEPEA, 2019c]

A partir da análise da demanda e padrões de consumo do local, as especificações técnicas para o BESS podem ser delimitadas. A Figura 15 mostra o diagrama unifilar genérico para a microrrede. A partir desse diagrama, são descritos os requisitos para as fontes previstas: uma microrrede composta por um Gerador Diesel, um BESS e cargas elétricas acopladas em CA. A microrrede é gerenciada por um controlador local supervisor com a capacidade de operar de forma paralela ou isolada da rede elétrica convencional.

Figura 15: Diagrama Unifilar genérico para a microrrede



Fonte: [GEPEA, 2019c]

São previstos quatro modos de operação para o BESS, e o sistema poderá operar em mais de um modo simultaneamente, de acordo com a possibilidade e condições. São definidos como serviços primários o deslocamento do horário de consumo, modo em que o BESS fornece energia ativa para o consumidor durante as três horas do horário de ponta, e backup, modo em que o BESS deve atender o local em caso de problemas no fornecimento de energia ou interrupções programadas com duração máxima de três horas. Para ambos os modos, o sistema de gerenciamento aciona o Gerador Diesel até que o período estipulado acabe. O BESS opera em paralelo com a rede principal. O PCS opera de forma autônoma, e a transferência da carga é do tipo *seamless*.

Como modos de operação secundários, o BESS é utilizado para controlar a tensão do barramento principal de baixa tensão da UC, controlando a injeção/absorção de reativos, e faz a regulação do fator de potência, mantendo o valor do parâmetro dentro de um intervalo aceitável ($>0,92$ indutivo). Ainda como modo de operação possível, o BESS ajuda no cancelamento das correntes harmônicas, injetando na rede tensões e correntes harmônicas da mesma magnitude, em oposição de fase em relação às produzidas pelos equipamentos em operação.

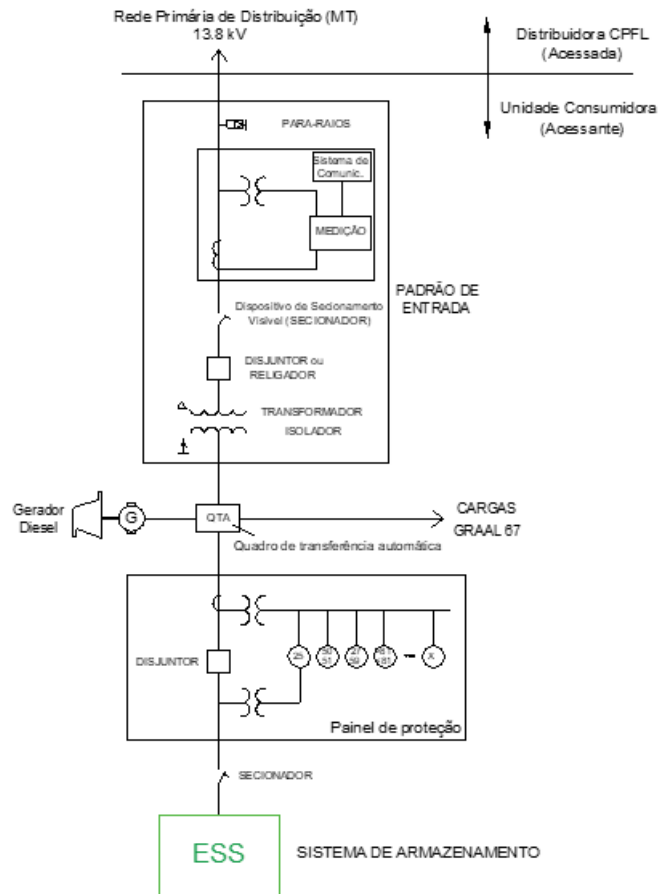
O BESS com capacidade útil mínima de 200kW/390kW, em regime turnkey, deve estar conectado no barramento de baixa tensão do posto de serviços em tensão secundária nominal de 220 V. O BESS deve ser composto por Banco de Baterias do tipo Íon-lítio e respectivo BMS, PCS, EMS, sistemas e equipamentos auxiliares para o adequado funcionamento do sistema (*Balance-of-Plant, BOP*).

Além dos sistemas citados, o BESS tem sistema de supressão contra incêndios e sistema de resfriamento, com a finalidade de manter o sistema em níveis de segurança e operação eficiente independentemente das condições ambientais do local da instalação. Também são necessárias

peças sobressalentes para realizar pequenas manutenções em campo.

A Figura 16 mostra o diagrama genérico, inserido no contexto de análise do local escolhido.

Figura 16: Diagrama unifilar genérico orientativo para conexão do ESS na rede



Fonte: [GEPEA, 2019c]

7.1.2 Estudo de viabilidade econômica para BESS

Viabilidade se refere a tudo que pode ser realizado, desenvolvido, e às condições necessárias para que o fato desejado seja exitoso, e se refere ao caminho que deverá ou poderá ser seguido para atingir determinado objetivo. Ao pensar em um cenário de inserção de tecnologia, independentemente do setor, estudar a sua viabilidade se refere à aspectos mais amplos que o seu custo, mas também aos seus efeitos, em geral, no setor interessado.

Para o setor elétrico, a viabilidade da inserção de uma tecnologia deve abranger os aspectos técnicos dela, um estudo extensivo dos seus efeitos na rede e demais consumidores, bem como as possibilidades econômicas para o proprietário do equipamento. Todas essas possibilidades determinam as possibilidades dos cenários para a inserção da tecnologia no setor e apontam quais são os parâmetros técnicos e econômicos necessários para que essa inserção seja feita de

maneira a manter a qualidade dos serviços e a satisfação financeira dos interessados.

Com o objetivo de considerar o risco associado a cada um dos cenários estudados – probabilidade de perda financeira ou não satisfação das expectativas -, uma análise da viabilidade econômica é feita para cenários de aquisição e operação. A análise de viabilidade econômica elaborada é do tipo probabilístico, e considera incertezas associadas a alguns parâmetros econômicos de entrada, tais como tarifa elétrica, preço do óleo combustível, custos de operação e manutenção para analisar a exequibilidade do sistema. Essa seção é baseada no estudo de viabilidade econômica, a partir da análise dos dados pré-compra e das especificidades de funcionamento do local [GEPEA, 2021c].

A abordagem probabilística é aplicada para os parâmetros econômicos, enquanto parâmetros técnicos do sistema, como tamanho do BESS e Grupo Gerador Diesel, são tratados como determinísticos. Dentre as diversas técnicas de simulação probabilística, o Método de Monte Carlo (MMC) foi escolhido como o mais adequado aos propósitos deste estudo devido ao elevado nível de precisão e flexibilidade, o que permite representar as mais diversas e complexas peculiaridades de um sistema.

Este método consiste em gerar muitos resultados possíveis, empregando uma avaliação iterativa de um modelo determinístico, para estimar uma Função de Distribuição de Probabilidade (PDF, em inglês *Probability Distribution Function*) para cada uma das variáveis de saída sob estudo. A partir das PDFs, estatísticas descritivas como média (valor esperado), valores mínimos e máximos e desvio padrão, são calculadas e utilizadas para fazer a análise econômica.

Nesse ponto, é feita apenas a viabilidade técnica e econômica para o BESS, e não há análise de dimensões ambiental e social. As próximas seções apresentam um levantamento de dados e informações relacionadas ao mercado nacional, seguida por uma avaliação de dados para a compra de um BESS. Por fim, é apresentado o estudo da viabilidade econômica aponta cenários e estatísticas descritivas dos indicadores econômicos.

7.1.2.1 Dados para análise da viabilidade econômica

Os dados empregados para a análise de viabilidade econômica se referem ao período de 2018/2019, ano base para a o levantamento e aquisição da infraestrutura necessária para a implantação física do BESS. Para a análise, é avaliada um local com um Gerador a Diesel, com potência nominal igual ou superior à demanda máxima da instalação e que não opera em paralelo com a rede da concessionária, e um BESS voltado a fornecer serviço de gestão de energia em instalações consumidoras.

A tarifa de energia elétrica, sob a perspectiva da distribuição, é calculada em três grandes partes, referentes à energia gerada, o custo de transporte da energia até as unidades consumidoras – transmissão e distribuição- e encargos do setor. Os encargos setoriais são custos não gerenciáveis e de responsabilidade da distribuidora, mas que são repassados para os consumidores na tarifa. O estudo tarifário tem como função verificar as componentes de custo que impactam os consumidores, em relação às três partes citadas que compõem a tarifa.

Como a tarifa elétrica depende da variação da inflação para o período, a flutuação de valores que podem impactar no preço de bens e serviços deve ser considerada. O Índice Nacional de Preços ao Consumidor Plano (IPCA) mede o impacto da inflação em um determinado conjunto de bens e serviços produzidos no país, e é determinado a partir da comparação dos valores atuais de compra do bem e valores anteriores. O índice permite verificar o impacto da variação dos preços para o consumidor final, e permite ao governo avaliar se a meta de inflação está em conformidade com o esperado. O parâmetro é empregado para verificar se o aumento da tarifa de energia elétrica para os consumidores está dentro dos intervalos da inflação para o período.

Para esse estudo o ano base foi considerado como 2008, e os valores para a tarifa industrial analisados para o período [FIESC, 2018]. Os valores estão apontados na Figura 17. A coluna da esquerda indica a evolução do ICPA e os valores do índice acumulado, e a coluna da direita contém os valores da tarifa industrial da CPFL Paulista e o aumento acumulado para o período. A avaliação dos valores acumulados do IPCA e da tarifa industrial demonstra que a tarifa foi reajustada, no período, acima do acumulado do índice.

Figura 17: Variação do IPCA e tarifa do tipo industrial para o período

Intervalo	IPCA		ANO	Tarifa Industrial Média [R\$ MWh]	
	Índice	Índice acumulado		valor	Aumento Acumulado
			2008	259,69	<i>ano referência</i>
1	4,31%	1,043100	2009	300,21	1,11316697
2	5,91%	1,059100	2010	303,95	1,01245795
3	6,50%	1,065000	2011	315,44	1,03780227
4	5,84%	1,058400	2012	329,68	1,04514329
5	5,91%	1,059100	2013	303,57	0,92080199
6	6,41%	1,064100	2014	353,86	1,16566196
7	10,67%	1,106700	2015	548,01	1,54866331
8	6,29%	1,062900	2016	554,19	1,01127717
9	2,95%	1,029500	2017	537,64	0,9701366
10	3,75%	1,037500	2018	597,37	1,11110000
		1,763269			2,21508135

Fonte: [GEPEA, 2021c]

Após a determinação da variação do IPCA, os impostos que impactam a tarifa para o consumidor foram listados. Para o estado de São Paulo, os impostos são Impostos sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Programa de Integração Social (PIS) e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP), e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (CONFINS). O ICMS é um imposto não cumulativo incidente sobre operações de compra e venda de bens e serviços em esfera estadual e municipal; o valor arrecadado deve ser empregado em serviços como segurança, saúde e educação. O ICMS no estado de São Paulo é calculado como 18%.

Ao contribuinte é permitida a dedução de crédito das contribuições ao PIS/Pasep e a CONFINS calculados sobre a aquisição de energia elétrica consumida nos estabelecimentos da pessoa jurídica, independentemente do departamento em que a energia for usada ou consumida (produção, administração, vendas etc.). Nesse caso, o direito ao crédito das contribuições está condicionado à conta e/ou fatura emitida pela distribuidora de energia elétrica da região onde está estabelecida a empresa.

O consumo de energia elétrica é uma despesa necessária ao desenvolvimento das atividades operacionais das empresas, cujo valor despendido a esse título deve ser registrado como custo ou despesa mensal pelo “Regime de Competência Contábil”, de acordo com a respectiva aplicação, ou seja, como custo de produção, no caso de energia elétrica consumida pelo setor fabril, nas empresas industriais que possuam sistema de contabilidade de custos integrado e coordenado com o restante da escrituração; ou despesa operacional, no caso de energia elétrica consumida pelos setores comercial (despesas comerciais) e administrativo (despesas administrativas), bem como outros setores não ligados direta ou indiretamente à produção de bens ou a prestação de serviços.

Em muitos casos, os setores de produção se encontram em prédios distintos e contam com medidores de consumo próprios, facilitando a identificação do consumo de energia de cada setor. Quando a empresa não tem medidores exclusivos para medição do consumo relativo aos setores de produção, o valor da conta e/ou fatura deverá ser dividido entre os setores, de acordo com critérios razoáveis de mensuração, como, por exemplo, a aferição da capacidade instalada dos setores ou a área ocupada por cada um. Porém, para o levantamento da taxa de rateio que será utilizada para distribuição dos valores de custo e de despesa, é imprescindível a elaboração de demonstrativos de consumo de energia elétrica do setor produtivo, de preferência baseados em Laudo Técnico emitido por um profissional técnico habilitado (perito), os quais deverão ser mantidos em boa guarda para eventual exibição ao fisco.

As empresas que não possuam sistema de contabilidade de custos, ou que tenham sistema

que não atenda aos requisitos para serem considerados como integrado e coordenado com os demais assentos contábeis, deverão submeter o estoque final dos produtos acabados e em elaboração, existente no final do período de apuração à avaliação por arbitramento. Quanto aos tributos, quando possível, o crédito deverá ser lançado diretamente em conta específica do subgrupo *Tributos a Recuperar*, no grupo Ativos Circulantes (ACi). No caso do ICMS incidente sobre a parcela registrada na escrituração como custo, seu valor deve ser creditado (fiscalmente) pela empresa e lançada na conta *ICMS a Recuperar*, no grupo ACi. Por outro lado, o ICMS incidente sobre a parcela registrada na escrituração como despesa operacional, ou seja, parcela que não gera direito a crédito do imposto, deve ser somada à despesa e lançada diretamente para o resultado. O PIS/PASEP e a COFINS, quando admitido seus créditos, devem ser lançados em sua totalidade nas contas *PIS a Recuperar* e *COFINS a Recuperar*, também no grupo ACi.

O PIS pode ser de incidência não-cumulativa e cumulativa e seus recursos são destinados ao pagamento de seguro-desemprego, abono e participação na receita dos órgãos e entidades para trabalhadores públicos e privados; o PASEP tem a mesma finalidade do PIS, mas com foco no servidor público. Por simplificação os dois serão apontados apenas como PIS. O COFINS tem duas modalidades de cobrança, sobre o faturamento e sobre a importação, também de incidência não-cumulativa e cumulativa. A Figura 18 mostra o histórico das alíquotas do PIS e COFINS para o período de março de 2018 até março de 2019. Os menores e maiores valores para o período, para ambas as alíquotas, são destacados na figura, bem como o valor médio. Esses dados são empregados para calcular o valor mínimo, máximo e médio para as tarifas.

Figura 18: Histórico do PIS e CONFINS durante o ano de 2019 para CPFL Paulista

Histórico das alíquotas mensais efetivas			
Evolução PIS/COFINS			
PERÍODO		PIS	COFINS
DE	A		
01/03/2019	31/03/2019	0,64%	2,99%
01/02/2019	28/02/2019	0,85%	3,89%
01/01/2019	31/01/2019	0,95%	4,33%
01/12/2018	31/12/2018	0,86%	3,94%
01/11/2018	30/11/2018	1,13%	5,24%
01/10/2018	31/10/2018	0,77%	3,54%
01/09/2018	30/09/2018	0,98%	4,48%
01/08/2018	31/08/2018	0,97%	4,51%
01/07/2018	31/07/2018	0,79%	3,70%
01/06/2018	30/06/2018	0,96%	4,88%
01/05/2018	31/05/2018	1,65%	7,53%
01/04/2018	30/04/2018	1,05%	4,79%
01/03/2018	31/03/2018	0,29%	1,36%
	MINIMO	0,29%	1,36%
	MEDIO	0,91%	4,24%
	MAXIMO	1,65%	7,53%

Fonte: [GEPEA, 2021c]

Para o local escolhido, a tarifa foi classificada como tipo A4 (2,3 a 25 kV), e se divide em Tarifa para Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), que corresponde ao valor único e determinado pela ANEEL referente ao uso do sistema de distribuição de energia elétrica, e Tarifa de Energia (TE), valor da energia consumida mensalmente e empregada para efetuar o faturamento mensal do consumo, para a distribuidora no ano de 2018. A Figura 19 mostra os valores da TUSD e TE para as três bandeiras tarifárias (verde, amarela e vermelha) e horário de ponta e fora de ponta. No caso da TE, verifica-se os valores máximos e mínimos para o horário de ponta e fora da ponta, bem como o valor médio da tarifa. Esses valores são apontados ainda sem a incidência dos impostos previstos na fatura, mas não são considerados na simulação. Foi considerado na análise que seria pouco provável a redução ou eliminação de impostos para esses consumidores, ao menos neste momento.

Figura 19: Valor de tarifas para consumidor tipo A4 em área de concessão CPFL Paulista no ano de 2018

(SEM IMPOSTOS)

DISTRIBUDORA: CPFL PAULISTA
 TIPO: A4 - VERDE
 VALIDADE: 01/06/2018

GRUPO	TUSD			TE (R\$/kWh)									Ultrapassagem (R\$/KW)
	R\$ KW	Porta		Ponta			Fora Ponta			R\$/KW			
		R\$ kWh	R\$ kWh	TE	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	TE	Bandeira Verde		Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	
A4 (2,3 a 25 kv)	9,79	0,6433	0,05777	0,42239	0,42239	0,43239	0,47239	0,26407	0,26407	0,27407	0,31407	19,58	

A4 (2,3 a 25 kv)	Minima	9,79	0,6433	0,05777	média			média			19,58
	Média	9,79	0,6433	0,05777	0,44239			0,28407			19,58
	Maxima	9,79	0,6433	0,05777	0,47239			0,31407			19,58

Fonte: [GEPEA, 2021c]

Os dados das tarifas sem impostos são, portanto, refinados com os valores mínimos, máximos e médios dos impostos. Empregando estes valores, determinou-se os valores para um consumidor do tipo A4 em área de concessão da CPFL. A Figura 20 contém todos os valores obtidos nessa etapa do estudo de viabilidade econômica.

Figura 20: Valor de tarifas para consumidor tipo A4 em área de concessão CPFL Paulista no ano de 2018

(SEM IMPOSTOS)

DISTRIBUDORA: CPFL PAULISTA
 TIPO: A4 - VERDE
 VALIDADE: 01/06/2018

GRUPO	TUSD			TE (R\$/kWh)									Ultrapassagem (R\$/KW)
	R\$ KW	Porta		Ponta			Fora Ponta			R\$/KW			
		R\$ kWh	R\$ kWh	TE	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	TE	Bandeira Verde		Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	
A4 (2,3 a 25 kv)	9,79	0,6433	0,05777	0,42239	0,42239	0,43239	0,47239	0,26407	0,26407	0,27407	0,31407	19,58	

A4 (2,3 a 25 kv)	Minima	9,79	0,6433	0,05777	média			média			19,58
	Média	9,79	0,6433	0,05777	0,44239			0,28407			19,58
	Maxima	9,79	0,6433	0,05777	0,47239			0,31407			19,58

Fonte: [GEPEA, 2021c]

A figura mostra os valores mínimos, máximo e médio que serão aplicados para calcular o

retorno do investimento ao consumidor. Utilizando os valores descritos nessa seção e a previsão de feriados para a região onde será implantado sistema, são determinados os valores das tarifas até um período de 25 anos, a partir do ano de referência.

O Gerador Diesel é um ativo imobilizado para o proprietário da estrutura, isto é, todo aquele necessário e vital para a manutenção das atividades ou empregados com essa finalidade, assegurando a competitividade e melhorias na gestão. São considerados como ativos imobilizados aqueles necessários para produção ou comercialização de bens e serviços com expectativas de obter ganhos financeiros com a sua utilização, e cuja utilização seja superior há 12 meses.

No caso de ativos imobilizados, o custo para remover, desmontar ou restaurar o ativo são de responsabilidade do proprietário, e esse custo é preço pago ou correspondente no momento da aquisição. Por este motivo, esse tipo de ativo não reabilita os impostos referentes. Os valores do PIS e COFINS para essa instalação são 1,65% e 7,6%, respectivamente. Os valores máximo, médio e mínimo para o Gerador Diesel estão contidos na Tabela 5. Não há variação entre os dados com e sem a incidência de imposto para a aquisição do Gerador Diesel, mas no caso de operação e manutenção de sistemas, há a variação valores com e sem impostos. Os valores para Operação e Manutenção com impostos são determinados com o PIS e COFINS.

Tabela 5: Estimativas de custo e instalação para Gerador Diesel

Custo de instalação (em R\$/kW)		
	Com impostos	Sem impostos
Mínimo	650,00	650,00
Médio	700,00	700,00
Máximo	800,00	800,00
Custo de Operação e Manutenção (em R\$/kW)		
	Com impostos	Sem impostos
Mínimo	35,00	31,76
Médio	40,00	36,30
Máximo	50,00	45,38

No caso de geradores, o valor do combustível também deve ser considerado para a viabilidade econômica. Os impostos que incidem sobre o Diesel são cobrados pelo estado -ICMS- e federais - PIS/PASEP, COFINS e Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE). O CIDE é um imposto instituído com a finalidade de assegurar um montante para investimento em infraestrutura de transporte, projetos ambientais e subsídios ao transporte de álcool combustível, gás natural e derivados e petróleo e derivados.

Os impostos compõem parte significativa no preço final do Diesel para o consumidor. O ICMS corresponde à 16% do total do preço final, e CIDE, PIS/PASEP e COFINS correspondem à 10% do preço total do Diesel. A série histórica de preços para o combustível e a carga tributária para o período de março de 2019 – primeira quinzena do período - viabiliza o cálculo do valor base para o combustível.

Para o cálculo do valor base, foi empregado o valor de revenda para o período (em R\$/l), com o respectivo desvio por mês (também determinado em R\$/l); o desvio é definido por variações na concorrência na venda do combustível, tanto para revenda quanto para a distribuição. Também nesse estudo é considerado o reajuste no Biodiesel, obrigatório de ser acrescentado ao Diesel, e as suas variações de custo.

O Diesel e o Biodiesel são reajustados anualmente por determinação da Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) a partir da variação da inflação para o período. A partir destes valores, e aplicando a metodologia descrita anteriormente, foi determinado o valor médio (por litro) de R\$ 3,532, com desvio padrão de R\$ 0,189, para propósitos de simulação.

Os custos para a aquisição do BESS, incluindo toda a infraestrutura necessária para a operação e gerenciamento da estrutura são considerados investimentos iniciais. Os valores avaliados com fornecedores e fabricantes são sigilosos e, por esse motivo, não podem ser expostos.

Como estruturas adjacentes à bateria, necessárias à operação e gerenciamento da estrutura, ou seja, todos os componentes e sistemas auxiliares necessários para o funcionamento de infraestrutura de geração de energia, as propostas comerciais avaliadas são denominadas *Balance of Plant* (BOP). Essas estruturas podem incluir o ar-condicionado, transformadores, inversores, cabos, sistema de controle por câmeras e, incluem, o container que irá acomodar a infraestrutura na localidade. Para o caso de equipamentos importados junto com a bateria, as taxas e impostos são incidentes também para essas estruturas.

Como o equipamento é importado, deve-se considerar o custo da moeda empregada durante a negociação do ativo; a moeda empregada é o dólar e o seu valor de compra em janeiro de 2019. Portanto, no momento de aquisição da infraestrutura, deve-se acrescentar ao valor de compra o seu transporte, da origem até o local de implantação, seguro da mercadoria, incluído no valor do transporte, e acréscimos para a movimentação do equipamento.

A composição do valor do seguro e da mercadoria no local de embarque compõem o preço final do BESS para o despacho. Os impostos e tarifas são referentes à importação da mercadoria no país. A Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) – código que permite classificar uma mercadoria por um código numérico válido para toda a região o Mercado Comum do Sul (Mercosul)- identifica o BESS como “Acumuladores elétricos e seus separadores, mesmo de

forma quadrada ou retangular – de íon-Lítio”, código 8506.50.90; essa classificação é feita empregando uma tabela para toda a área comercial, e determina as alíquotas de impostos no comércio exterior e tributos internos.

No caso do NCM, as alíquotas a serem pagas são enumeradas a partir da tabela de classificação Tabela de Incidência do Impostos sobre Produtos Industrializados (TIPI,IPI), que vigora na área de livre comércio desde 1997. Os impostos de importação incidem em 16% sob o valor integral da mercadoria, enquanto o IPI incide em 10% sob o valor integral da mercadoria. Outros impostos que incidem na compra da bateria são PIS/PASEP, COFINS e ICMS, calculados como, respectivamente, 2,10%, 9,65% e 17%.

Ainda como tributo, a taxa Sistema Integrado de Comércio Exterior (SISCOMEX) é uma taxa com valor fixo por mercadoria importada – um valor é adicionado conforme a quantidade de mercadorias aumenta- e é cobrada junto com os demais tributos de importação. No caso da bateria, o valor do SISCOMEX, para o ano base de 2018/2019, vale R\$ 214,50. Ainda como valores para a aquisição do BESS, considera-se a passagem de conhecimento para aqueles que irão gerenciar e operar a infraestrutura, suporte pós-venda, transporte -frete e içamento- e comissionamento. Para esses valores não incidem as taxas e impostos de importação, mas impostos estaduais e federais incidem, como ICMS, PIS/PASEP e COFINS.

A soma de todos os custos referentes à compra do equipamento, incluindo aqueles necessários à operação, taxas e impostos, e serviços diretamente dependentes do fornecedor compõem o custo total de um BESS a ser instalado no Brasil. O custo de impostos e taxas compõem quase metade de todo o valor para a compra da infraestrutura: dado o interesse e necessidade do país, acredita-se que esses custos poderiam ser negociados ou excluídos dos interessados em comprar esse tipo de equipamento. O cenário sem impostos é contemplado no estudo de viabilidade econômica, pois, por se tratar de tecnologia recente e de provável interesse de diferentes stakeholders do setor, os impostos nesse momento podem ser negociados.

7.1.2.2 Viabilidade para cenários possíveis para um consumidor comercial

Dentre os diversos indicadores possíveis para uma análise econômica, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) foram escolhidos pois avaliam o valor do recurso financeiro ao longo do tempo e, incluem, em seu cálculo, todos os fluxos de caixa futuro gerados. Assim, a aplicação do MMC consiste basicamente em determinar várias vezes o VPL e TIR associados ao fluxo de caixa diferencial de cada um dos cenários estudados, considerando variações aleatórias, associadas a uma determinada PDF, para cada um dos parâmetros econômicos de entrada do modelo. O fluxo de caixa diferencial é calculado como a diferença entre o

fluxo de dinheiro associado a um determinado cenário e o Caso Base - cenário que não possui nenhuma fonte de geração de energia e todo o fornecimento é feito pela rede.

Dois tipos de PDFs foram utilizados para modelar as incertezas nas variáveis de entrada do modelo, a distribuição normal e a distribuição triangular, dependendo do tipo de parâmetro econômico de entrada. A distribuição normal, às vezes chamada de distribuição gaussiana, é uma das distribuições mais utilizadas para modelar fenômenos naturais. Além de descrever uma série de fenômenos físicos e financeiros, possui grande uso na estatística e na engenharia. A justificativa usual para usar a distribuição normal para modelagem é o Teorema do Limite Central, que afirma que quando o tamanho da amostra aumenta a distribuição amostral da sua média aproxima-se cada vez mais de uma distribuição normal.

A distribuição normal é uma função contínua inteiramente descrita por seus parâmetros de valor médio (μ) e desvio padrão (σ). Por outro lado, a distribuição triangular é útil para descrever uma população para a qual estão disponíveis dados de amostra limitados. É uma representação bastante simples da distribuição de probabilidade dos dados e aplicações comuns desta PDF incluem simulações estocásticas voltadas a área de planejamento e gerenciamento de projetos ou negócios e análises econômicas.

A distribuição triangular é uma distribuição contínua que é descrita por seus valores mínimo (a), máximo (c) e de modo (b). A distribuição tem uma forma triangular. Inicia-se no valor mínimo, aumenta linearmente até o pico no modo e, em seguida, diminui linearmente até o valor máximo. Estes valores são fáceis de definir e explicar e são uma representação racional para os dados. A forma do triângulo pode ser simétrica ou assimétrica.

Como pode se observar, a base do MMC é a geração de números aleatórios com o objetivo de explorar o espaço de incerteza ou campo de possibilidades de uma variável de estudo, cujo comportamento possa ser quantificado matematicamente. Embora números verdadeiramente aleatórios não sejam factíveis de obter na prática, números pseudoaleatórios, que não mostram nenhum padrão ou tendência aparente do ponto de vista estatístico, podem ser gerados através de algoritmos determinísticos e apresentam suficiente “aleatoriedade” para fins de simulação de Monte Carlo.

Os números pseudoaleatórios de qualquer PDF podem ser gerados utilizando-se vários métodos, sendo o mais comumente utilizado o método da transformada inversa da função de distribuição de probabilidade. Todavia, este método é aplicável apenas quando a função inversa da PDF pode ser derivada de forma analítica. Para os casos em que não é aplicável esta técnica, outros métodos, tais como o método da composição, método da convolução, método da aceitação-rejeição, método da caracterização, entre outros, podem ser usados.

Um parâmetro importante em todo processo que envolve o MMC é a definição do critério de parada, que pode ser do tipo *terminating* ou *non-terminating*, dependendo do fenômeno e/ou objetivos sob estudo. Uma simulação do tipo “terminating” é aquela onde existe um evento natural que determina a priori o número de iterações totais da simulação.

Em uma simulação do tipo *non-terminating* não existe nenhum evento natural que especifique a priori o número total de iterações da simulação. Neste caso, deve-se escolher um critério de parada para terminar a simulação. Um dos critérios mais utilizados emprega o coeficiente de variação estatístico (CVE) de uma variável de interesse. Quando o CVE é menor que um valor estabelecido, finaliza-se o processo de simulação de Monte Carlo.

O CVE de uma variável definida a partir do desvio padrão e valor médio dele mesmo. Os valores típicos recomendados de CVE para as simulações de Monte Carlo variam entre 1% a 5%. No caso desse estudo, as simulações são do tipo *non-terminating* e o critério de parada ocorre quanto CVE assume valores menores ou iguais a 1% a partir da determinação do VPL do fluxo de caixa direcional.

Os parâmetros econômicos de entrada do modelo, assim como os valores para parametrização da PDF associada a cada um deles, são exibidos na Tabela 6. Os valores são apresentados discriminados por componente.

Dois tipos de BESS baseados em tecnologia de baterias de íons de lítio são estudados. O primeiro BESS analisado corresponde a uma bateria com tecnologia NCA (eletrodo positivo de liga “óxido de níquel-cobalto-alumínio-lítio” e eletrodo negativo inteiramente de grafite), que garante alta densidade de energia, minimiza o peso e o volume e apresenta uma vida útil moderada, com baixa manutenção, tornando-a ideal para aplicações de armazenamento *on-grid*. O segundo tipo de bateria analisado corresponde à tecnologia LFP (Fosfato de lítio ferro): este tipo de bateria de lítio são inerentemente não combustíveis, o que torna mais segura. Ela também apresenta muitas vantagens sobre outras químicas de lítio, particularmente para aplicações de alta potência.

Em comparação com a tecnologia NCA, as baterias LFP apresentam preço mais alto e menor energia específica devido à menor tensão nominal da célula, mas, em contrapartida, apresentam vida útil maior principalmente em ciclos de descarga profundos. As duas tecnologias analisadas não requerem substituição ao longo dos 25 anos de ciclo de vida.

Tabela 6: Parâmetros econômicos de entrada do modelo

Parâmetros para a rede		
Variável aleatória	Parametrização	PDF
TUSD demanda na ponta (R\$/kW)	a=12,184, b=12,740, c=13,444	Triangular
TUSD demanda fora da ponta (R\$/kW)	a=12,184,b=12,740,c=13,444	
TUSD encargos na ponta (R\$/kWh)	a=0,800, b=0,837, c=0,883	
TUSD encargos fora da ponta (R\$/kWh)	a=0,0719, b=0,0751, c=0,0793	
TE na ponta (R\$/kWh)	a=0,550 ,b=0,576, c=0,608	
TE fora da ponta (R\$/kWh)	a= 0,353,b= 0,370 ,c=0,390	
Ultrapassagem demanda ponta (R\$/kW)	a=24,368 ,b=25,481, c=26,888	
Ultrapassagem demanda fora da ponta (R\$/kW)	a= 24,368,b=25,481, c=26,888	
Gerador Diesel		
Investimento (R\$)	a=109,200, b=121,800, 134,400	Triangular
Operação e Manutenção (R\$/kWh)	a=0,035, b=0,040, c=0,050	
Óleo Diesel (R\$/litro)	$\mu=3,532, \sigma=0,189$	Normal
BESS		
Investimento BESS NCA sem imposto (R\$)	a=1.113.461, b=1.256.302, c=1.396.506	Triangular
Investimento BESS NCA com imposto (R/\$)	a=1.503.982, b=1.696.922, c=1.886.298	
Investimento BESS LFP sem imposto (R\$)	a=1.533.432, b=2.388.891, c=1.923.235	
Investimento BESS LFP com imposto (R/\$)	a=2.117.274, b=2.388.891, c=2.655.491	
Operação e Manutenção (R\$/ano)	a=18.411, b=20.773, c=23.091	

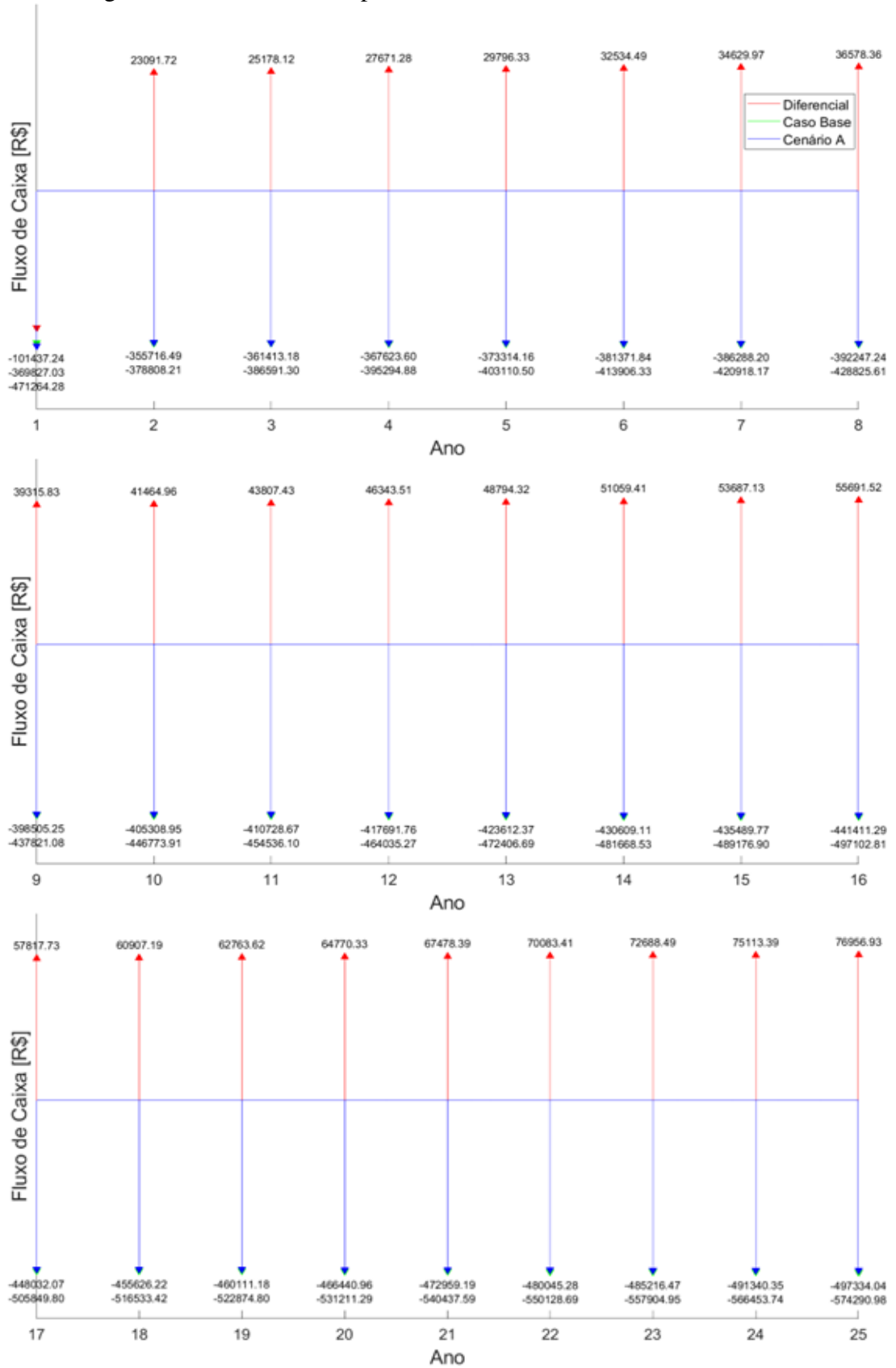
Exceto a tarifa elétrica, os demais custos apresentados na Tabela 6 têm reajuste anual igual ao índice oficial de inflação. Para a energia elétrica, considera-se um reajuste anual de 2,31% acima da inflação oficial.

Os valores do VPL e TIR são calculados com base nos fluxos de caixa diferencial de cada um dos cenários estudados. Assume-se como premissa que o consumidor possui o valor exigido como investimento inicial para a aquisição, sem uso de financiamento.

Viabilidade econômica para cenário base - Rede e Gerador Diesel

Neste cenário, as cargas do sistema são alimentadas pela rede durante o período fora de ponta e pelo Gerador a Diesel no período de ponta. A Figura 21 mostra o diagrama de fluxo de caixa. O gráfico também exhibe o fluxo de caixa associado ao Caso Base assim como o fluxo de caixa diferencial deste cenário. Todos os valores correspondem aos valores médios de fluxo de dinheiro registrados anualmente.

Figura 21: Fluxo de Caixa para fornecimento da rede e Gerador Diesel



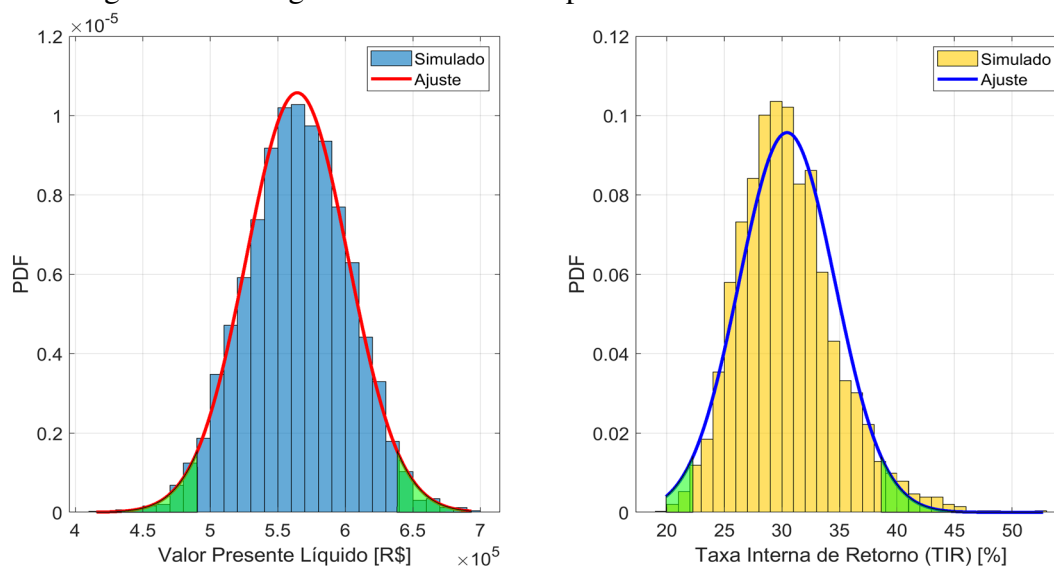
Fonte: [GEPEA, 2021c]

Como esperado, no Ano 1 este cenário apresenta um fluxo de caixa diferencial negativo, com valor médio de R\$101.437,24, devido ao investimento na aquisição do Gerador a Diesel. Entretanto, a partir do Ano 2, o fluxo de caixa diferencial é positivo, pois não existe um maior *overhaul* ou substituição do Gerador a Diesel durante os 25 anos de vida útil. Os valores positivos do fluxo de caixa diferencial são o resultado da economia na conta de energia elétrica durante os horários de ponta da concessionária, que superam as despesas em combustível e operação e manutenção do Gerador a Diesel.

Devido ao reajuste anual de 2,31% acima da inflação que sofre a tarifa elétrica, nota-se que o fluxo de caixa diferencial aumenta ao longo do tempo, partindo de um valor médio de R\$23.091,72 (Ano 2), até atingir R\$76.956,93 no final do período estipulado (Ano 25).

A Figura 22 exibe o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário. O gráfico também exibe uma distribuição normal sobreposta, ajustada ao histograma. A distribuição normal exibe um Intervalo de Confiança (IC) de 5% em verde, 95% dos dados simulados se localizam fora das regiões marcadas em verde. O valor médio para o VPL, em mil R\$, é 564,47, com valor médio de 37,73, e IC, com 95% de confiança, de 490,50 até 638,40. O TIR, em porcentagem, tem valor médio de 30,45, com valor médio de 4,16 e IC, com 95% de confiança, valendo 22,28 até 38,62.

Figura 22: Histograma do VPL e TIR para cenário com Gerador Diesel



Fonte: [GEPEA, 2021c]

Nota-se que, com 95% de probabilidade, o VPL é sempre positivo. Assim sendo, pode-se concluir com 95% de certeza que o uso do Gerador Diesel como substituto da rede durante os horários de pico é economicamente rentável. Para esse cenário, a TIR média de é 30,45%, sendo que, com 97,5% de probabilidade, a TIR é superior a 22,28%. Importante lembra que a análise

não considera as dimensões ambiental e social, cuja contabilização diminui a rentabilidade deste cenário.

Viabilidade econômica para cenário base - Rede e BESS com impostos

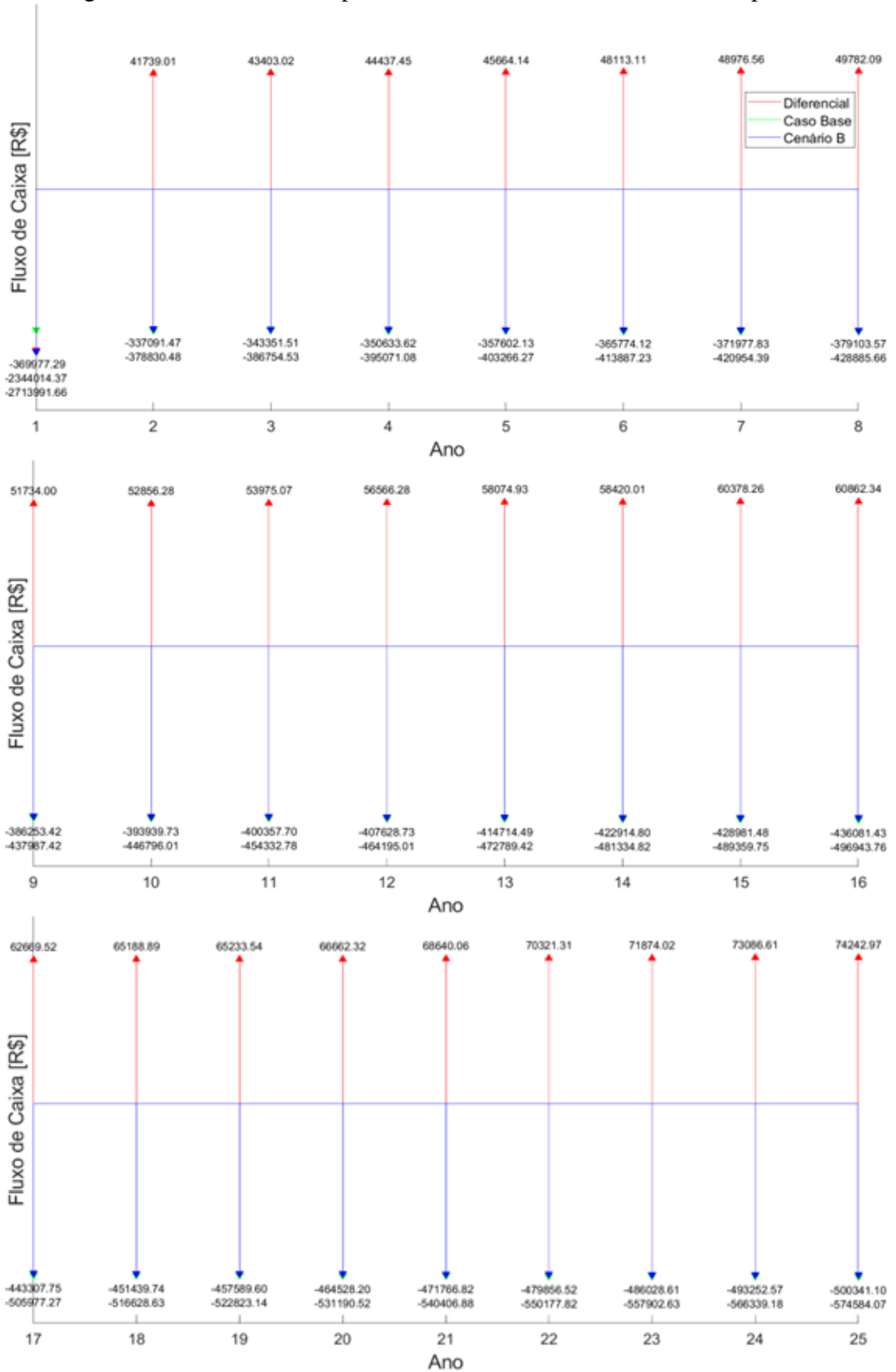
Neste cenário, as cargas do sistema são alimentadas pela rede, durante o período fora de ponta, e pelo BESS no período de ponta; a bateria é carregada com a energia fornecida pela rede nos horários fora de ponta. Para esse cenário, a viabilidade econômica de um cenário com BESS, baterias de tipo lítio, e rede é analisada.

A Figura 23 exibe o diagrama de fluxo de caixa. O gráfico também exibe o fluxo de caixa associado ao Caso Base assim como o fluxo de caixa diferencial deste cenário. Todos os valores correspondem aos valores médios de fluxo de dinheiro registrados anualmente.

Similarmente ao Cenário A, o fluxo de caixa diferencial é negativo no Ano 1 devido ao investimento na aquisição do BESS; contudo, seu valor é muito maior do que no Cenário A, atingindo um valor médio de R\$2.344.014,37. A partir do Ano 2, os fluxos de caixa diferenciais são positivos, pois não existe substituição do BESS durante os 25 anos de vida útil determinados. Os valores positivos do fluxo de caixa diferencial são o resultado da economia na conta de energia elétrica durante os horários de ponta da concessionária que superam as despesas na energia elétrica gasta fora do horário de ponta para o carregamento do BESS, assim como os gastos em operação e manutenção.

Devido ao reajuste anual da tarifa elétrica, o fluxo de caixa diferencial aumenta ao longo do tempo, partindo de um valor médio de R\$41.739,01 (Ano 2), até R\$74.242,97 no final do período (Ano 25). Estes resultados mostram que no início, o fluxo de caixa diferencial médio é 80,75% maior do que o Cenário A. Todavia, devido à perda de capacidade e eficiência da bateria, no final da vida útil, o fluxo de caixa diferencial tem uma queda de 3,53%, se comparado ao Cenário A.

Figura 23: Fluxo de Caixa para fornecimento da rede e BESS do tipo LFP

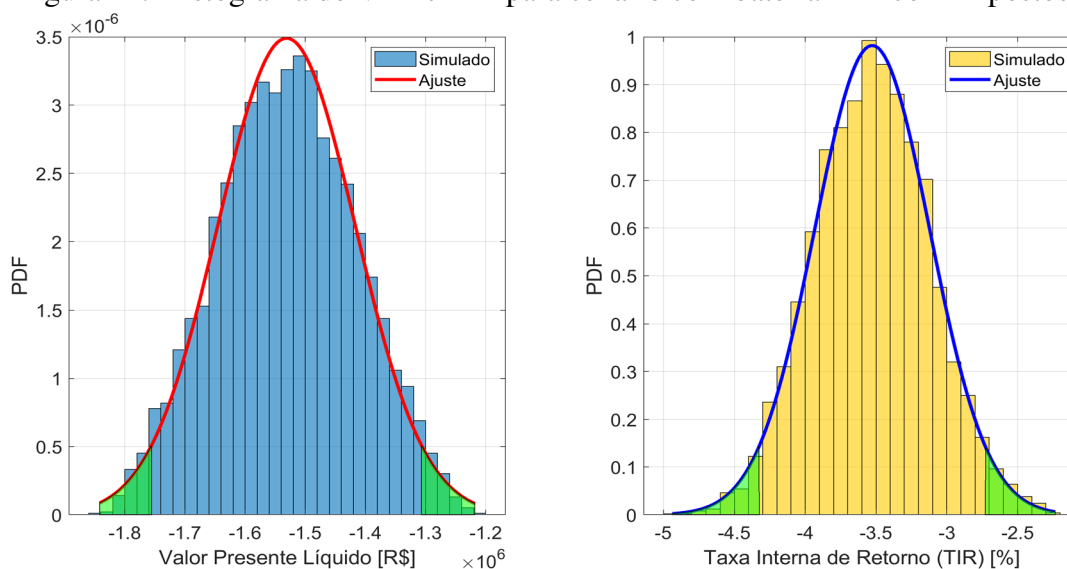


Fonte: [GEPEA, 2021c]

A Figura 24 exibe o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário. Para esse cenário, a VPL, em mil R\$, tem valor médio de -1.530,80 e desvio 114,34, com o IC, com 95% de probabilidade de -1.755,00 até -1.307,00. O TIR, em %, tem valor médio de -3,53, com desvio padrão de 0,41 e IC, com 95% de probabilidade, entre -4,32 até -2,73.

Com 95% de probabilidade, o VPL é sempre negativo: o uso de BESS com bateria do tipo LFP, com 95% de certeza, como substituto da rede durante os horários de pico não é economicamente viável. Efetivamente, verifica-se que esse cenário apresenta, com 97,5% de certeza, valores de TIR negativos (inferiores a -2,73%), pois a soma dos fluxos de caixa futuros é inferior ao investimento inicial no BESS.

Figura 24: Histograma do VPL e TIR para cenário com bateria LFP com impostos

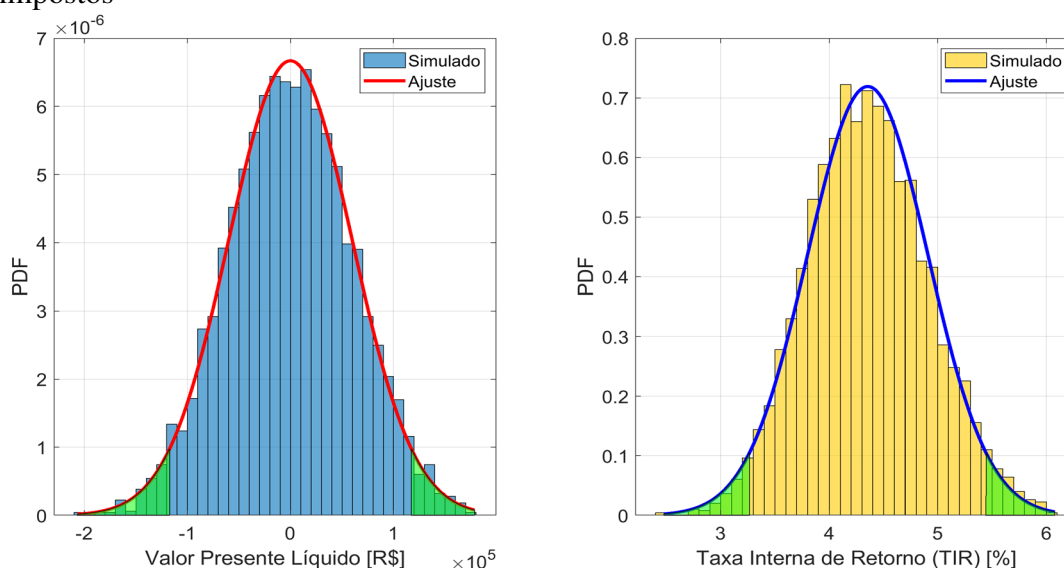


Fonte: [GEPEA, 2021c]

Com o objetivo de encontrar o Ponto de Equilíbrio Econômico (PEE), foi realizada uma análise de sensibilidade sobre o custo do BESS. Os resultados mostram que uma redução de 56,5% no valor mínimo, máximo e de modo da PDF associada ao custo de investimento do BESS permite que as receitas se igualem às despesas com 50% de probabilidade. Ressalta-se que esta redução também deve ser aplicada ao valor de operação e manutenção do BESS para atingir o PEE.

A Figura 25 mostra o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário no PEE. Como esperado, o valor médio do VPL é zero, com desvio padrão de R\$59.837, sendo que 95% das amostras oscilam entre \pm R\$117.000. Já a TIR apresenta um valor médio de 4,34% com desvio padrão de 0,56%. 95% das amostras variam entre 3,27% e 5,44%.

Figura 25: Histograma do VPL e TIR no ponto de equilíbrio para cenário com bateria LFP com impostos

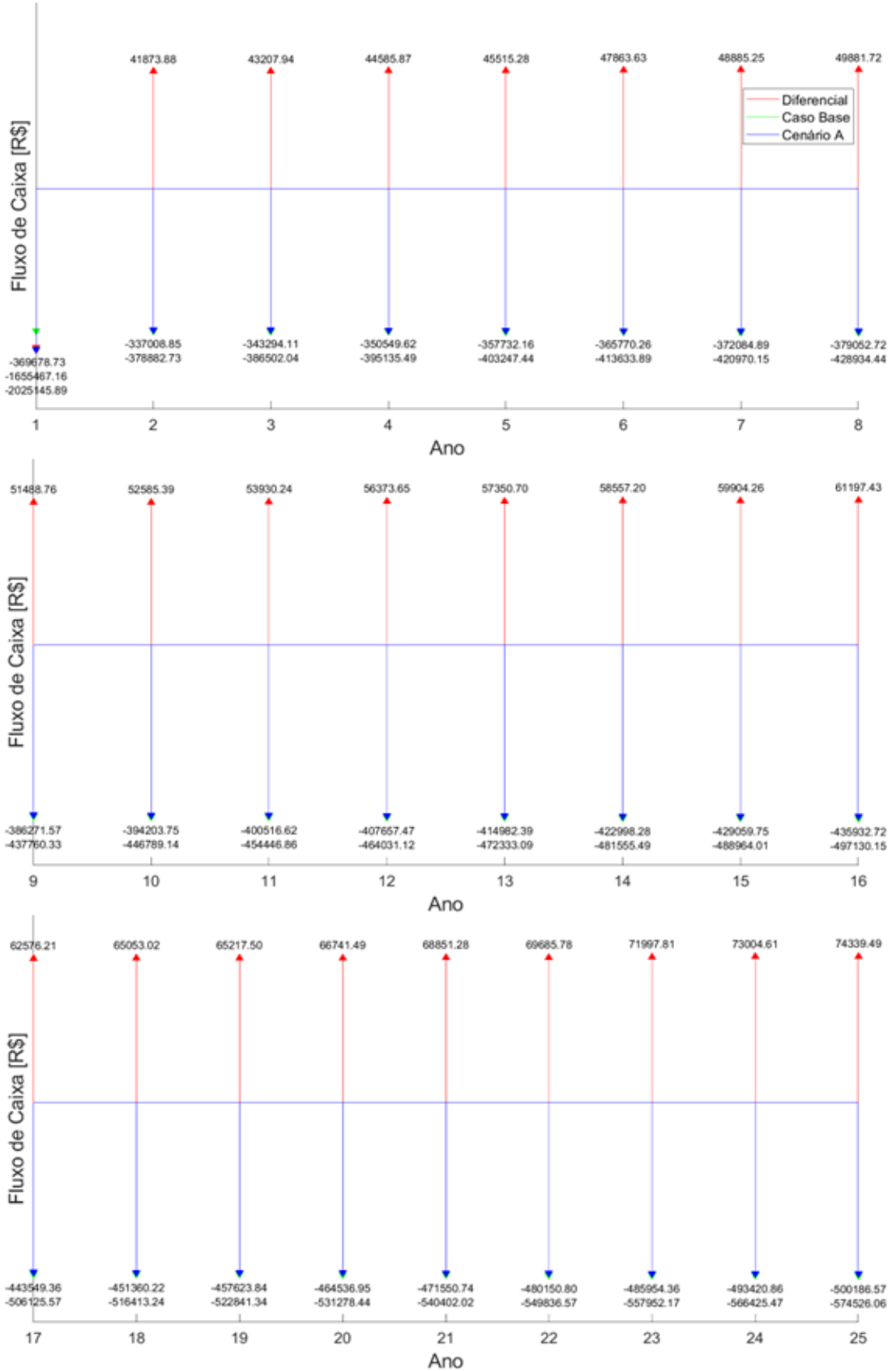


Fonte: [GEPEA, 2021c]

A Figura 26 mostra o diagrama de fluxo de caixa para o uso de BESS com bateria do tipo NCA durante o horário de ponta e fornecimento via rede para horários fora da ponta. O gráfico exibe o fluxo de caixa associado ao Caso Base assim como o fluxo de caixa diferencial. Todos os valores correspondem aos valores médios de fluxo monetário registrados anualmente.

A partir do Ano 2, o fluxo de caixa associado à tecnologia NCA tem um comportamento muito similar ao observado com a tecnologia LFP, pois as características das duas baterias, em termos de desempenho, são muito similares. A principal diferença registra-se no Ano 1, onde o fluxo de caixa diferencial apresenta um valor médio de R\$1.655.467,16, redução de aproximadamente 30%, se comparado ao cenário com LFP. Este cenário também apresenta um fluxo de caixa diferencial que aumenta ao longo do tempo, variando de R\$41.873,88, no início do período analisado, para R\$74.339,49 ao final dele.

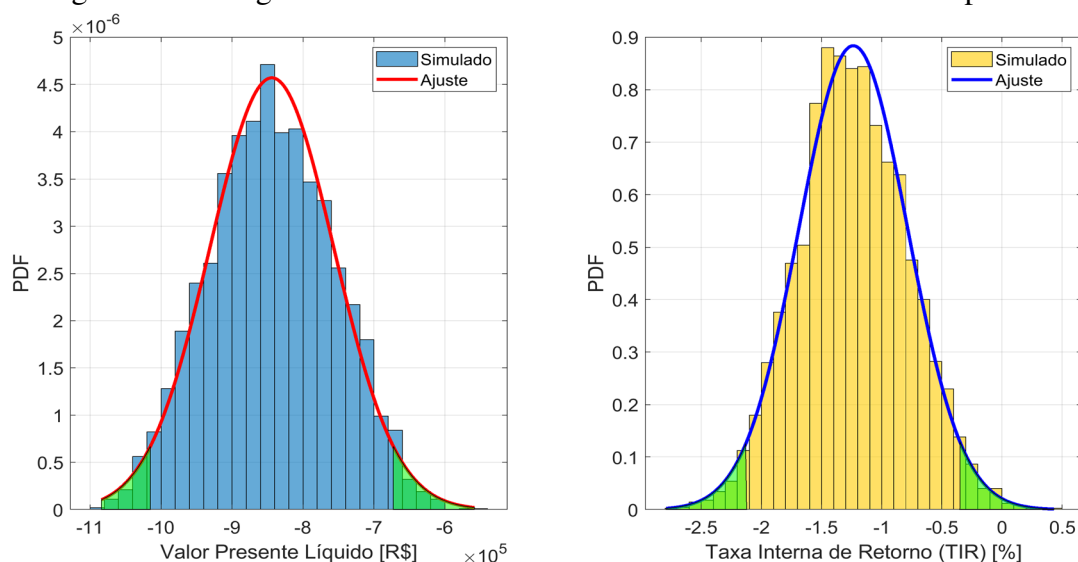
Figura 26: Fluxo de Caixa para fornecimento da rede e BESS do tipo NCA



Fonte: [GEPEA, 2021c]

A Figura 27 exibe o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário. O valor médio do VPL, em mil R\$, é -843,68, com desvio padrão de 87,33 e IC, com 95% de probabilidade de -1.015,00 até -672,00. O TIR, em porcentagem, tem valor médio de -1,24%, com desvio padrão igual a 0,45 e IC, com 95% de certeza, -2,12 até -0,35. Com 95% de probabilidade, o VPL é sempre negativo, implicando que, 95% de certeza, o uso do BESS equipado com bateria do tipo NCA como substituto da rede durante os horários de pico não é economicamente viável. Os resultados das análises mostram que, com 97,5% de certeza, os valores de TIR são negativos, inferiores a -0,35%, pois a soma dos fluxos de caixa futuros é inferior ao investimento inicial no BESS.

Figura 27: Histograma do VPL e TIR cenário com bateria NCA com impostos

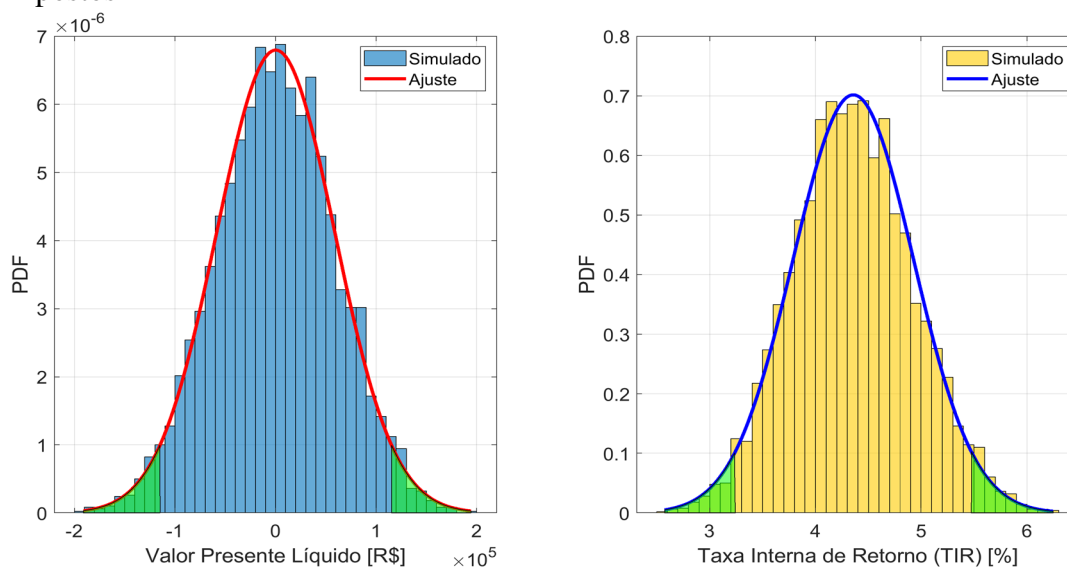


Fonte: [GEPEA, 2021c]

Com o intuito de determinar o PEE, foi realizada uma análise de sensibilidade sobre o custo do BESS. Os resultados mostram que é necessária uma redução de 41,6% no valor mínimo, máximo e de modo da PDF associada ao custo de investimento do BESS, para atingir o PEE com 50% de probabilidade. Ressalta-se que esta redução também deve ser aplicada à operação e manutenção do BESS para alcançar o PEE, ou seja, assegurar que as receitas se igualem às despesas.

A Figura 28 exibe o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário no PEE. Obviamente, o valor médio do VPL é zero, e apresenta um desvio padrão de R\$58.724, sendo que 95% das amostras oscilam entre \pm R\$114.700. Já a TIR apresenta um valor médio de 4,34% com desvio padrão de 0,57%. 95% das amostras variam entre 3,24% e 5,47%.

Figura 28: Histograma do VPL e TIR no ponto de equilíbrio para cenário com bateria NCA com impostos



Fonte: [GEPEA, 2021c]

Viabilidade econômica para cenário base - Rede e Bateria sem imposto

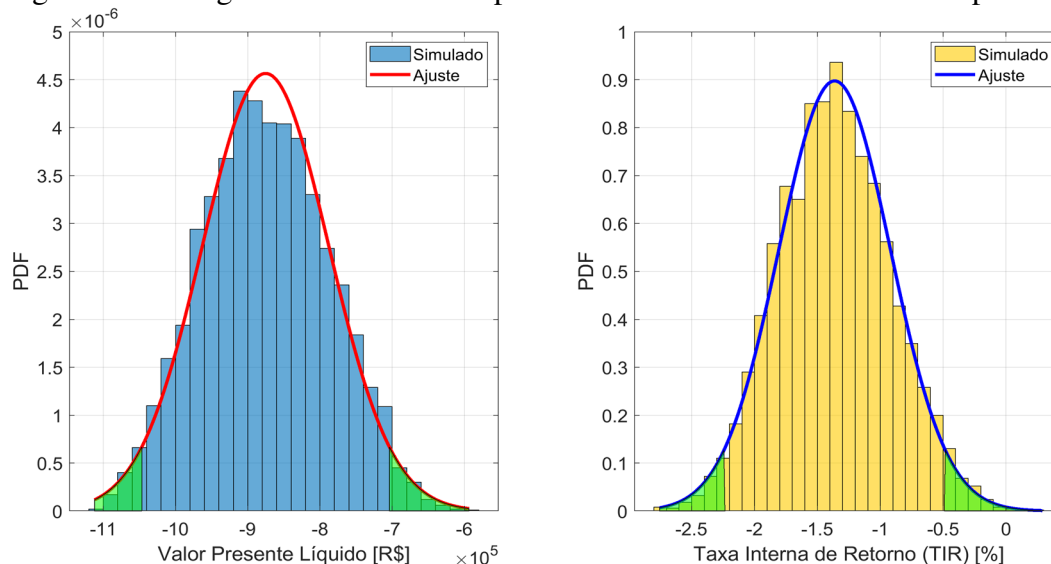
Do ponto de vista técnico, este cenário é similar ao Cenário B, i.e., as cargas do sistema são alimentadas pelo grid, durante o período fora de ponta, e pelo BESS no período de ponta. Contudo, esse cenário tem como objetivo avaliar se possíveis subsídios advindos de incentivos ao uso de BESS podem tornar o sistema economicamente viável; neste caso, analisa-se a rentabilidade do sistema com a aquisição do BESS sem impostos.

A partir do Ano 2, o fluxo de caixa diferencial é idêntico ao anterior para bateria LFP, pois nenhum parâmetro técnico foi alterado. Entretanto, no Ano 1, o fluxo de caixa diferencial é menor, em comparação com o anterior, com um valor médio de R\$1.688.747,38, redução de 27,96% se comparado ao Cenário com bateria do tipo LFP. Esta redução tem um impacto positivo no VPL e TIR. A Figura 29 exibe o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário.

Para esse cenário, o VPL, em mil R\$, tem valor médio de -875,10 e desvio padrão 87,41; o IC, com 95% de probabilidade, tem valores de -1.046,00 até -703,80. O TIR, em porcentagem, tem valor médio de -1,36 e desvio padrão 0,44, e o IC, com 95% de probabilidade de -2,23 até -0,49. Apesar de se ter uma redução significativa de aproximadamente 30% no custo médio do BESS devido à isenção de impostos, com 95% de probabilidade, esta redução não é suficiente para viabilizar o uso do BESS equipado com bateria LFP como substituto da rede durante os horários de pico da concessionária. A análise de sensibilidade mostra ser necessária uma

redução de 42,5% sobre o custo do BESS sem impostos para se atingir o PEE com 50% de probabilidade.

Figura 29: Histograma do VPL e TIR para cenário com bateria LFP sem impostos

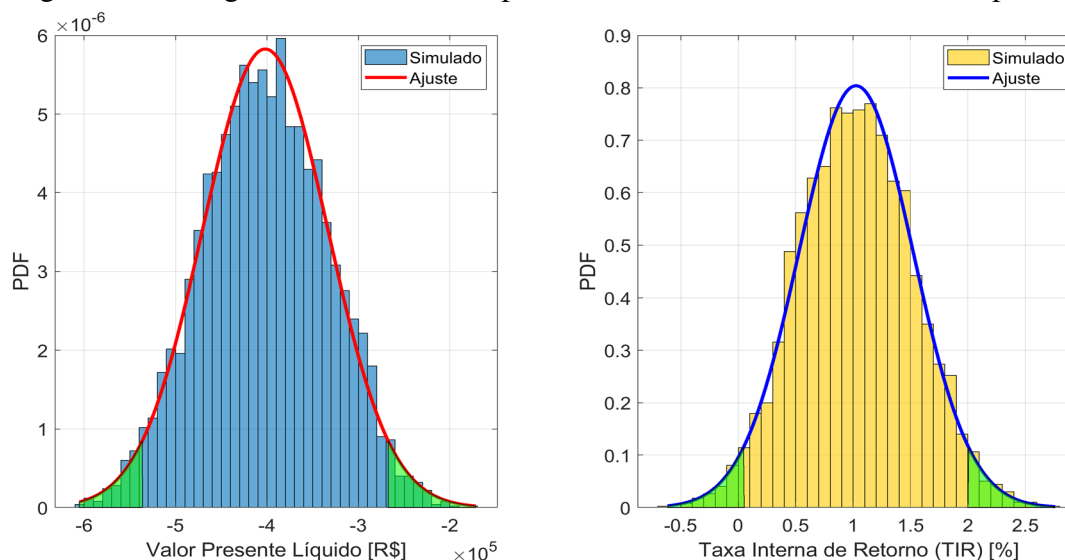


Fonte: [GEPEA, 2021c]

De maneira similar, do ponto de vista técnico, nenhum parâmetro foi alterado com relação ao cenário anterior para bateria do tipo NCA. Por esta razão, não se registra nenhuma alteração no fluxo de caixa diferencial a partir do Ano 2. Já no Ano 1, o fluxo de caixa apresenta um valor de R\$ 1.214.323,93 no investimento, uma redução de 26,65% se comparado ao cenário com imposto. A Figura 30 mostra o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário. Para esse cenário, o VPL, em mil R\$, tem valor médio de -401,84, desvio padrão de 68,50, e IC, com 95% de probabilidade, de -536,00 até -267,60. O TIR, em porcentagem, tem valor médio 1,03, com desvio padrão de 0,50, e IC, com 95% de probabilidade, entre 0,05 até 2,00.

Os resultados mostram que, com 95% de probabilidade, a TIR é positiva; no entanto, com a mesma probabilidade, o VPL é negativo pois a TIR é menor do que a taxa de juros real, indicando claramente que mesmo com a isenção de impostos o uso do BESS equipado com bateria NCA como substituto da rede durante os horários de pico da concessionária, não é economicamente atrativo. A análise de sensibilidade mostra ser necessária uma redução de 25,3% sobre o custo do BESS sem imposto para se atingir o PEE com 50% de probabilidade.

Figura 30: Histograma do VPL e TIR para cenário com bateria NCA sem impostos



Fonte: [GEPEA, 2021c]

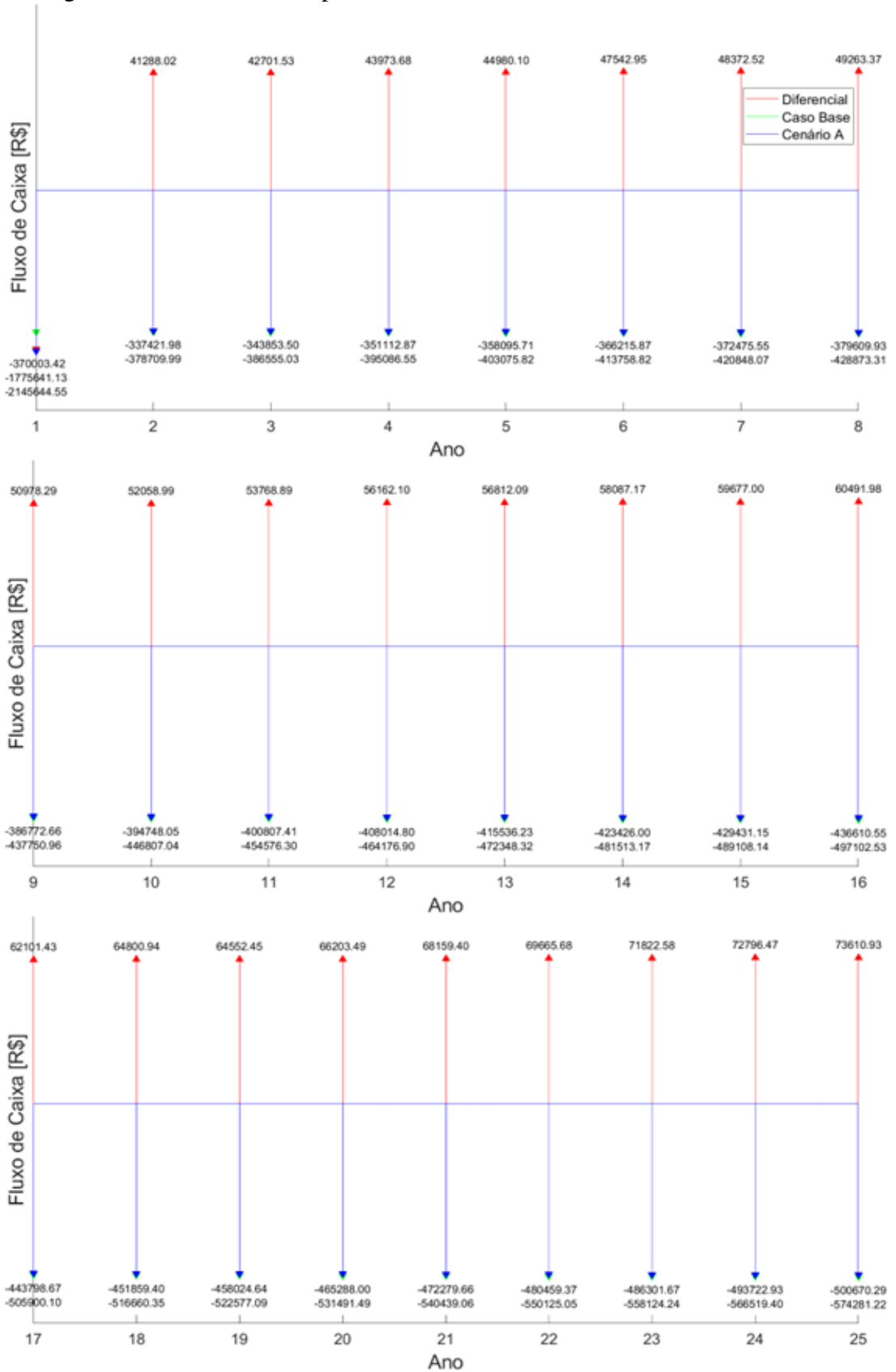
Viabilidade econômica para cenário base - Rede, BESS e Gerador Diesel

A partir da análise dos cenários anteriores, uma microrrede baseada no fornecimento da rede para horários fora de ponta e o Gerador Diesel para atendimento da demanda durante o horário de ponta é a melhor alternativa, sob uma perspectiva econômica. Com a não viabilidade do BESS, independentemente do tipo de bateria, é esperado que uma solução com o emprego desse sistema não seria viável.

Com o objetivo de conhecer o fluxo monetário, a Figura 31 exibe o diagrama de fluxo de caixa num cenário onde o BESS atende à demanda da carga no horário de ponta e o GGD apenas serve como backup do BESS em momentos nos quais a bateria atinge SOC muito baixos, ou períodos de manutenção, e a rede da concessionária está indisponível. A análise contempla a aquisição de um BESS com imposto, equipado com bateria NCA.

Como esperado, este cenário apresenta um elevado fluxo de caixa diferencial negativo no Ano 1 devido ao investimento na aquisição do GGD e BESS, atingindo um valor de R\$1.775.641,13. O investimento é inferior ao registrado no Cenário B – Bateria LFP, pois o custo do GGD é consideravelmente menor do que a diferença entre as duas tecnologias de baterias. A partir do Ano 2, os fluxos de caixa diferencial são sempre positivos, como resultado da economia na conta de energia elétrica durante os horários de ponta da concessionária. O lucro obtido é ligeiramente inferior ao observado nos Cenários relativos à rede e BESS, pois a adição do Gerador Diesel no sistema implica em custo para o consumidor. O fluxo de caixa diferencial aumenta ao longo do tempo, variando de R\$41.288,02, no início do período analisado, para R\$73.610,93 no final.

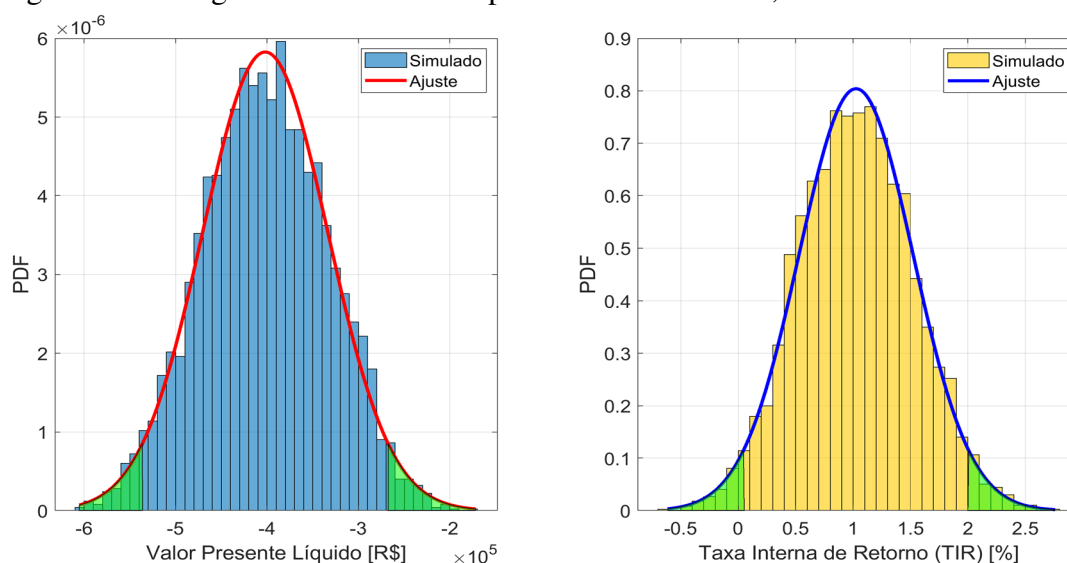
Figura 31: Fluxo de Caixa para fornecimento da rede, BESS e Gerador Diesel



Fonte: [GEPEA, 2021c]

A Figura 32 exibe o histograma do VPL e da TIR associados ao fluxo de caixa diferencial deste cenário. Para esse cenário, o VPL, em mil R\$, tem valor médio de -970,67 e desvio padrão 85,60, e IC, com 95% de probabilidade de -1.138,00 até -802,90. O TIR, em porcentagem, tem valor médio -1,77% e valor médio 0,42, o IC com valor de -2,60 até -0,95, com 95% de probabilidade. Como esperado, os resultados mostram que, com 95% de probabilidade, o VPL e TIR são sempre negativos, pois, a soma dos fluxos de caixa futuros é inferior ao investimento inicial para o BESS e Gerador Diesel.

Figura 32: Histograma do VPL e TIR para cenário com rede, BESS e Gerador Diesel



Fonte: [GEPEA, 2021c]

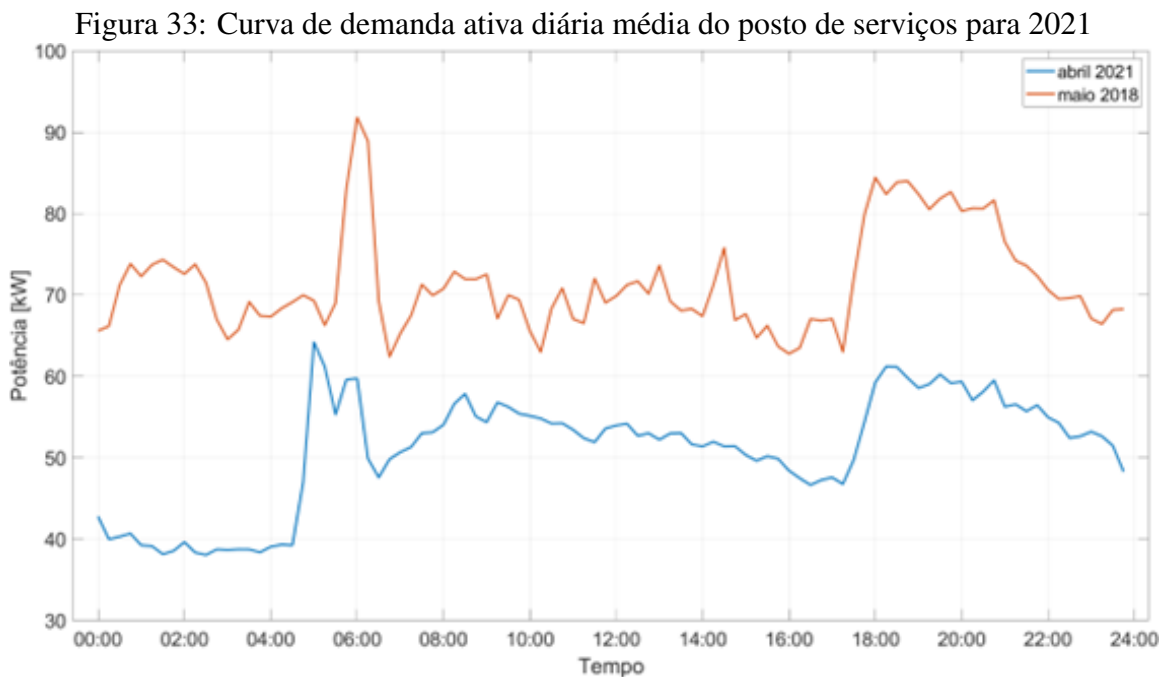
A análise de sensibilidade mostra ser necessária uma diminuição de 48,3% sobre o custo do BESS (bateria NCA) para atingir o PEE com 50% de probabilidade.

7.2 Resultados pós-implantação

Nessa seção, o desempenho do sistema em condições reais de funcionamento e o fornecimento dos serviços previstos para o BESS serão analisados. Os dados foram coletados sistema SCADA durante os meses de abril e maio do ano de 2021. O SCADA instalado registra valores de 118 grandezas (canais) em arquivos do tipo *log* com taxa de amostragem de um minuto, diariamente.

7.2.1 Análise do sistema pós-implantação

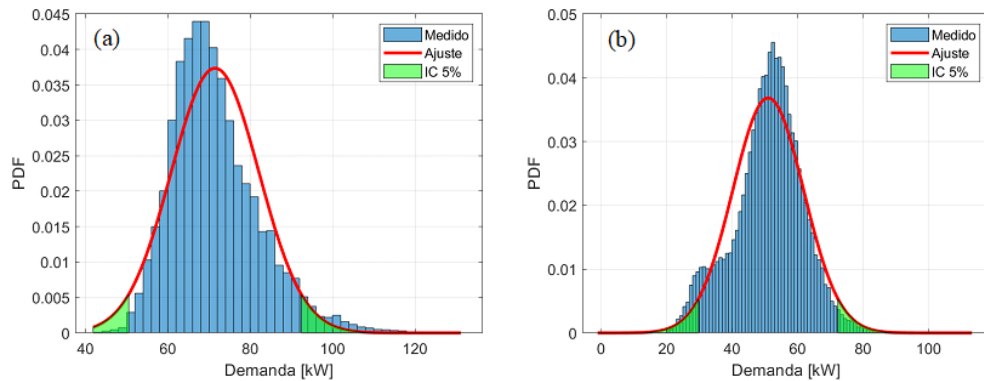
A Figura 33 mostra a curva de demanda ativa diária média do local escolhido, integralizada em intervalos de 15 minutos, para os meses de maio 2018 e abril 2021. Em comparação com a curva de demanda anterior, as duas são semelhantes, com picos e vales ocorrendo quase no mesmo horário, com poucas desigualdades durante o dia; a máxima demanda, para ambas as curvas, acontece fora do horário de ponta. Mudanças significativas no consumo ocorreram para o período proposto, como a redução no consumo de energia elétrica no local, reforçada pelo deslocamento da curva, causada pela pandemia de Corona Virus Disease (COVID). A fonte principal para essa análise é o trabalho voltado à medição da eficiência operativa pós-implantação no consumidor real [GEPEA, 2021b]



Fonte: [GEPEA, 2021b]

A Figura 34 mostra o histograma calculada para a demanda do local e a distribuição normal sobreposta, ajustada ao histograma. A distribuição normal exibe um IC de 5% em verde, ou seja, 95% dos dados medidos se localizam fora das regiões marcadas em verde. Os resultados mostram que, com 50% de probabilidade, a demanda do local limita-se a valores abaixo de 71,5 kW e 51,0 kW para os meses de maio de 2018 e abril de 2021, respectivamente, o que representa uma redução de 28,6% na demanda média. A redução tem impacto direto na eficiência do PCS do BESS e no Gerador Diesel, dado que o inversor e o motor Gerador Diesel, com maior frequência, operam com valores abaixo dos níveis de carga, condição operativa em que a eficiência destes equipamentos é menor.

Figura 34: Histograma da demanda do local para o período de (a) maio de 2018 e (b) junho de 2021

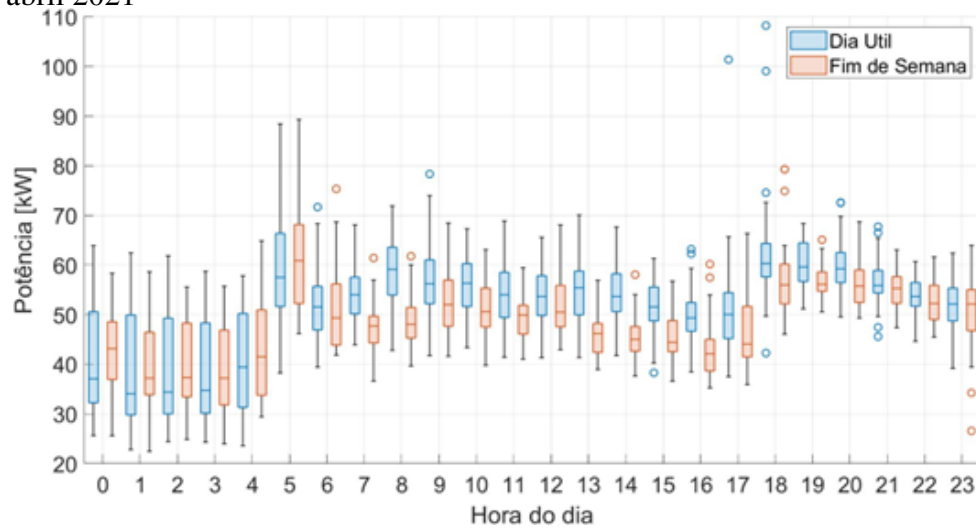


Fonte: [GEPEA, 2021b]

Pela avaliação da demanda do local, os máximos níveis de consumo são registrados por volta das 5h; durante o horário de ponta, o maior consumo é registrado em torno das 18h. Os menores níveis de consumo ocorrem durante a madrugada, meia noite e 4h. A análise desses dados é indispensável para estabelecer uma estratégia para a operação do BESS: o período mais adequado para a carga da bateria é durante a madrugada, sem interferir na demanda máxima contratada do local. O horário mais adequado para a carga do BESS é entre meia noite e 4h, independentemente do SOC.

A variabilidade no perfil de consumo entre os diferentes dias da semana, mostrada no box-plot da demanda registrada em abril 2021 discriminada por dias úteis e fins de semana da Figura 35 mostra que os fins de semana apresentam dispersão menor dos dados, dada a menor quantidade de sábados e domingos da amostra, o perfil de consumo é semelhante. A maior alteração é registrada entre 7h e 17h. Estes resultados mostram que não é necessária uma análise e estratégia de operação diferenciada para o BESS entre dos dias da semana.

Figura 35: Boxplot da potência ativa consumida para dias úteis e fim de semana para o período de abril 2021



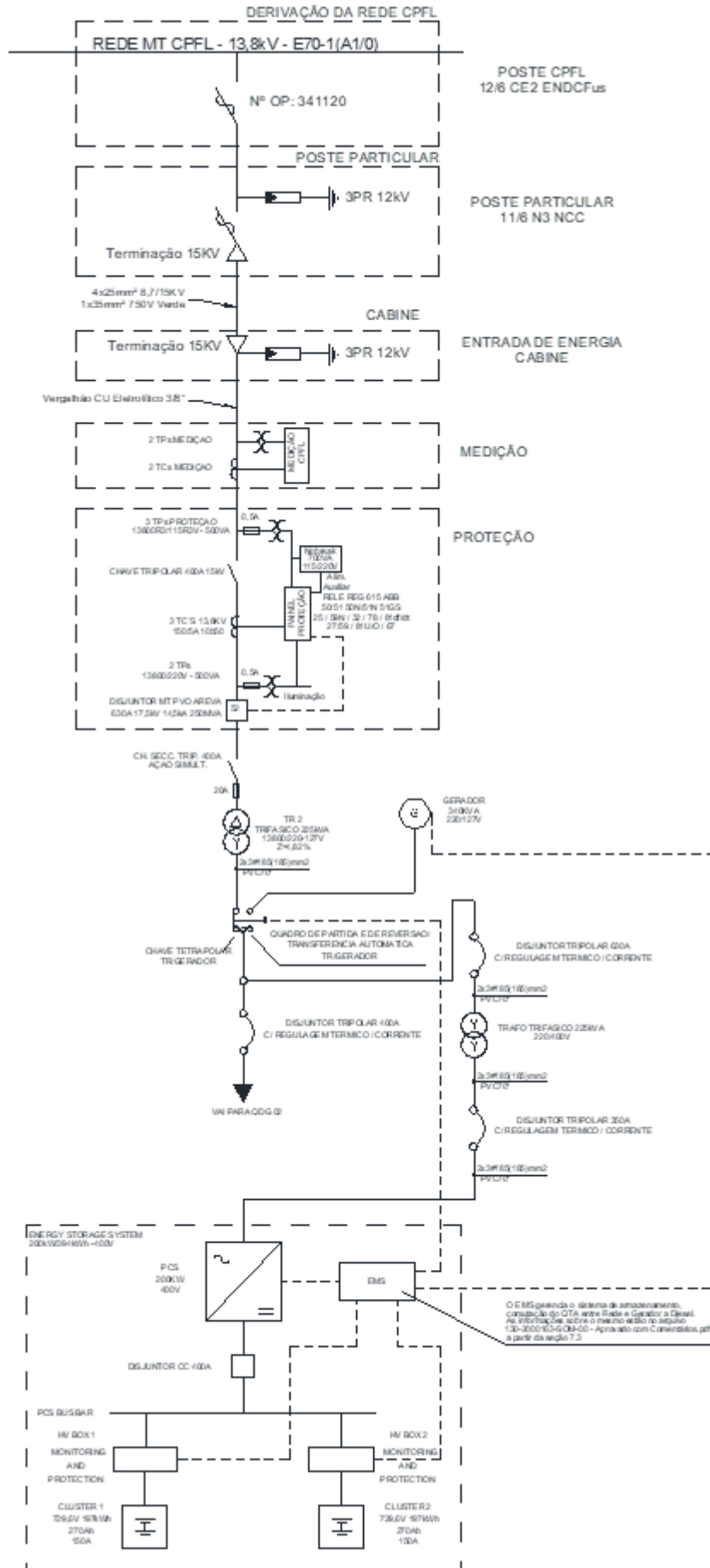
Fonte: [GEPEA, 2021b]

A análise da demanda para o período determina que o DoD médio será menor e, consequentemente, o BESS poderia operar com maior número de ciclos antes de atingir o EoL; variação na eficiência *round-trip* do BESS também foi esperada para o período, uma vez que esse parâmetro é afetado pelos níveis de DoD.

7.2.2 Infraestrutura pós-implantação

A Figura 36 mostra o Diagrama Unifilar pós-implantação: o BESS é composto por duas fileiras (*racks*) de baterias ligadas a um barramento comum DC. As baterias são acopladas ao Quadro de Transferência Automática (QTA) através de um inversor bidirecional (PCS) trifásico e um transformador abaixador à seco.

Figura 36: Diagrama unifilar da microrrede pós-implantação



As características técnicas para o BESS, do tipo íons de lítio, pós-implantação é a capacidade de armazenamento, nominal/útil de 430 kWh/390 kWh, Potência nominal de 200 kW, tensão de conexão 220 V fase-fase, frequência de 60 Hz e eficiência média, *round-trip* superior a 85%. As células são do tipo LFP (Lithium iron phosphate), taxa de carga e descarga nominal de valor dois, potência de carga e descarga nominal na taxa horária de 448 W e energia de carga e descarga nominais na taxa horária de valor 869 Wh, tensão nominal igual a 3,2 V, tensão no fim da recarga de 3,6 V, tensão no fim da descarga de 2,8 V.

Os dois racks têm 240 células ligadas em série, potência de carga e descarga nominal na taxa horária igual a 215,0 kW, energia de carga e descarga nominais na taxa horária de valor 408,6 kWh, tensão nominal 768 V. O PCS tem potência nominal de valor 200 kW, frequência 60 Hz, fator de potência: 0,6 1, indutivo ou capacitivo, e tensão igual a 380 V, fase-fase.

Os modos de operação para o BESS são deslocamento do horário de consumo, energia de backup, regulação de tensão (V/W) e regulação de tensão (V/Var). A principal divergência entre o pós-implantação e o sistema inicialmente definido concerne aos modos de operação do BESS. Os três primeiros modos citados anteriormente estão sendo cumpridos de forma satisfatória, porém o modo de regulação de tensão atende parcialmente, impondo importantes restrições na operação. No momento das medições, o PCS não desacoplava totalmente o fornecimento de potência reativa da potência ativa. O modo regulação de fator de potência não estava sendo fornecido pelo BESS instalado.

O Gerador Diesel, existente no local desde as primeiras medições, não foi alterado, tanto para a parte elétrica quanto para a mecânica. No local, houve uma alteração na Unidade de Supervisão de Corrente Alternada (USCA), com permissão de controle de partida do Gerador Diesel também por meio do EMS do BESS.

7.2.3 Análise da qualidade no fornecimento dos serviços propostos

O primeiro serviço a ser analisado quanto ao seu fornecimento é o deslocamento do horário de consumo. O BESS opera em paralelo permanente com a rede principal, o que permite que, durante o horário de ponta, o BESS possa operar sem interrupção no fornecimento de energia, para isso incrementando a potência ativa de saída do PCS. Para isso, há a necessidade de um sistema de controle que equalize a demanda do sistema com a potência injetada pelo BESS. Este controle é implementado por meio de um sistema de malha aberta: a cada segundo, o sistema de controle do BESS calcula a potência ativa que deve injetar no sistema baseado no balanço energético, calculada pela soma das potências ativas que alimentam o restaurante, posto de combustível e serviços auxiliares do BESS, como indicado em .

$$PBESS(t) = (P_{R(t-1)} + P_{P(t-1)} + P_{S(t-1)})F_{perda}$$

Onde, $P_{BESS}(t)$ é a potência ativa injetada pelo BESS no tempo t , $P_{R(t-1)}$, $P_{P(t-1)}$ e $P_{S(t-1)}$ são as potências ativas medidas no tempo $t - 1$ nos circuitos principais que alimentam o restaurante, posto de combustível e serviços auxiliares do BESS, F_{perda} = fator constante que indica as perdas no sistema.

O sistema de controle, tal como implantado, é simples em seu funcionamento, mas não há rastreamento direto da saída, o que implica em alta sensibilidade a distúrbios e variações internas nos parâmetros do sistema, tais como mudanças no nível de perdas. A precisão do controle é baixa, o que torna necessário utilizar valores conservativos de F_{perda} , garantindo que em nenhuma condição operativa exista consumo de energia da rede principal. No entanto, a situação descrita causa uma situação inversa, uma vez que há exportação de potência ativa do BESS para a rede - fluxo reverso de potência.

O PCS instalado é um inversor bidirecional trifásico. Este tipo de conversor de potência tipicamente utiliza uma técnica de controle conhecida como Controle Orientado por Tensão (VOC, *Voltage Oriented Control*, baseada na transformação das tensões e correntes trifásicas, do sistema de coordenadas fixo abc , para o sistema rotativo $d-q$. O sistema de controle dinâmico do inversor é implementado na referência síncrona da tensão da rede e simplifica a implantação.

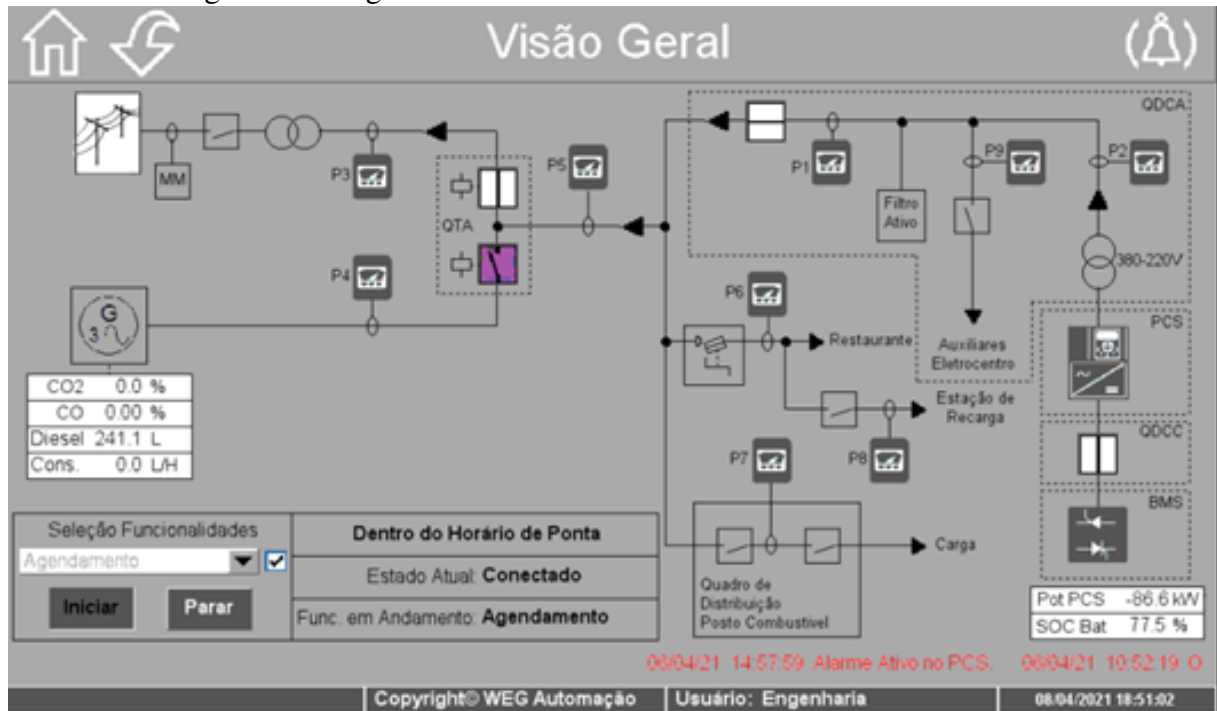
Apesar das suas vantagens, a VOC permite apenas o controle da potência trifásica do inversor, o que não permite o controle individual da potência de saída de cada fase do conversor. No caso do local escolhido, dada a predominância de cargas monofásicas, o balanceamento absoluto de consumo de potência no PAC continuamente não é possível, o que torna necessária a injeção de elevados níveis de potência trifásica para assegurar que não ocorra consumo de energia da rede principal. Esse fato gera uma condição de fluxo reverso de potência nas fases menos carregadas. Dadas as limitações explicitadas, há fluxo reverso de potência elevado durante o horário de ponta.

Para situações em que o Gerador Diesel opera no horário de ponta não há o fluxo reverso de potência, uma vez que ele não opera em paralelo com a rede principal. Uma das desvantagens durante essa operação é a interrupção de fornecimento de energia para a carga durante a comutação das fontes, tanto no início quanto no final do horário de ponta. O fluxo reverso identificado durante o horário de ponta reduz a viabilidade econômica do BESS, uma vez que a bateria é descarregada além do inicialmente estipulado. Essa circunstância acarreta maior consumo de energia da rede principal para carregar a bateria, o que implica em custo para o consumidor, e há perda de vida útil da bateria devido às descargas serem mais profundas.

O desempenho do BESS é medido com o conceito da *eficiência round-trip*, isto é, a relação entre a energia entregue pelo BESS, durante a descarga, e a energia recebida pelo BESS durante a recarga, ao longo de um ciclo de carga/descarga que tem o mesmo SOC de partida e chegada. Para esse estudo, a potência de carga e descarga têm valores diferentes: enquanto a potência de carga pode ser controlada e mantida em valor constante por todo o processo de carga da bateria, a potência de descarga depende da demanda consumida durante o horário de ponta.

A potência de carga desejada é configurada via sistema SCADA; para a determinação da eficiência do BESS, foram configurados quatro diferentes valores de potência de recarga durante a operação do sistema: 87 kW, 54 kW, 40 kW e 22 kW em C₅, C₈, C₁₀, e C₂₀, de acordo com o diagrama unifilar de monitoramento, mostrado na Figura 37. Valores superiores a 87 kW não são possíveis de utilizar, pois atinge-se a demanda máxima contratada e a análise de valores menores do que 22 kW não faz sentido dentro da aplicação de deslocamento do horário de consumo, pois o tempo gasto na recarga seria muito longo, impedindo eventualmente a bateria de ser totalmente carregada antes de começar um novo ciclo de descarga.

Figura 37: Diagrama Unifilar do monitoramento do sistema no local

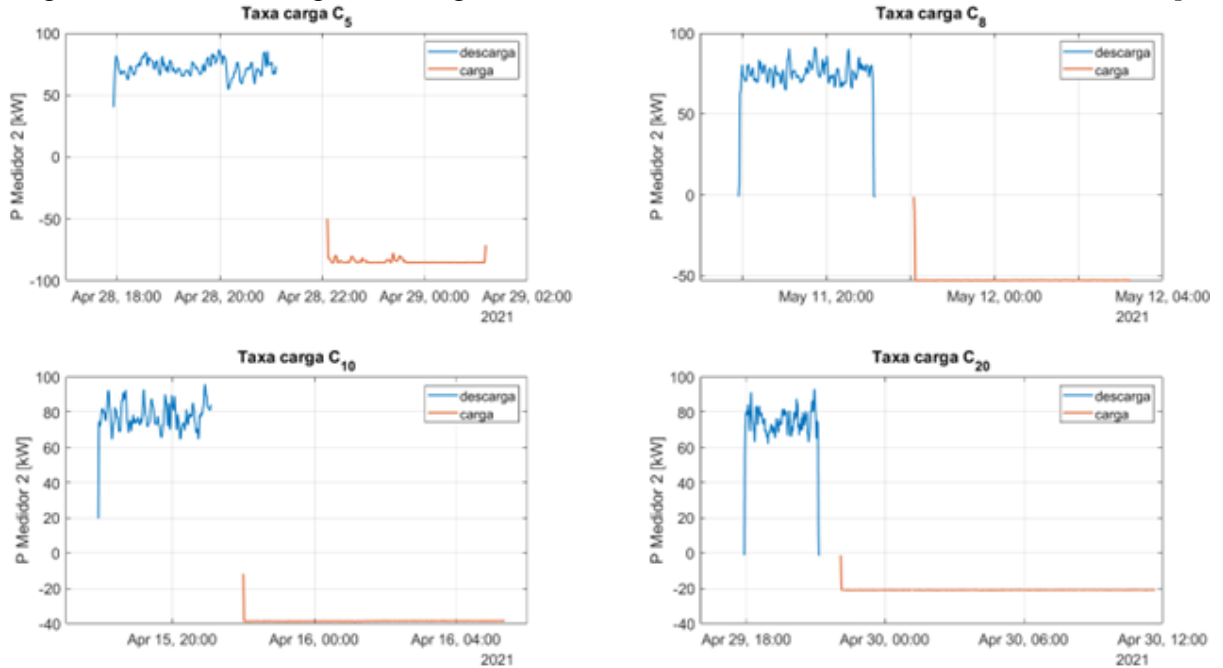


Fonte: [GEPEA, 2021b]

Para todos os cenários analisados, o perfil de descarga é similar, pois a dispersão da demanda consumida no local durante o horário de ponta é relativamente baixa. A descarga acontece entre às 17h55 e 21h05 e a recarga inicia após às 22h05. O término do carregamento é função da potência de carga: quanto maior for a potência de recarga, menor o tempo gasto neste

processo. Os resultados mostram que o carregamento do BESS demora 3h06m, 5h10m, 7h23m e 13h36m para as taxas de recarga de C_5 , C_8 , C_{10} , e C_{20} , respectivamente. A Figura 38 mostra o perfil de carga e descarga para os cenários analisados.

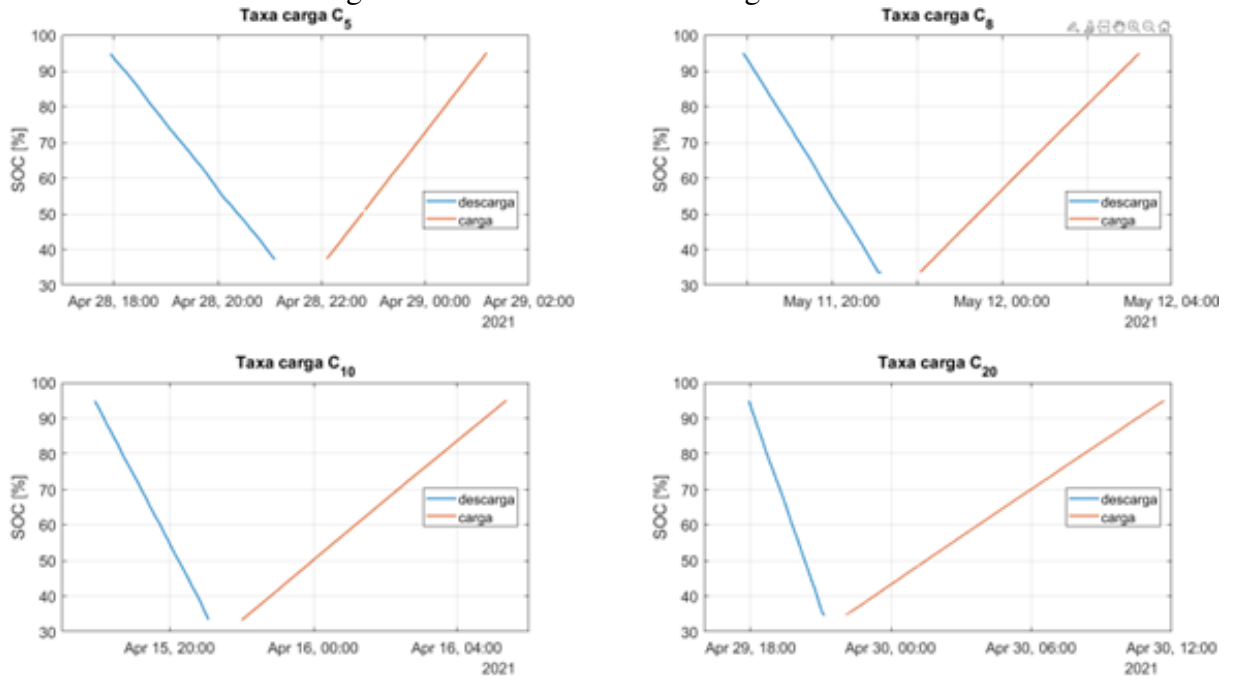
Figura 38: Perfil de carga e descarga do BESS utilizado nas análises de eficiência *round-trip*



Fonte: [GEPEA, 2021b]

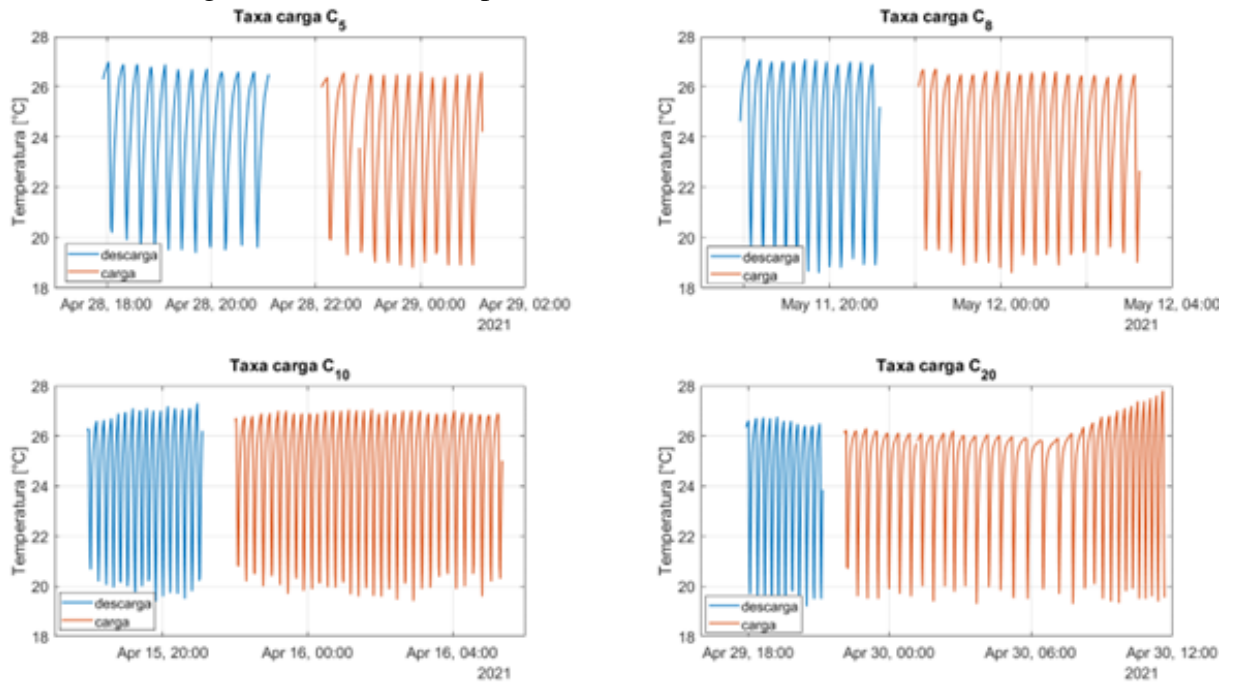
O SOC e a temperatura do interior do contêiner têm impacto na eficiência do sistema. A Figura 39 e Figura 40 mostram o perfil do SOC e temperatura, respectivamente, durante os ciclos de carga e descarga para os casos analisados. Para o estado de carga, a descarga começa a partir de um SOC máximo de 95% para todos os casos analisados; o SOC mínimo depende da carga consumida, mas os valores atingidos são próximos: 37,2%, 34,2%, 33,4% e 34,8% para as taxas de recarga de C_5 , C_8 , C_{10} , e C_{20} , respectivamente. Para todos os casos, o processo de recarga termina quando a bateria atinge novamente um SOC de 95%. Os resultados obtidos permitem concluir que o DoD para os quatro cenários analisados é aproximadamente 60%.

Figura 39: Perfil do estado de carga da bateria



Fonte: [GEPEA, 2021b]

Figura 40: Perfil de temperatura no interior do contêiner das baterias



Fonte: [GEPEA, 2021b]

7.2.3.1 Análise dos serviços fornecidos pelo sistema pós-implantação

Do ponto de vista de desempenho energético de longo prazo, o deslocamento do horário de consumo é o mais relevante dada a expectativa de quantidade de dias em que seria requisitado - o BESS opera neste modo cinco vezes, semanalmente. A análise da eficiência operativa para esse modo de operação é feita empregando os dados coletados pelo sistema SCADA entre os dias 17/05/2021 e 02/06/2021, período durante o qual a potência utilizada no carregamento da bateria foi parametrizada em 54 kW, valor corresponde a taxa de recarga de Cs.

A Tabela 7 mostra os resultados, simulados e medidos, para o fluxo de energia médio diário do BESS, Grid e Carga, registrado na ponta e fora de ponta, durante a operação no modo deslocamento do horário de consumo. A eficiência global do deslocamento do horário de consumo, calculada como a razão entre a energia entregue à carga durante o horário de ponta, descontadas as perdas nos alimentadores de Baixa Tensão, e a energia injetada no BESS fora do horário de ponta é de 77,9%. O valor é inferior ao calculado anteriormente de 82,1% para uma taxa de recarga Cs. A diferença é causada devido ao elevado fluxo reverso registrado para o horário de ponta. Os resultados também indicam que a eficiência do BESS, calculada como a razão entre a energia fornecida pelo BESS durante o horário de ponta e a energia injetada no BESS fora do horário de ponta é de 88,4%, valor próximo ao obtido na análise anterior.

Tabela 7: Fluxo de energia no Grid e BESS durante o deslocamento do horário de consumo

Local	Parâmetro	Medido [kWh/dia]	Simulado [kWh/dia]	Erro simulação [%]
Rede	Energia fora da ponta	1558,3	1533,0	-1,6
	Energia na ponta	-22,3	-22,5	+0,9
BESS	Energia fora da ponta	274,0	277,6	+1,3
	Energia na ponta	242,1	243,0	+0,4
Carga	Energia fora da ponta	1111,1	1133,3	+1,2
	Energia na ponta	200,7	203,7	+1,5

[GEPEA, 2021b]

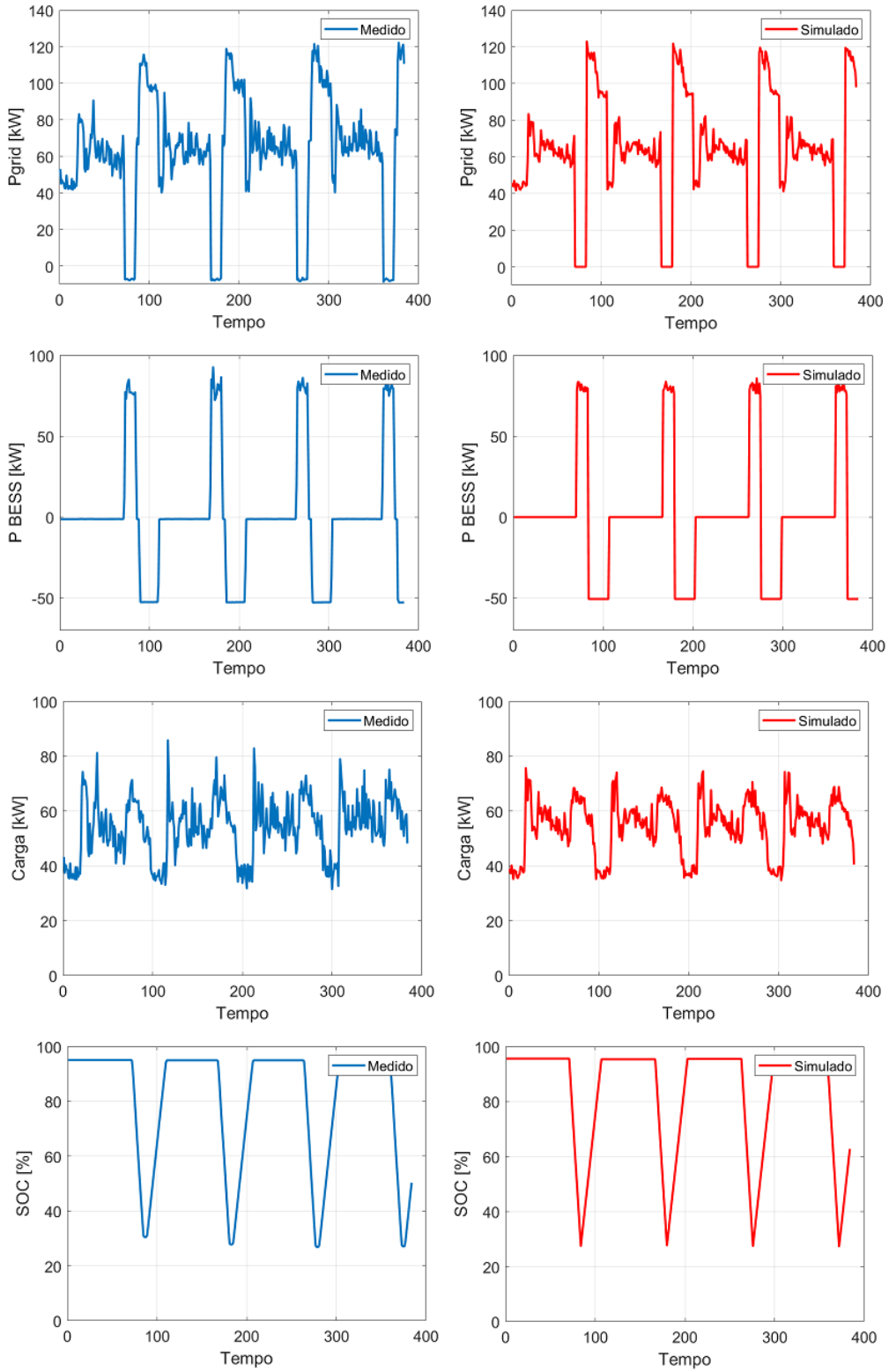
Na etapa de análise do local, o histórico de consumo de energia elétrica, apontado na conta de energia, entre o período de abril a novembro de 202 era de aproximadamente 1.280 kWh/dia. Após a instalação, o consumo aumentou em torno de 22%, associado às perdas do BESS e ao fluxo reverso, e confirma a estimativa de que a eficiência global do deslocamento do horário de consumo é de aproximadamente 78%.

Os resultados obtidos por meio da medição confirmam que os modelos matemáticos utilizados na simulação são precisos - o erro máximo obtido é de 1,6% - para determinar os valores de fluxo de energia entre as fontes e a carga. A Figura 41 mostra o perfil típico, medido e simulado, de potência injetada e consumida pela rede, BESS e carga para quatro dias úteis. Os perfis da

esquerda correspondem à medição e à direita são simulados.

Ainda nesta figura, o SOC da bateria pode ser analisado: as curvas medidas e simuladas são equivalentes, exibindo praticamente a mesma dinâmica, com valores máximos, médios e mínimos semelhantes. A diferença ocorre no caso da potência injetada pela rede principal (Pgrid); este dado tem valores nulos no horário de ponta quando simulado e negativos quando medidos. A diferença nos valores ocorre pois na simulação o fluxo reverso ser simulado como uma carga adicional conectada no PAC e não como uma injeção de potência na rede. Durante a recarga do BESS, entre 22h e 3h30min, a potência injetada pela rede aumenta em aproximadamente 65%, com valores próximos a 120 kW. Este valor representa 75% da demanda contratada e mostra que uma taxa de recarga C_8 pode maximizar a eficiência do BESS sem implicar em impactos negativos para o local. Mesmo para patamares de consumo prévios à pandemia de COVID 19, a taxa de recarga C_8 pode ocorrer, uma vez que o pico de consumo acontece por volta das 5h, após a carga da bateria. O PCS opera numa faixa bem limitada, com valores próximos à +80 kW durante a descarga e -54 kW durante a recarga; estes valores representam 40% e 27% da potência nominal, respectivamente.

Figura 41: Perfil típico de potência injetada-consumida pelo Grid, BESS e Carga; e Estado de Carga da bateria



Fonte: [GEPEA, 2021b]

O perfil do SOC é regular ao longo do tempo, resultado do consumo uniforme durante o

horário de ponta e taxa de recarga constante. O valor máximo de SOC é configurado no BMS do BESS para 95%, e os valores mínimos são configurados para aproximadamente 27%. A DoD típica para a bateria durante o deslocamento do horário de consumo é equivalente à 68%.

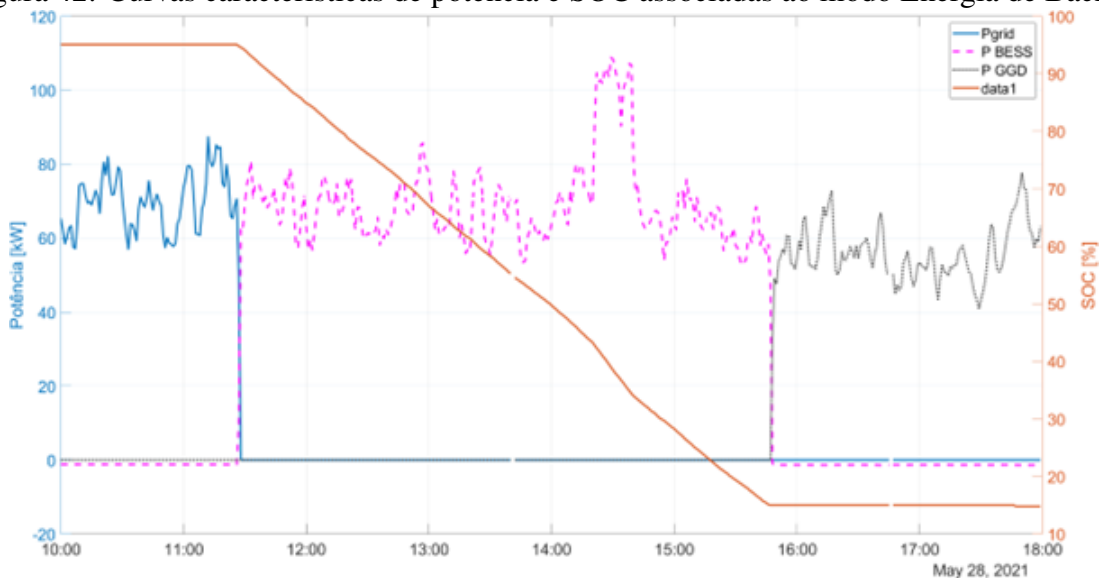
7.2.3.2 Energia de Backup

Os indicadores de continuidade de fornecimento de energia para o local, Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC) e Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC), apontam que a duração e o número de interrupções registradas na rede elétrica em que o consumidor está conectado é baixo. Os valores de Padrão Mensal são 3,57 e 2,17, Padrão Trimestral de 7,15 e 4,35, e Padrão Anual com valores de 14,3 e 8,71 para o DIC e FIC respectivamente. Como a demanda para serviços de backup é baixa, este modo de operação não é relevante do ponto de vista de desempenho energético de longo prazo.

Dada a baixa ocorrência de interrupções durante o período de monitoramento não é possível extrair conclusões estatisticamente confiáveis sobre seu desempenho. Ainda assim, ao analisar os dados obtidos para o período, a conclusão de que a eficiência é superior à observada no modo de deslocamento de energia, pois, neste caso, não existe exportação de potência ativa do BESS para rede principal - fluxo reverso de potência.

A Figura 42 ilustra as curvas características de potência injetada pela rede, BESS e Gerador Diesel durante uma típica operação do modo de Backup, e o SOC da bateria.

Figura 42: Curvas características de potência e SOC associadas ao modo Energia de Backup



Fonte: [GEPEA, 2021b]

Na condição pré-falta, a rede alimenta a carga e o BESS está em modo de espera com 95%

de SOC. O Gerador Diesel não está operando no início do período analisado. Às 11h26 ocorre a interrupção, e o local está ilhado, isto é, se isola da rede da concessionária, o BESS automaticamente assume a carga. Por volta das 15h48, a bateria atinge seu SOC mínimo (configurado em 15%, por recomendação do fabricante) e o EMS do BESS inicia a partida do Gerador Diesel, que alimenta a carga. Durante a operação do Gerador Diesel, o BESS permanece em modo de espera e não é carregado pelo Gerador Diesel. Dessa forma, o SOC permanece inalterado e as duas fontes não operam em paralelo; esse fato causa impacto nulo do BESS na eficiência operativa do Gerador Diesel.

7.3 Análise sociotécnica dos resultados obtidos

Os resultados serão analisados sob a perspectiva Multinível, ou seja, pela determinação dos níveis de Conjuntura, Regime e Nicho. Para o nível da Conjuntura, a análise dos efeitos da desindustrialização no país, apontada pela queda na produção industrial e oferta de emprego para esse setor [DEMOGRAFIA... , 2015] e a queda de renda no Brasil [INDICADORES... , 2021] apontam queda da capacidade de compra por diversos níveis de renda e faixa etária. O impacto da redução da renda causa aumento de procura por programas sociais de apoio ao pagamento por serviços públicos, como é o caso do Tarifa Social, programa voltado ao público de menor poder aquisitivo e que ressarcie esse público por redução no valor da conta com descontos na fatura de energia elétrica. Esses programas são voltados à segurança energética de público de baixa renda.

O incentivo governamental ao acesso à energia elétrica pode ser analisado como uma garantia de acesso a um serviço público e à continuidade de negócios de empresas do setor, assegurando que esses atores serão ressarcidos por um serviço prestado. Esse direcionamento reduz as perdas das empresas e inibe a inadimplência desse público, além de assegurar a participação do Brasil em programas voltados à universalização da energia elétrica e acesso a serviços modernos baseados em energia elétrica, como aqueles determinados pela ONU como metas para o desenvolvimento sustentável [SUSTAINABLE... , 2018]. A execução de programas sociais voltados ao setor elétrico reforça o financiamento governamental para essas empresas e aponta o posicionamento estratégico do fornecimento de serviços baseados em energia elétrica no país. O impacto da desindustrialização, por sua vez, indica incertezas na demanda por energia e o baixo investimento em setores intensivos em tecnologia e conhecimento, reforçando o quadro de queda da renda e crescimento de setores com menor valor agregado. Esse cenário tem impacto direto também nas relações de mercado internacional, com desvalorização na importação de tecnologias, e geração de emprego e conhecimento no Brasil.

Todos esses fatores têm impacto na adesão por novas tecnologias no setor elétrico brasileiro, especialmente para o BESS que ainda está em caráter incipiente de implantação no país. Como analisado anteriormente, a viabilidade econômica, fator que poderia impulsionar a fabricação nacional do sistema, a necessidade de conhecimento específico e a qualificação de mão de obra são condições vitais para a escalabilidade do sistema. No momento, não há programas de incentivo à produção nacional de tecnologia, especialmente voltada para BESS ou até mesmo para ampliar a produção de outras fontes de geração de energia que poderiam baratear a operação desse sistema.

A busca por serviços baseados em energia elétrica com menor impacto negativo ao meio ambiente pode impulsionar a demanda por BESS, ampliando a oferta de serviços e gerando mudanças no comportamento dos consumidores. As mudanças no setor, no entanto, são hoje impulsionadas pelo processo de financeirização, e as exigências dos consumidores são voltados ao atendimento imediato de metas econômicas e busca por lucro. A expectativa de crescimento da demanda para os próximos anos e o aumento na penetração de fontes renováveis de geração de energia elétrica são hoje resultado de metas de mercado, não atentando à viabilização de tecnologias e redução de emissão de carbono.

A participação de grupos e o crescimento de práticas educacionais para o setor gera a perspectiva de mudança de comportamento no consumidor e a sua participação mais ativa no setor. Esses fatores podem impulsionar uma mudança no setor mais voltado à viabilidade e confiabilidade de serviços modernos de energia elétrica, sustentabilidade das atividades socioeconômicas e o acesso à infraestrutura, ampliando a quantidade de Geradores Distribuídos e a consciência de consumidores-finais quanto ao seu papel na mudança voltada à redução de impactos climáticos.

Esse papel pode ser reforçado pela adesão à acordos climáticos internacionais, como o caso do Acordo de Paris, considerado um dos pontos iniciais, e à criação e fortalecimento de programas nacionais voltados à universalização do acesso e ampliação de fontes alternativas de geração de energia. Assim, para a Conjuntura, é possível apontar que a criação de valores que possam contribuir para a escalabilidade do BESS no Brasil ainda está sendo construídas, e é perceptível o pouco direcionamento governamental para atender requisitos de criação de valor tecnológico e redução de impactos negativos ao meio ambiente sem a dependência de diretrizes de mercado.

Para o nível de Regime, a análise da matriz energética brasileira aponta que 83% das fontes são renováveis, com destaque ainda para as fontes hídricas, com 59% de capacidade de geração [ANEEL,]. A utilização de fontes hídricas data do início da formação do setor elétrico brasileiro, e todo o sistema foi construído voltado a atender os ciclos naturais de enchimento

e esvaziamento dos reservatórios e interligar as regiões. Para atender o fornecimento em caso de problemas com o fornecimento hídrico, o país confia em fontes não renováveis e centrais térmicas.

As mudanças do ciclo de chuvas e o atendimento à demanda impõe restrições às expectativas de crescimento de um modelo baseado em fontes hídricas; essas restrições são reforçadas por impactos ambientais causados por empreendimento desse tipo. Esses fatores estimulam a diversificação da matriz energética e, conseqüentemente, o crescimento de Geradores Distribuídos. Os dados reforçam o crescimento de Geradores Distribuídos no país e o aumento de geração por fontes do tipo solar e eólica, reforçando o cenário de crescimento de fontes de geração de energia com menor impacto ambiental e a necessidade de tecnologias que viabilizem esse crescimento.

A determinação de resoluções normativas por parte da agência reguladora e a aprovação do Marco Regulatório, ainda em 2022, voltados à Geradores Distribuídos no país, e a chamada pública para projetos de Pesquisa & Desenvolvimento focados em mobilidade são estratégias vinculadas ao governo de aumento no interesse em fontes renováveis de geração e assegurar a robustez do sistema.

Ainda de forma a flexibilizar a demanda, esquemas do tipo ToU favorecem consumidores com maior consumo e demanda por energia elétrica, estruturando tarifas horárias e por sazonalidade; esse esquema tarifário foi aperfeiçoado com a determinação da tarifa branca. Esse tipo de esquema tarifário é comum para aqueles do tipo serviço e industrial, que respondem aos incentivos com gestão da demanda e emprego de fontes alternativas de geração de energia, especialmente durante o horário de tarifa mais cara.

A existência dos esquemas tarifários citados e a expectativa de crescimento de Geradores Distribuídos alteram o comportamento dos atores no setor e incitam o emprego de tecnologias que viabilizem a transição energética e a diversificação da matriz energética. Esse comportamento é reforçado pelo fluxo bidirecional de energia, que demandam tecnologias e parametrizações técnicas para reduzir impactos negativos à prestação de serviço, e novos fluxos de informação, estimulando a participação mais ativa dos consumidores e enfatizando a democratização no acesso às informações relevantes ao acesso à infraestrutura. Esse cenário é reforçado para a implantação de BESS e suas especificidades.

A escalabilidade do BESS depende de mudanças em práticas do setor, uma vez que a sua implantação e a possível definição como um ativo novo na rede mudam as configurações do setor, e de tecnologias, medição, operação e controle. Há iniciativas locais para determinação de regras e práticas voltadas à viabilidade do BESS no Brasil, todas em desenvolvimento e contri-

buindo para a determinação de regras técnicas voltadas para o país. A participação de membros advindos de empresas do setor reforça o caráter econômico e as expectativas de ganhos para essas atividades, com o foco de atendimento às demandas de mercado.

Até o momento de conclusão, ainda há incertezas quanto aos direcionamentos regulatórios específicos para o BESS e novos investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que viabilizam a disseminação de conhecimento e melhorias de sistemas e desenho para a viabilidade do sistema no setor elétrico nacional. A viabilidade econômica e o acesso à infraestrutura ainda são um entrave para consumidores brasileiros, e a ausência de programas de incentivo e estudos de acessibilidade inibem a participação desse grupo.

Para o nível de nicho, iniciativas voltadas à disseminação da tecnologia são responsáveis por aumentar a quantidade de Geradores Distribuídos, assegurar o acesso desses geradores à infraestrutura e rede, e acesso às informações relevantes. Assim, as resoluções normativas relacionadas aos direitos e deveres desses consumidores, e regras e padronizações voltadas ao acesso e manutenção da qualidade do serviço são vitais para a esses consumidores. As resoluções, citadas no capítulo 4, determinam políticas voltadas à micro e minigeradores distribuídos, e estabelecem as regras e limites operacionais para esses geradores.

Essas iniciativas, vigentes desde o começo dos anos 2000, são eficientes em viabilizar empreendimentos em consumidores com potência instalada de até 5MW. A descrição das normas inclui o BESS como uma possível fontes despacháveis, sem determinar regras e parâmetros para esse sistema. A implantação de BESS para consumidores ainda depende de maior quantidade de infraestrutura voltada para a obtenção e análise de dados em projetos de Pesquisa & Desenvolvimento, como a detalhada no capítulo 7. A implantação de BESS em consumidores reais no Brasil é incentivada por programas de apoio à projetos, alguns em resposta à chamada da ANEEL em 2017, e, em grande parte são parcerias entre empresas do setor e consumidores, de diferentes demandas e perfis de consumo.

A definição de uma solução baseada em BESS explicita as deficiências e pontos de atenção para o setor, especialmente em referência à viabilidade e acesso à infraestrutura. A instalação do BESS em consumidores reais confirma o fornecimento dos serviços baseados em energia elétrica e que viabilizariam a substituição do Gerador Diesel como solução, e aponta quais os parâmetros técnicos e de custos que ainda dificultam a escalabilidade do BESS para os consumidores. Ainda há melhorias significativas para viabilizar o sistema, com destaque para o equilíbrio entre os custos de manutenção e operação e o investimento inicial: ainda que os dados obtidos reforcem o alto custo para a aquisição desse sistema, a alta de preços e custos nos serviços também inviabilizaria o acesso.

Esse ponto reforça a necessidade de programas voltados à disseminação de tecnologias e escalabilidade de fontes alternativas de geração de energia, com menor impacto ambiental e maior aceitação social. A análise dos dados do sistema pós-implantação também aponta que alguns serviços, secundários, não são viáveis de ser fornecidos pelo sistema, dadas limitações de instalação e sistema, o que reduz as vantagens admitidas para o BESS dentro do escopo inicialmente delimitado.

7.4 Considerações sobre o capítulo

Acordos internacionais para mitigação dos efeitos climáticos e a descarbonização do setor elétrico são demandas correntes para o setor elétrico. A transição energética, na etapa voltada à diversificação da matriz elétrica, depende de emprego e desenvolvimento de tecnologias que viabilizem esse cenário; a presunção de uma tecnologia com aceitação social e que viabilize serviços modernos baseados em energia elétrica estimula mudanças culturais profundas a ponto de ampliar a receptividade e motivar mudanças nos regimes como os conhecemos. Essa mudança, assim, reforçará mudanças em diversos níveis que viabilizarão o BESS.

O estímulo à inovação, dessa forma, depende não somente de investimentos, mas de mudanças em diversos níveis relacionados ao setor elétrico, como o governamental, regulação, desenvolvedores da tecnologia e Geradores Distribuídos, incentivando ampliar o acesso ao sistema. No caso do BESS e seu estágio de implantação no Brasil, a análise nos nichos multiníveis permite enfatizar etapas de mudanças e seus estímulos, apontando não a etapa de inovação, mas quais as mudanças em curso para que o sistema possa ser implementado em maior escala no país. Assim, diferentes atores, especialmente aqueles vinculados às empresas do setor e com capacidade de agência, estão agindo em diversos níveis para determinar metas de implantação e mudanças regulatórias.

As mudanças são ainda mais visíveis para os níveis de nicho e regime, uma vez que o processo de aprendizado para a tecnologia, em curso, poderá auxiliar nas mudanças de configuração e padronização requisitadas para o BESS. Esse processo começa a apontar os caminhos para a transição, indicando quais os parâmetros que causarão essa mudança. Para essa etapa da transição, quais aspectos operacionais do BESS implicarão em mudanças significativas sob aspectos sociais para motivar as mudanças culturais supostas para essa tecnologia: o fornecimento de serviços baseados em energia elétrica que permitam empregar a variação da geração de energia elétrica e sua consequente oscilação no tempo são as mudanças tidas como aquelas que motivarão as mudanças culturais.

A avaliação da eficiência do fornecimento desses serviços pode assim confirmar a efetividade como inicialmente delimitada. Como a tese destaca ferramentas e pontos de análise voltados a viabilizar a implantação e operação de um BESS para um consumidor localizado no Brasil, o Estudo de Caso da instalação de um BESS em um consumidor real, com características de demanda conforme especificado apontam pontos de sucesso e pontos passíveis de futuras análises. Avalia-se questões de implantação para um posto de serviços localizado e, posteriormente, a eficiência dos serviços inicialmente propostos com foco na continuidade do negócio.

A primeira etapa foi a análise da demanda do local: como o intervalo entre a definição de requisitos técnicos e a implantação foi superior a um ano, foi necessário o estudo da demanda para os dois períodos; a pandemia de COVID 19 e possíveis mudanças na demanda também causaram a avaliação da demanda para a análise da eficiência dos serviços. Após essa etapa, o desempenho individual dos principais componentes foi feito com posterior determinação da eficiência operativa para os modos de operação.

A análise dos dados medidos apontou que a eficiência de atendimento às cargas do local é constante para um período de 24 horas, no entanto, à medida que a demanda aumenta, a eficiência aumenta também dado o caráter resistivo das cargas. A eficiência para baixos níveis de demanda (40 kW) é aproximadamente de 92%, com valores aproximados de 94% para demandas de aproximadamente 70 kW. A partir dos dados obtidos, para maximizar o desempenho do BESS deve-se manter a potência de recarga entre 86 kW e 54 kW.

Para os modos de operação, os serviços estabelecidos como obrigatórios, isto é, deslocamento do horário de consumo e backup atendem satisfatoriamente aos requisitos. Os demais serviços determinados não são atendidos, e impõem restrições na operação. O modo deslocamento do horário de consumo tem desempenho de 78%, inferior à eficiência do BESS individualmente; a diferença no desempenho ocorre devido ao elevado fluxo reverso registrado durante o horário de ponta, que representa 6% da capacidade útil do BESS. Para situações em que a recarga do BESS está programada para iniciar após às 22 horas, há um aumento de aproximadamente 65% na demanda do local. Este valor representa 75% da demanda contratada (160 kW) e mostra que uma taxa de recarga superior maximiza a eficiência do BESS sem implicar em riscos.

O modo de backup não é relevante do ponto de vista de desempenho energético de longo prazo pois a duração e o número de interrupções registradas na rede elétrica que atende o local são baixo. Para o período de análise, também houve poucas interrupções, o que não permite obter dados para avaliar o desempenho energético; ainda em relação a esse modo de opera-

ção, pode-se concluir que a sua eficiência é superior à observada no modo de deslocamento de energia, pois neste caso não existe fluxo reverso de potência.

8 CONCLUSÃO

A análise de parâmetros e requisitos que viabilizam o BESS no setor elétrico brasileiro é um trabalho extenso: a análise sob diversas perspectivas focou no novo posicionamento do sistema para estabelecer um setor mais inclusivo e que viabiliza o acesso ao BESS de consumidores brasileiros. Essa tese enfatiza os vieses sociotécnico e de negócios para direcionadores para um planejamento estratégico dessas tecnologias para o cenário energético nacional.

Esse capítulo conclui essa etapa de descrição e análise de parâmetros e barreiras que viabilizam esse sistema para grupos de consumidores, voltado a assegurar a continuidade de negócios por meio de serviços baseados em energia elétrica com menor impacto ambiental, participação ativa, e redução de custos. A conclusão para essa etapa também se refere aos aspectos sociotécnicos.

Esse capítulo tem como objetivos:

- apresentar as conclusões para a etapa da pesquisa;
- apresentar as contribuições dessa pesquisa, destacando publicações, participação em projeto de Pesquisa & Desenvolvimento, e auxílio na disseminação de informações;
- apontar passos para pesquisas futuras.

8.1 Conclusão

Dada a expectativa com o BESS, sob a perspectiva da transição energética, uma análise técnica não contemplaria todos os aspectos necessários para lidar com essa tecnologia. O seu caráter ainda incipiente no país, a necessidade de fornecimento de novos serviços baseados em energia elétrica, e a expectativa da ampliação de Geradores Distribuídos implica em riscos, mas também que uma análise apenas focada em aspectos técnicos poderia ser superficial e não lida com as especificidades do sistema. Dessa forma, essa tese lida com a hipótese de que o BESS é uma ferramenta de caráter sociotécnica.

A maturidade tecnológica do BESS indica que ela será aquela que poderá viabilizar a transição e contribuir significativamente para a descarbonização do setor elétrico. Assim, se há o equilíbrio entre os potenciais benefícios da tecnologia e o acesso a ela, resultado da maturidade tecnológica apontada, esse cenário indica que o BESS no setor elétrico é uma realidade, e em estágio de aumento de capacidade instalada e escalabilidade. No entanto, o estudo da bibliografia sobre a tecnologia e a análise de características de cenários de transição e anseio de mudança, é possível determinar que a viabilidade e o acesso ao BESS ainda precisam de ferramentas e delimitação de barreiras e oportunidades para mitigar os riscos e assegurar a escalabilidade do sistema. Dado o aspecto sociotécnico, a delimitação também deve incluir análises que impliquem na aceitação social da tecnologia.

O principal objetivo é determinar a viabilidade do BESS sob vieses sociotécnico e de mercado como a principal fonte de geração de energia para períodos de energia mais custosa ou em caso de problemas no fornecimento de energia. A análise da curva para a região de Jundiá, atendida pela empresa de distribuição CPFL, indicou afundamento na curva para o período de ponta, aquele em quem a energia é mais cara para um grupo específico de consumidores, e indicou qual grupo de consumidores utiliza mais o Gerador Diesel como fonte alternativa de energia para o período. A análise desses dados apontou que, assim, há um grupo de consumidores-alvo para o BESS.

A análise inicial estabeleceu que o grupo com possibilidade de ser atendido teria caráter de pequena empresa, do tipo prestadora de serviços ou pequena indústria. A análise posterior de dados de geração de empregos, renda e continuidade de negócios auxiliou na definição de que a redução de custos relacionados ao funcionamento do local, como é o caso dos custos de energia elétrica, poderia fortalecer esses empreendimentos. Essa análise reforça o caráter sociotécnico do BESS, também apontando que a expectativa do seu emprego para reduzir custos de fornecimento de serviços baseados em energia elétrica, para um público específico e que emprega fontes alternativas de geração de energia, poderia ser um recurso para viabilizar o BESS no país.

A primeira etapa para a viabilidade foi a determinação de barreiras e pontos fortes da tecnologia, no desenvolvimento de uma ferramenta de apoio gerencial, análise da viabilidade econômica, baseada em diferentes cenários e diferentes fontes de fornecimento de serviços baseados em energia elétrica, e o estudo da confiabilidade para uma microrrede com BESS. Essa etapa contribuiu com a compreensão e definição de tarefas necessárias para a conclusão da implantação, satisfazendo a expectativa de continuidade de negócios. A ferramenta proposta para o apoio gerencial não é definitiva em si; a instalação do BESS em um consumidor real aponta que diferentes pontos de modelagem e execução ser analisados. Esses ajustes na ferramenta não

indicam problemas na construção da ferramenta, e, ao contrário, apontam a capacidade dela de se ajustar conforme o aprendizado ocorre nas etapas previstas.

Como barreiras e adversidades relativas, muito se comentou sobre a estrutura tarifária brasileira e regulação: sob esse viés, o Brasil apresenta parâmetros para a conexão de mini e microgeradores distribuídos, apontando quais os limites para cada categoria e condições para conexão na rede, e indicando como a compensação financeira para esses geradores ocorre. A aprovação do marco regulatório para mini e microgeradores, ainda em 2022, indica que as discussões sobre o assunto caminham no país, mesmo que em passos mais lentos que o necessário para a transição energética necessária para a mitigação dos efeitos climáticos.

Ainda que a compensação financeira não se aplique às conexão como mini e microgerador distribuído do ponto de vista de um investimento, também não inibe por si a participação de novos consumidores/geradores. Como visto no estudo de viabilidade técnico-econômica, o alto custo inicial do BESS, referente à aquisição e operação, é um parâmetro que inibe as expectativas de redução de custos, visto o seu equilíbrio apontado nos cenários em que esse sistema era empregado como o substituto do Gerador Diesel no horário de ponta. Para esses cenários, o retorno financeiro não viabiliza o BESS, caso o investimento seja uma diretriz para esse operador. A tarifa, dessa forma, e a criação de programas e apoio para a escalabilidade do BESS são necessárias, e devem ser direcionadas por uma agenda governamental voltada à diversificação da matriz energética e ampliar acesso às tecnologias e serviços modernos baseados em energia elétrica. A financeirização do setor elétrico brasileiro e a busca por lucratividade é uma barreira nessa etapa, uma vez que os ativos elétricos são vistos como investimentos, e não como viabilizadores de uma transição energética.

Os cenários em que os impostos são excluídos para a aquisição dos BESS mostram a efetividade da cessão de subsídios e uma agenda governamental, que poderia viabilizar a implantação e apoiar a compra desses sistemas; como suporte, o favorecimento e crescimento de setores da indústria nacional para a construção desses sistemas também é um cenário de redução de custos para a aquisição, ao mesmo tempo em que há a melhoria de diversos índices de desenvolvimento social e econômico para o país.

Esses fatores indicam que há potencial para a escalabilidade do BESS, mas falta uma agenda de apoio e financiamento para isso. A matriz energética brasileira, é considerada como limpa por diversos agentes, mas o interesse na conservação do meio ambiente favorece o potencial do país para se destacar quanto aos programas de redução de impactos e de mudanças climáticas.

A regulação e a criação de ferramentas de apoio para a defesa de interesses públicos devem viabilizar o BESS por meio da delimitação de regras de operação da infraestrutura, de responsa-

bilidade de seu proprietário; ainda para essas ferramentas, há a necessidade de padronização de definição de regras relacionadas ao acesso à rede. Para que o fornecimento de serviços baseados nesses sistemas seja viabilizado, um protocolo de comunicação entre distribuidora e proprietários deve ser estabelecido, bem como a diferenciação de serviços. Essas discussões devem estar alinhadas àquelas de compensação financeira dos proprietários, pois não há remuneração sem a descrição e criação de serviços que possam ser contabilizados.

Para a distribuidora, o seu papel como provedora é alterado na nova configuração da rede, impulsionado pela implantação de novos equipamentos e disponibilização de serviços, o que implica na criação de novos modelos de negócios para essas empresas. Os estudos sobre o mercado mostram que a evolução do próprio setor é lenta, mas que novas tecnologias implicam em mudanças na condução de serviços e papéis dentro do setor elétrico. Há a oportunidade para a formação de novos relacionamentos com fornecedores, montagem de equipe especializada, e inovação no próprio modelo de negócios da empresa. A própria análise inicial para a determinação do consumidor-alvo indica a possibilidade de escalabilidade e aceitação da tecnologia, como já ocorre em outros países, com destaque para a criação de grupos de consumidores e comunidades energéticas. A criação de grupos e o potencial de participação dos consumidores indica a determinação de novos papéis, e dada a expertise de distribuidores, a possibilidade de atuar frente aos demais atores.

Quanto à condução dos negócios da distribuidora as mudanças operativas indicam que há potencial para o fornecimento de serviços baseados em energia elétrica por consumidores, e que esses podem ser aperfeiçoados dentro do modelo de negócios, reforçando métricas relativas à qualidade de energia. A otimização ajuda na redução de custos para os operadores e mitigação de riscos financeiros e de confiabilidade e segurança no uso dos sistemas. O estudo de confiabilidade contribuiu para a análise de riscos, apontando a sobreposição dos índices de confiabilidade para cada equipamento, o que, por sua vez, permitiu determinar a quantidade de horas de operação da microrrede sem manutenção corretiva. O uso paralelo do gerador Diesel e do BESS mostrou ser o sistema mais adequado, reduzindo o desgaste em ambos os equipamentos e ampliando, por consequência, a vida útil de ambos.

A topologia e a confiabilidade são fatores que podem acrescentar valor, uma vez que o foco é ampliar o valor agregado e promover a viabilidade. Esses dados contribuem para a determinação de melhores práticas de operação, reforçando o valor da solução proposta. A análise dos dados de eficiência operativa constata que a solução está apta a fornecer serviços de *time-shifting* e backup de modo satisfatório, atendendo as necessidades do consumidor e às suas expectativas.

A comprovação do bom funcionamento dos produtos primários indica um encaminhamento para a definição de um canal de fornecimento desse tipo de serviço, reforçado pela redução na emissão de carbono, almejado pelo setor elétrico. No entanto, é preciso atentar para os altos custos de operação e de aquisição de equipamentos desse porte, pois ainda o tornam inviável para a realidade da maioria dos consumidores nacionais.

Por fim, a implantação em um consumidor real permite apontar estratégias de mercado futuro próximo, em que lacunas relacionadas aos fornecedores e o mercado correspondente certamente serão preenchidas. A instalação em um consumidor real é um valioso laboratório para estudos da operação do BESS, auxiliando em próximos passos para pesquisas como a presente com o foco em sanar dúvidas relativas a questões operacionais, manutenção e futuro descarte.

8.2 Contribuições

Essa tese tem como principal contribuição viabilizar o BESS para consumidores situados no Brasil sob vieses sociotécnico e de mercado. Para auxiliar na viabilização do objetivo principal, essa tese tem como contribuições:

- identificar possível nicho de consumidores com perfil para aceite a curto-médio prazo para soluções baseadas em BESS.
- Divulgação de ferramenta de gerenciamento, com facilidade visual, que contribuem para o planejamento estratégico do sistema no Brasil.
- Estudo de viabilidade econômica e confiabilidade para o BESS implantadas no Brasil.
- Análise abrangente da regulação dos Estados Unidos e brasileira, com a apresentação de barreiras e parâmetros passíveis de inclusão em regulações futuras.
- Desenvolvimento de metodologia para análise de *Benchmarking* para viabilidade de BESS.
- Análise de *Benchmarking* e construção de plano de ação para construção de um modelo de negócios focado na viabilidade e continuidade de negócios.
- Apresentação de aspectos sociotécnicos relativos à aceitação de consumidores como Geradores Distribuídos.
- Estudo de eficiência do BESS solução para consumidor real.

- Análise da eficiência do fornecimento de serviços para consumidor do tipo prestador de serviço.

Durante o período de realização dessa pesquisa, destacam-se como trabalhos publicados:

- Participação no evento 2020 IEEE PES Transmission Distribution Conference and Exhibition - Latin America (TD LA), realizado entre os dias 28 de setembro a 2 de outubro de 2020, com a publicação "Modern Energy Consumers Representation Perspectives in the Energy Sector".
- Participação no evento *First World Energies Forum*, realizado entre 14 de setembro e 5 de outubro de 2020 com o trabalho "Energy Storage Systems Issues Looking for Integrated Distributed Energy-Resource Planning".
- Participação no evento *4th International Conference on Clean Energy and Electrical Systems (CEES 2022)*, realizado entre 2 e 4 de abril, com a apresentação do trabalho "Energy storage for subjective dimension and engagement in a demand-side environment".
- Publicação no do artigo "Energy Storage System Design in the Light of Multisource Solution from a Viability Analysis" na revista *Designs*.

Ainda para esse período, há a participação como professora auxiliar nas disciplinas do grupo, com a publicação de trabalhos como coautora. A apresentação de trabalhos publicáveis era parte do processo de avaliação da disciplina. Como publicações em coautoria, destacam-se:

- XXVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE), realizado entre 15 e 18 de maio de 2022, com a publicação de três trabalhos.
- aceite na publicação *Energy*, em 2022, com o artigo "Estimating the adequacy revenue considering long-term reliability in a renewable power system".
- 2021 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), realizado entre 6 a 9 de dezembro, com a publicação "The energy transition, effects with the implementation of electrical substation 4.0, its technologies and sustainability in Brazil".

8.3 Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro, a análise dos impactos da implantação do BESS sob diferentes aspectos é referenciada. Dada a quantidade de atores que são impactados com o BESS, a avaliação

de consequências quanto à qualidade do serviço fornecimento. Essa tese não teve o foco de analisar qual o efeito da implantação do sistema na rede principal, incluindo a manutenção de índices relacionados à Qualidade de Energia e continuidade no fornecimento para a empresa distribuidora.

Ainda quanto à manutenção de qualidade de serviços, não é desenvolvida, por ora, a análise da satisfação dos consumidores, e não avalia os efeitos pós-implantação para os custos e satisfação com os serviços operados pelo BESS no local. Essa avaliação também deve avaliar questões quanto ao impacto na infraestrutura do local, incluindo uso do Gerador Diesel e impactos no fornecimento da rede principal. Essa análise também deve considerar aspectos sociais e ambientais, relacionados no capítulo 6.

A escolha do MLP como ferramenta para a análise do BESS no Brasil também precisa ser melhor desenvolvida, apresentada na seção 7.3 do Capítulo 7. O desenvolvimento dessa análise demanda tempo de implantação e escalabilidade para que possa descrever todos os níveis e seus efeitos no cenário de transição. A descrição dos níveis ainda está de forma inicial, e aponta os passos iniciais e as capacidades de agência dos atores mapeados, para esse estágio. A avaliação com maior prazo e escala da tecnologia permitirá mapear quais as evoluções e a distribuição de poder dos nichos, permitindo a análise de pontos e barreiras para ampliar a Geração Distribuída no país.

A descrição dos Modelos de Negócios, *Benchmarking* e regulação também ainda está em caráter exploratório e inicial, dado o estágio de implantação do BESS. Naturalmente, esses três pontos irão evoluir, conforme a tecnologia ganha destaque e amplia o seu acesso; as análises para esses pontos contribui para o MLP e o processo de aprendizado do *Roadmap*.

Por fim, questões quanto o descarte da tecnologia e acesso também são levantadas, apontadas por autores como questões pendentes, e pouco desenvolvidas. A análise dos impactos ambientais impacta na formação dos fornecedores, mão de obra, e deve ser determinada com base em agenda governamental e pressão social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB 6571. Establishes the energy storage deployment program. Acessado: 06 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.nysenate.gov/legislation/bills/2017/a6571/amendment/original>>. Acesso em: 09 mar. 2017.
- AGENCY, I. E. *World Energy Balances*. 2018. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/balances/>>.
- AGENCY, I. I. R. E. *A Roadmap to 2050 (2019 Edition)*. [S.l.], 2014. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf>.
- AGENCY, I. I. R. E. *Renewable Power Generation Costs in 2017*. [S.l.], 2018.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Matriz Elétrica Brasileira*. Disponível em: <encurtador.com.br/celP4>.
- ANUTA, O. H. et al. An international review of the implications of regulatory and electricity market structures on the emergence of grid scale electricity storage. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 38, p. 489–508, 2014.
- Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 - ano base 2019 YEAR = 2020, u. . e. u. . . Empresa de Pesquisa Energética title .
- ASSEMBLY Bill 2514. Energy storage systems. Acessado: 06 ago. 2018. Disponível em: <https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=200920100AB2514>. Acesso em: 29 sep. 2010.
- ASSOCIATION, E. S. *35X25: A Vision for Energy Storage*. Acessado: 08 ago. 2018. Disponível em: <<http://energystorage.org/vision2025>>. Acesso em: Nov. 2017.
- BANK, W. *Economic Analysis of Energy Storage Systems*. [S.l.].
- BANK, W. *Sustainable Development Goals 2017*. [S.l.], 2017.
- BARROS, M. A. T. M. *Emissões atmosféricas de grupos motogeradores na Região Metropolitana de São Paulo*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2007.
- BAUMGARTE, F.; GLENK, G.; RIEGER, A. Business models and profitability of energy storage. *Isience*, Elsevier, v. 23, n. 10, p. 101554, 2020.
- BEARD, K. W. *Linden's handbook of batteries*. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2019.
- BELL, K.; GILL, S. Delivering a highly distributed electricity system: Technical, regulatory and policy challenges. *Energy policy*, Elsevier, v. 113, p. 765–777, 2018.
- BELTRAME, B.; NETO, J. O. d. N. O papel da aneel na regulação do setor elétrico brasileiro. *Cadernos da Escola de Direito*, v. 27, n. 1, p. 1–19, 2018.

BILL 943, Relating to the classification, use, and regulation of electric energy storage equipment or facilities. Acessado: 06 ago. 2018. Disponível em: <<https://capitol.texas.gov/billlookup/History.aspx?LegSess=82R&Bill=SB943>>. Acesso em: 09 sep. 2011.

BLAZQUEZ, J.; FUENTES-BRACAMONTES, R.; MANZANO, B. *A road map to navigate the energy transition*. [S.l.].

BLOOMBERGNEF. *Batteries boom enables world to get half of electricity from wind and solar by 2050*. 2018. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/batteries-boom-enables-world-get-half-electricity-wind-solar-2050/>>.

BRASIL. *Lei 13.848 de 25 de junho de 2019. Dispõe sobre a gestão, organização, o processo decisório e o controle social das agências reguladoras*. Acessado: 31 out. 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/L13848.htm>. Acesso em: 31 out. 2019.

BROTO, V. C. et al. Energy justice and sustainability transitions in mozambique. *Applied Energy*, Elsevier, v. 228, p. 645–655, 2018.

CANTARERO, M. M. V. Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. *Energy Research & Social Science*, Elsevier, v. 70, p. 101716, 2020.

CARNEGIE, M. et al. In pursuit of energy justice. *Energy Policy*, Elsevier Ltd, 2017.

CHAIR, R. L. *Energy Consumer Action Plan: Putting Consumers at the heart of Scotland's Energy Transition*. [S.l.], 2019.

CHAUHAN, A.; SAINI, R. A review on integrated renewable energy system based power generation for stand-alone applications: configurations, storage options, sizing methodologies and control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 38, p. 99–120, 2014.

COMMISSION, I. E. *Electrical Energy Storage*. [S.l.].

CONSUMERS ENERGY. *Consumers Energy*. Disponível em: <<https://www.consumersenergy.com/>>. Acesso em: 31 out. 2019.

CONSUMERS FOR SENSIBLE ENERGY. *Consumers for Sensible Energy*. Disponível em: <<https://www.consumersforsensibleenergy.org/>>. Acesso em: 31 out. 2019.

CUOMO ANDREW; ROSSELLÓ, R. L. W. *Build Back Better: Reimagining and Strengthening the Power Grid of Puerto Rico*. [S.l.], 2017. Disponível em: <https://www.governor.ny.gov/sites/governor.ny.gov/files/atoms/files/PRERWG_Report_PR_Grid_Resiliency_Report.pdf>.

DAHL, R. Poliarquia (edição atualizada). *São Paulo: Edusp*, 2005.

DĂNILĂ, E.; LUCACHE, D. D. History of the first energy storage systems. In: *Paper delivered at the 3rd International Symposium on the History of Electrical Engineering and of Tertiary-Level Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 27–29.

DANTAS, G. et al. Development of smart grids in brazil: a multi-level perspective analysis.

- DAS, C. K. et al. Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 91, p. 1205–1230, 2018.
- DEBEIR, J.-C.; DELÉAGE, J.-P.; HÉMERY, D. Uma história da energia. *UnB, Brasília*, 1993.
- DELLAVALLE, N.; SAREEN, S. Nudging and boosting for equity? towards a behavioural economics of energy justice. *Energy Research & Social Science*, Elsevier, v. 68, p. 101589, 2020.
- DEMOGRAFIA das Empresas. 2015.
- DICKENS, C. *Um conto de duas cidades*. Nova Fronteira, 2022. ISBN 9786556404684. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=QIVIEAAAQBAJ>>.
- DOWNS, A. Uma teoria econômica da democracia. 1 reimpr. *São Paulo: Editora da Universidade Federal de São Paulo*, 2013.
- EARTH, F. of the. *Unleashing the Power of Community Renewable Energy*. [S.l.], 2018.
- ECAMION. *Website*. Acessado: 01 ago. 2022. Disponível em: <<https://www.ecamion.com/>>. Acesso em: 01 ago. 2022.
- ELECTRIC Storage Participation in Markets Operated by Regional Transmission Organizations and Independent System Operators. Acessado: 06 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.ferc.gov/whats-new/comm-meet/2018/021518/E-1.pdf>>. Acesso em: 15 feb. 2018.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição. Revisão 7. Brasília, 07 jul. 2016*. Acessado: 19 jul. 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_1.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. Revisão 7. Brasília, 01 jun. 2017*. Acessado: 19 jul. 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_2.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição. Revisão 1. Brasília, 01 jan. 2010*. Acessado: 19 jul. 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_3.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Módulo 5 – Sistemas de Medição. Revisão 5. Brasília, 15 mar. 2017*. Acessado: 19 jul. 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_4.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações. Revisão 13. Brasília, 01 jan. 2018*. Acessado: 19 jul. 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_5.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Resolução Normativa Nº 451, de 27 de setembro 2011. Estabelece as condições gerais para a criação, organização e funcionamento dos Conselhos de Consumidores de Energia Elétrica, no âmbito das concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, e dá outras providências*. Acessado: 03 nov. 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2011451.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

- ELÉTRICA, A. N. de E. *Resolução Normativa Nº 684, de 24 de novembro 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 24 nov. 2015.* Acessado: 21 nov. 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Reunião Técnica com Presidentes e Conselhos de Consumidores.* Brasília/DF, 14 de março de 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/arquivos-uteis-e-sites-dos-conselhos>>.
- ENERGIESPEICHER. *Projects - Storage.* Acessado: 08 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.energiequelle.de/en/projects/>>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- ENERGY CONSUMERS AUSTRALIA. *Energy Consumers Australia.* Disponível em: <<https://energyconsumersaustralia.com.au/>>. Acesso em: 31 out. 2019.
- ENERGY, D.-G. for. *Clean Energy for All Europeans.* [S.l.], 2019.
- EUROBAT. *Battery Energy Storage in the EU.* [S.l.], 2016.
- FIESC. *Competitividade das Tarifas de Energia Elétrica no Mercado Regulado para Indústria Catarinense.* [S.l.], 2018. Acessado: 07 set. 2022. Disponível em: <<shorturl.at/STU48>>. Acesso em: 07 set. 2022.
- FIGUEIREDO, F. L. et al. Análise do desempenho de um grupo gerador de 50 kva com motor mwm adaptado a ciclo otto, alimentado com gás natural. *Semina. Ciências exatas e tecnológicas*, v. 34, n. 2, p. 145–154, 2013.
- FORCE, R. through microgrids task. *Resiliency through microgrids task force report.* [S.l.], 2014. Disponível em: <https://energy.maryland.gov/Documents/MarylandResiliencyThroughMicrogridsTaskForceReport_000.pdf>.
- FREQUENCY Regulation Compensation in the Organized Wholesale Power Markets. Acessado: 08 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.ferc.gov/whats-new/comm-meet/2011/102011/E-28.pdf>>. Acesso em: 20 oct. 2011.
- FUNG, A. Democratizing the policy process. In: *The Oxford handbook of public policy.* [S.l.: s.n.], 2006.
- FUNG, A. Varieties of participation in complex governance. *Public administration review*, Wiley Online Library, v. 66, p. 66–75, 2006.
- GALLO, A. et al. Energy storage in the energy transition context: A technology review. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 65, p. 800–822, 2016.
- GAS, O. O. of; MARKETS, E. *Clarifying the regulatory framework for electricity storage: licensing.* [S.l.], 2017.
- GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research policy*, Elsevier, v. 31, n. 8-9, p. 1257–1274, 2002.
- GEELS, F. W. *Technological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis.* [S.l.]: Edward Elgar Publishing, 2005.

- GEPEA. *Estudo de Confiabilidade para Sistemas de Armazenamento de Energia*. [S.l.], 2018.
- GEPEA. *Caracterizações Para O Delineamento De Nichos De Mercado Para Soluções De Armazenamento De Energia Elétrica De Média Tensão: Avaliação Comparada Entre Os Top 5 Mercados Mundiais E A Região Geográfica Compreendida Pelo Estado De São Paulo*. [S.l.], 2019.
- GEPEA. *Condições Operativas do Sistema Piloto quanto à degradação e Impactos Ambientais e CVPC*. [S.l.], 2019.
- GEPEA. *Dimensionamento, Especificação e Modelagem da Unidade Piloto*. [S.l.], 2019.
- GEPEA. *Roadmap de Sistemas de Armazenamento de Energia em bateria: Oportunidades para o Desenvolvimento da Tecnologia e de Benchmark com Foco em Ambientes de Clientes do Setor Comercial*. [S.l.], 2019.
- GEPEA. *Análise de Parâmetros para Continuidade e Prospectiva para Arquitetar Aspectos Básicos do Desenho de Negócios Baseado em Sistemas de Armazenamento de Energia*. [S.l.], 2021.
- GEPEA. *RTC 48 - Relatório de Eficiência Operativa Multi-fontes*. [S.l.], 2021.
- GEPEA. *Viabilidade Técnico-Econômica do Sistema Multi-fontes com Armazenamento GRAAL 67 – Viés de Negócios -Aspectos econômicos*. [S.l.], 2021.
- GISSEY, G. C.; DODDS, P. E.; RADCLIFFE, J. Market and regulatory barriers to electrical energy storage innovation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 82, p. 781–790, 2018.
- GONZÁLEZ, D. M. L.; RENDON, J. G. Opportunities and challenges of mainstreaming distributed energy resources towards the transition to more efficient and resilient energy markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 157, p. 112018, 2022.
- GREEN ENERGY CONSUMERS ALLIANCE. *Green Energy Consumers Alliance*. Disponível em: <<https://www.greenenergyconsumers.org/>>. Acesso em: 29 out. 2019.
- GUNEY, M. S.; TEPE, Y. Classification and assessment of energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 75, p. 1187–1197, 2017.
- HAMELINK, M.; OPDENAKKER, R. How business model innovation affects firm performance in the energy storage market. *Renewable energy*, Elsevier, v. 131, p. 120–127, 2019.
- HAMILTON, J. D. *Historical oil shocks*. [S.l.], 2011.
- HAMWI, M.; LIZARRALDE, I. A review of business models towards service-oriented electricity systems. *Procedia CIRP*, Elsevier, v. 64, p. 109–114, 2017.
- HATZIARGYRIOU, N. et al. Microgrids. *IEEE power and energy magazine*, IEEE, v. 5, n. 4, p. 78–94, 2007.
- HEALY, N.; BARRY, J. Politicizing energy justice and energy system transitions: Fossil fuel divestment and a “just transition”. *Energy policy*, Elsevier, v. 108, p. 451–459, 2017.

HESSE, H. C. et al. Lithium-ion battery storage for the grid—a review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids. *Energies*, MDPI, v. 10, n. 12, p. 2107, 2017.

HÖLSGENS, R.; LÜBKE, S.; HASSELKUSS, M. Social innovations in the German energy transition: an attempt to use the heuristics of the multi-level perspective of transitions to analyze the diffusion process of social innovations. *Energy, Sustainability and Society*, BioMed Central, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2018.

HORVÁTH, D.; SZABÓ, R. Z. Evolution of photovoltaic business models: Overcoming the main barriers of distributed energy deployment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 90, p. 623–635, 2018.

HUGHES, T. P. *Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930*. [S.l.]: JHU press, 1993.

HUGHES, T. P.; HUGHES, T. P. *American genesis: a century of invention and technological enthusiasm, 1870-1970*. [S.l.]: University of Chicago Press, 2004.

IBRAHIM, H.; ILINCA, A.; PERRON, J. Energy storage systems—characteristics and comparisons. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 12, n. 5, p. 1221–1250, 2008.

IECPA. *Industrial Energy Consumers of Pennsylvania*. Disponível em: <<https://www.iecpa-energy.org/>>. Acesso em: 29 out. 2019.

INDICADORES IBGE - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Terceiro Trimestre de 2021. 2021. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2421/pnact_2021_3tri.pdf>.

INFOGRAPHIC: Energy security. Acessado: 06 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.ofgem.gov.uk/publications-and-updates/infographic-energy-security>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

JENKINS, K. et al. Energy justice: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, Elsevier, v. 11, p. 174–182, 2016.

JENKINS, K.; SOVACOOOL, B. K.; MCCAULEY, D. Humanizing sociotechnical transitions through energy justice: An ethical framework for global transformative change. *Energy Policy*, Elsevier, v. 117, p. 66–74, 2018.

KIM, J.; SUHARTO, Y.; DAIM, T. U. Evaluation of electrical energy storage (ees) technologies for renewable energy: A case from the US Pacific Northwest. *Journal of Energy Storage*, Elsevier, v. 11, p. 25–54, 2017.

LACEY-BARNACLE, M.; ROBISON, R.; FOULDS, C. Energy justice in the developing world: a review of theoretical frameworks, key research themes and policy implications. *Energy for Sustainable Development*, Elsevier, v. 55, p. 122–138, 2020.

LAHIRI SUDIPTA; BYSTROM, O. F. R. T. N. *Microgrid Assessment and Recommendations to Guide Future Investments*. [S.l.], 2015.

LEI 8.631 de 04 de março de 1993. Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências. Acessado: 01 nov. 2019. Disponível em: <<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/104155/lei-8631-93>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002. Cria o Programa de Incentivo à Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), Brasília, Abr. 2002. Acessado: 24 nov. 2019. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/mme_lei200210438.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2019.

LEI Nº 14.300, DE 6 DE janeiro DE 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências, Brasília, Jan. 2022. Acessado: 24 nov. 2019. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14-300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 16 ago. 2022.

LEVENDA, A. M. et al. Regional sociotechnical imaginaries and the governance of energy innovations. *Futures*, Elsevier, v. 109, p. 181–191, 2019.

LOMBORG, B. *The skeptical environmentalist: measuring the real state of the world*. [S.l.]: Cambridge University Press Cambridge, 2003. v. 1.

MADUREIRA, N. L. Waiting for the energy crisis: Europe and the united states on the eve of the first oil shock. *Historical Social Research/Historische Sozialforschung*, JSTOR, p. 70–93, 2014.

MAH, D. N.-y. et al. Governing the transition of socio-technical systems: A case study of the development of smart grids in korea. *Energy policy*, Elsevier, v. 45, p. 133–141, 2012.

MAIZE, K. *Microgrids: An Old Concept Could Be New Again*. [S.l.], 2017. Acessado: 15 nov. 2019.

MANCUSO, W. P.; GOZETTO, A. C. O. *Lobby e políticas públicas*. [S.l.]: Editora FGV, 2018.

MARCONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. atual. *São Paulo: Atlas*, 2017.

MARNAY, C. et al. Microgrid evolution roadmap. In: IEEE. *2015 international symposium on smart electric distribution systems and technologies (EDST)*. [S.l.], 2015. p. 139–144.

MARTINEZ-ALIER, J.; SCHLÜPMANN, K. *La ecología y la economía*. [S.l.], 1991.

MASIELLO, R. D.; ROBERTS, B.; SLOAN, T. Business models for deploying and operating energy storage and risk mitigation aspects. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 102, n. 7, p. 1052–1064, 2014.

MAYER, V. F.; MARIANO, S. R. H.; ANDRADE, C. L. T. de. *Percepção de Preço, Valor e Comportamento do Cliente no Setor de Energia Elétrica*. 2013.

MERCHANT, E. F. *Puerto Rico Energy Commission Lays Out Rules for a Future Microgrid Landscape*. Disponível em: <<https://www.greentechmedia.com/articles/read/puerto-rico-energy-commission-island-microgrid#gs.Awlo0z0>>.

MICROGRIDS: A regulatory perspective. Disponível em: <<https://www.cpuc.ca.gov/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=5118>>.

MIDWEST ENERGY CONSUMERS GROUP. *Midwest Energy Consumers Group - Home*. Disponível em: <<https://midwestecg.com/>>. Acesso em: 29 out. 2019.

MOSER, R. et al. Solar prosumers in the german energy transition: A multi-level perspective analysis of the german ‘mieterstrom’ model. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 4, p. 1188, 2021.

MUTUAL ENERGY. *Mutual Energy*. Disponível em: <<http://www.mutual-energy.com/>>. Acesso em: 29 out. 2019.

NATIONS, U. *Paris Agreement*. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>.

Nota Técnica DEA 01/15 Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta YEAR = 2015, u. . e. u. . . Empresa de Pesquisa Energética title .

NOTA Técnica nº 0033/2022-SRD/ANEEL. Assunto: Análise das contribuições recebidas na tomada de Subsídios no 11/2021 sobre propostas de modelos regulatórios para a inserção de recursos energéticos distribuídos, incluindo resposta da demanda, usinas virtuais e microrredes. Accessed: 19 jul. 2022. Disponível em: <encurtador.com.br/axNZ1>. Acesso em: 19 jul. 2022.

OLIVEIRA, R. R. d. Dos conceitos de regulação às suas possibilidades. *Saúde e Sociedade*, SciELO Public Health, v. 23, p. 1198–1208, 2014.

OLSON, M.; FERNANDEZ, F. *A lógica da ação coletiva: os benefícios públicos e uma teoria dos grupos sociais*. [S.l.]: Edusp, 1999.

ONU. *Sustainable Urban Energy Planning*. [S.l.], 2009.

OSUNMUYIWA, O.; BIERMANN, F.; KALFAGIANNI, A. Applying the multi-level perspective on socio-technical transitions to rentier states: The case of renewable energy transitions in nigeria. *Journal of Environmental Policy & Planning*, Taylor & Francis, v. 20, n. 2, p. 143–156, 2018.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J.; PROBERT, D. R. Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution. *Technological forecasting and social change*, Elsevier, v. 71, n. 1-2, p. 5–26, 2004.

PREVENTING Undue Discrimination and Preference in Transmission Service. Acessado: 08 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.ferc.gov/whats-new/comm-meet/2007/021507/E-1.pdf>>. Acesso em: 16 feb. 2007.

RESOLUÇÃO Normativa n 610, Regulamenta as modalidades de prépagamento e pós-pagamento eletrônico de energia elétrica. Brasília, 01 abr. 2014. Accessed: 19 jul. 2022. Disponível em: <encurtador.com.br/awAFP>. Acesso em: 19 jul. 2022.

RESOLUÇÃO Normativa Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 9 set. 2010. Acessado: 16 jul. 2018. Disponível em: <<http://aneel.gov.br/documents/656877/>>

14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>. Acesso em: 16 jul. 2018.

RIBEIRO, V. R.; CRUZ, A. Ferreira dos S. Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de grupo gerador. *Seminário Estudantil de Produção Acadêmica*, v. 16, 2018.

ROBERTS, J.; FRIEDEN, D.; D'HERBERMONT, S. *Energy Communities Definition*. [S.l.], 2019.

SANTOS, M. L. et al. *Lobbying no Brasil: Profissionalização, estratégias e influência*. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/177550>>.

SAREEN, S.; HAARSTAD, H. Bridging socio-technical and justice aspects of sustainable energy transitions. *Applied energy*, Elsevier, v. 228, p. 624–632, 2018.

SARKODIE, S. A.; ADAMS, S. Renewable energy, nuclear energy, and environmental pollution: accounting for political institutional quality in south africa. *Science of the total environment*, Elsevier, v. 643, p. 1590–1601, 2018.

SCHALLENBERG, R. H. Bottled energy. electrical engineering and the evolution of chemical energy storage. Disponível em: <<https://www.osti.gov/biblio/6067563>>.

SCHIFFER, M. B. *Taking Charge. The Electrical Automobile in America*. [S.l.: s.n.], 1994.

SCHOOR, T. V. D. et al. Challenging obduracy: How local communities transform the energy system. *Energy Research & Social Science*, Elsevier, v. 13, p. 94–105, 2016.

SHAQSI, A. Z. A.; SOPIAN, K.; AL-HINAI, A. Review of energy storage services, applications, limitations, and benefits. *Energy Reports*, Elsevier, v. 6, p. 288–306, 2020.

SILVA, M. B. da. Mecanismos de participação e atuação de grupos de interesse no processo regulatório brasileiro: o caso da agência nacional de energia elétrica (aneel). *Revista de Administração Pública*, v. 46, n. 4, p. 969–992, 2012.

SMITH, A.; STIRLING, A.; BERKHOUT, F. The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research policy*, Elsevier, v. 34, n. 10, p. 1491–1510, 2005.

SORRELL, S. Explaining sociotechnical transitions: A critical realist perspective. *Research Policy*, Elsevier, v. 47, n. 7, p. 1267–1282, 2018.

STATE of Charge. Massachusetts Energy Storage Initiative. Acessado: 06 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.mass.gov/files/2017-07/state-of-charge-report.pdf>>. Acesso em: 11 dec. 2018.

SUSTAINABLE Development Goals. 2018.

THIRD-PARTY Provision of Ancillary Services; Accounting and Financial Reporting for New Electric Storage Technologies. Acessado: 08 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.ferc.gov/whats-new/comm-meet/2013/071813/E-22.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

THOMAS, G.; DEMSKI, C.; PIDGEON, N. Deliberating the social acceptability of energy storage in the uk. *Energy Policy*, Elsevier, v. 133, p. 110908, 2019.

UGARTE SERGIO, L. J. v. d. R. B. S. V. V. M. F. N. M. J. T. A. W. M. V. R. *Energy Storage: Which Market Designs and Regulatory Incentives Are Needed?* [S.l.], 2015.

UNGER, D. J. *Illinois utility's microgrid first to 'island' nearby residential customers*. Disponível em: <<http://midwestenergynews.com/2017/06/07/illinois-utility-microgrid-first-to-island-nearby-residential-customers/>>.

USERA, I. et al. The regulatory debate about energy storage systems: State of the art and open issues. *IEEE Power and Energy Magazine*, IEEE, v. 15, n. 5, p. 42–50, 2017.

WHITTINGHAM, M. S. History, evolution, and future status of energy storage. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 100, n. Special Centennial Issue, p. 1518–1534, 2012.

WIRTH, T. V.; GISLASON, L.; SEIDL, R. Distributed energy systems on a neighborhood scale: Reviewing drivers of and barriers to social acceptance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 82, p. 2618–2628, 2018.

ZAME, K. K. et al. Smart grid and energy storage: Policy recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 82, p. 1646–1654, 2018.