

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Bárbara Righi Cenci

**ROADMAP EM SISTEMAS RESIDENCIAIS
DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

Santa Maria, RS
2020

Bárbara Righi Cenci

**ROADMAP EM SISTEMAS RESIDENCIAIS
DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Orientador: Dr. Daniel Pinheiro Bernardon

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Cenci, Bárbara Righi
Roadmap em Sistemas Residenciais de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil / Bárbara Righi Cenci.- 2020.
134 p.; 30 cm

Orientador: Daniel Pinheiro Bernardon
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, RS, 2020

1. armazenamento de energia elétrica 2. roadmap tecnológico 3. recursos energéticos distribuídos 4. sistemas residenciais de armazenamento de energia 5. setor elétrico brasileiro I. Bernardon, Daniel Pinheiro II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, BÁRBARA RIGHI CENCI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

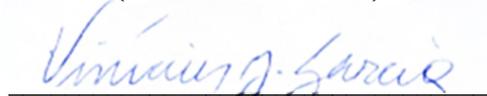
Bárbara Righi Cenci

**ROADMAP EM SISTEMAS RESIDENCIAIS
DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Aprovado em 19 de fevereiro de 2020:


Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Vinícius Jacques Garcia, Dr. (UFSM)


Enoque Dutra Garcia, Dr. (UNIPAMPA)

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo justamente pelo meu começo: minha mãe, Liane Beatriz Righi, e meu pai, Daniel Rubens Cenci, e também às minhas irmãs e irmão, Ana Righi Cenci, Luiza Righi Cenci e Eduardo Righi Cenci. Sou muito feliz por poder compartilhar a estrada com todos vocês. Gracias pelo amor desmedido, pela torcida incansável, pelas conversas evolutivas e por todo o suporte nesta caminhada. Às amigas e amigos e ao meu companheiro, Thiago Druciaki Casagrande: obrigada por compartilharem cafés, mates, vinhos e cervejas, sobretudo, histórias. Por ouvirem, por falarem, por motivarem e por permitirem opiniões e abraços sinceros. Este período foi mais fácil com vocês por perto.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001, bem como do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), aos quais agradeço - e nisso estendo minha gratidão à sociedade brasileira que financia e defende a educação e a ciência públicas. Também à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) e ao Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP), muito obrigada pela formação e por todas as oportunidades de crescimento. Quanto aos três últimos, destaco a qualidade e relevância desses espaços e ressalto minha gratidão pelos aprendizados possibilitados.

Agradeço à Companhia Paranaense de Energia Elétrica – Distribuição (COPEL-DIS), à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e às pessoas que se propuseram a contribuir com este trabalho respondendo aos questionários e debatendo este tema. Também, à professora Luciane Neves Canha, que acompanhou e agregou de diversas formas neste processo, à banca deste trabalho, que teve a disposição de discuti-lo e lapidá-lo e, especialmente, ao professor Daniel Pinheiro Bernardon, que orientou, apoiou e incentivou nesta trajetória: muito obrigada.

Na discussão científica, já que se supõe que o interesse seja a pesquisa da verdade e o progresso da ciência, demonstra ser mais avançado quem se coloca do ponto de vista de que o adversário pode expressar uma exigência que deva ser incorporada, ainda que como momento subordinado, na sua própria construção. Compreender e valorizar com realismo a posição e as razões do adversário (e o adversário é, em alguns casos, todo o pensamento passado) significa justamente estar liberto da prisão das ideologias, isto é, significa colocar-se em um ponto de vista 'crítico', o único fecundo na pesquisa científica".

Antônio Gramsci

RESUMO

ROADMAP EM SISTEMAS RESIDENCIAIS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO BRASIL

AUTORA: Bárbara Righi Cenci
ORIENTADOR: Daniel Pinheiro Bernardon

Sistemas de armazenamento de energia desempenham um papel crucial para a expansão de fontes renováveis intermitentes na busca por uma matriz energética mais sustentável, uma vez que viabilizam que essa evolução ocorra de forma segura e confiável. Neste contexto e com especial atenção à ascensão dos sistemas residenciais de geração distribuída no Brasil observado nos últimos anos, entende-se que a investigação acerca da trajetória e tendências do armazenamento residencial de energia elétrica é imprescindível para impulsionar o avanço destes sistemas, sendo o Roadmap Tecnológico um instrumento que favorece a visão abrangente necessária para compreender esta conjuntura e nortear esse desenvolvimento. Assim, inserido no projeto estratégico PD-2866-0462/2016 – “Baterias de pequeno porte residencial integradas ao conceito de HEM e GLD”, que atende a chamada 21/2016 da ANEEL, “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”, a Universidade Federal de Santa Maria juntamente com a Companhia Paranaense de Energia propõe este roadmap em Sistemas Residenciais de energia no Brasil. Neste sentido, o trabalho desenvolvido busca fornecer uma discussão das técnicas existentes para armazenamento residencial de energia, bem como suas aplicações e custos, identificando necessidades críticas e/ou lacunas que devam ser preenchidas. Além disso, quer-se entender a maturação do mercado e o contexto de penetração destes sistemas, identificando aspectos regulatórios e políticas pública para o campo do armazenamento residencial de energia no Brasil. Quer-se também compreender as oportunidades e as barreiras políticas, econômicas e tecnológicas para o desenvolvimento destes sistemas, bem como discutir ações específicas que possam ser tomadas frente a este cenário.

Palavras-chave: Armazenamento Residencial de Energia. Roadmap Tecnológico. Armazenamento de Energia no Brasil.

ABSTRACT

ROADMAP FOR RESIDENTIAL ENERGY STORAGE SYSTEMS IN BRAZIL

AUTHOR: Bárbara Righi Cenci
ADVISOR: Daniel Pinheiro Bernardon

Energy storage systems plays a crucial role in the expansion of intermittent renewable sources in the search for a more sustainable energy matrix, since it enable this evolution to occur safely and reliably. In this context and with special attention to the increasing numbers of residential systems of distributed generation in Brazil observed in recent years, it is understood that the investigation of the trajectory and trends in the residential storage of electricity is essential to boost the advancement of these systems, and the Roadmap is an instrument that favors a comprehensive view that is necessary to understand the conjuncture and guide this development. Thus, inserted in the strategic project PD-2866-0462/2016 – “Small Residential Batteries Integrated with the HEM and GLD concept”, that answers the call 21/2016 of ANEEL, “Technical and Commercial Arrangements for the Insertion of Energy Storage Systems in the Brazilian Electrical Sector”, the Federal University of Santa Maria along with the COPEL Distribution Power Utility proposes a Roadmap for Residential Energy Storage Systems in Brazil. The work developed seeks to provide a discussion of the existing techniques for energy storage, as well as its applications and costs, identifying critical needs and/or gaps that need to be fulfilled. In addition, we want to understand the market maturation and the context of penetration of these systems, identifying regulatory aspects and public policies for the field of energy storage in Brazil. It also seeks to understand the political, economic and technological barriers to the development of energy storage systems and specific actions that can be taken against these obstacles.

Keywords: Residential Storage. Technology Roadmap. Energy Storage in Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira – Capacidade Instalada	15
Figura 2 – Potencia Instalada de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil	16
Figura 3 – Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil por Classe de Consumo.....	16
Figura 4 – Implantação anual de armazenamento, 2013-2018	17
Figura 5 – Estrutura de um roadmap	21
Figura 6 – Caracterização de <i>Roadmaps</i> : Propósito e Formato.....	22
Figura 7 – Arquitetura generalizada de um <i>roadmap</i> tecnológico	23
Figura 8 – Metodologia proposta pela IEA para desenvolvimento de um Roadmap Tecnológico.....	25
Figura 9 – Mix de tecnologias de armazenamento, exceto armazenamento em hidrelétricas..	29
Figura 10 – Maturidade de algumas tecnologias de armazenamento.....	30
Figura 11 – Esquema de descarga de uma bateria íon-lítio	32
Figura 12 – Estrutura básica e funções principais de um sistema de gerenciamento de bateria.....	33
Figura 13 – Esquema de uma bateria NaS durante a operação de descarga.....	34
Figura 14 – Representação de uma bateria de chumbo-ácido	36
Figura 15 – Representação do funcionamento de uma Bateria de Fluxo Reverso	37
Figura 16 – Curvas de carga da França em uma semana fria de inverno.....	41
Figura 17 – Sistema Fotovoltaico.....	42
Figura 18 – Sistema Híbrido Solar-Eólica.....	43
Figura 19 – Sistema Híbrido Solar-Eólica-Gerador Diesel	43
Figura 20 – Sistema Fotovoltáico Conectado a Rede.....	44
Figura 21 – Relação de capacidade e duração da descarga para aplicações de sistemas de armazenamento.....	46

Figura 22 – Finalidade de Utilização das Tecnologias de Armazenamento Eletroquímico, Eletromecânico e Térmico	49
Figura 23 – Sistema de armazenamento e seus componentes primários	52
Figura 24 – Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro.....	54
Figura 25 – Aspectos do planejamento em um cenário com mais REDs	56
Figura 26 – Composição Tarifária.....	58
Figura 27 – Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional.....	60
Figura 28 – Alternativas de abatimento tarifário propostos pela ANEEL.....	63
Figura 29 – Sistemas Elétricos: presente x futuro.....	67
Figura 30 – Crescimento utilização de armazenamento de energia em diversas aplicações	68
Figura 31 – Capacidade instalada acumulada por fonte	69
Figura 32 – Evolução da implementação de armazenamento de energia em alguns países	72
Figura 33 – Evolução do preço global das baterias de íon-lítio, em USD por kWh.....	75
Figura 34 – Curva S de difusão.....	76
Figura 35 – Emissões brasileiras de dióxido de carbono (1990 – 2016).....	78
Figura 36 – Projeção da demanda global de lítio	80
Figura 37 – Árvore do Lítio.....	80
Figura 38 – Distribuição dos recursos mundiais de lítio, por país.....	81
Figura 39 – Triângulo do Lítio.....	82
Figura 40 – Vista aérea de piscina de salmoura no Deserto do Atacama (Chile)	82
Figura 41 – Diagrama do processo de obtenção de carbonato de lítio à base de salmouras.....	83
Figura 42 – Processo de Beneficiamento do Espodumênio.....	84
Figura 43 – Processo ácido para obtenção do carbonato de lítio a partir do concentrado de Espodumênio.....	85
Figura 44 – Processo alcalino para obtenção do carbonato de lítio a partir do concentrado de Espodumênio.....	85
Figura 45 – Distribuição da Ocorrência de Lítio em Pegmatito no Brasil.....	86

Figura 46 – Lavras do campo pegmatito de Itinga.....	87
Figura 47 – Fluxograma para a Cadeia de Suprimento do Cobalto.....	92
Figura 48 – Movimentação do cobalto na cadeia de suprimento.....	92
Figura 49 – Princípios de Design em Permacultura.....	95
Figura 50 – Flor da Permacultura.....	96
Figura 51 – Perspectivas de uso das tecnologias de armazenamento residencial.....	98
Figura 52 – Maturidade dos processos relacionados ao ciclo de vida do produto.....	99
Figura 53 – Perspectivas para participação nacional na cadeia de produção.....	100
Figura 54 – Perspectivas para parcerias estratégicas.....	100
Figura 55 – Principais desafios para a evolução dos sistemas de armazenamento de energia.....	102
Figura 56 – Principais oportunidades para a evolução dos sistemas de armazenamento de energia.....	102
Figura 57 – Ranking de prioridades.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens de baterias de íon-lítio.....	33
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens de baterias de sódio-enxofre	34
Tabela 3 – Vantagens e desvantagens de baterias de chumbo-ácido.....	36
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens de baterias de fluxo	38
Tabela 5 – Vantagens e desvantagens de baterias de flywheels	39
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens de CAES.....	40
Tabela 7 – Serviços e Aplicações de Armazenamento	47
Tabela 8 – Características chave de sistemas de armazenamento para aplicações específicas no sistema de energia.....	48
Tabela 9 – Aptidão de diferentes tecnologias de armazenamento para aplicações em serviços de rede, aplicações atrás do medidor e <i>off-grid</i>	51
Tabela 10 – Potencial Máximo de Mercado para Sistemas Armazenamento de Energia por Baterias no Brasil, por segmento de mercado	71
Tabela 11 – Potencial Máximo de Mercado para Sistemas Armazenamento de Energia por Baterias no Brasil, por aplicação.....	71
Tabela 12 – Matrix SWOT	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
AIR – Avaliação de Impacto Regulatório
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
DOE – *Department of Energy*
DER - *Distributed Energy Resources*
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
GD – Geração Distribuída
IEA – *International Energy Agency*
IRENA – *International Renewable Energy Agency*
MME – Ministério de Minas e Energia
RED – Recursos Energéticos Distribuídos
RN – Resolução Normativa
SEP – Sistema Elétrico de Potência
SWOT - *Strengths/Weaknesses/Opportunities/Threats*
T&D – Transmissão e Distribuição
TE – Tarifa de Energia
TRM – *Technology Roadmapping*
TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VE – Veículo Elétrico
VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

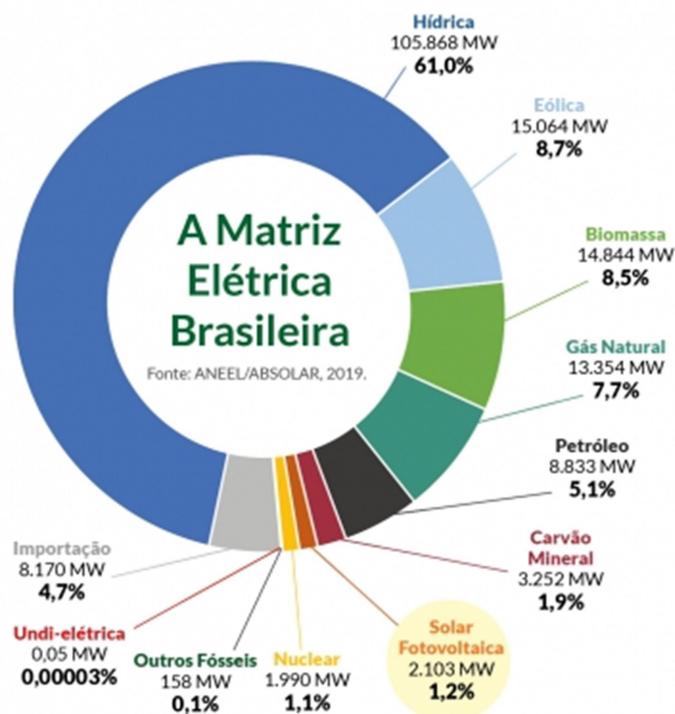
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	19
1.2 JUSTIFICATIVA.....	19
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS	20
2 ROADMAPS TECNOLÓGICOS	21
3 ESTRUTURA DO ROADMAP PROPOSTO	27
4 ANÁLISES	29
4.1 TECNOLOGIAS.....	29
4.1.1 Tipologias Usuais de Sistemas de Armazenamento Estacionário Residencial.....	30
4.1.2 Arranjos Técnicos	41
4.1.3 Aplicabilidade	44
4.1.4 Outras Tecnologias de Interesse.....	52
4.2 ASPECTOS LEGAIS E GOVERNAMENTAIS	53
4.2.1 Modelo do Setor Elétrico Brasileiro.....	53
4.2.2 Regulações, Marcos Setoriais e Políticas de Incentivo.....	60
4.3 DEMANDA E MERCADO	68
4.4 ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS	76
4.4.1 Cadeia Produtiva.....	79
4.4.2 Perspectivas De Gênero	93
4.4.3 Propostas Alternativas De Desenvolvimento Sustentável.....	93
5 APONTAMENTOS	97
5.1 DESAFIOS E OPORTUNIDADES	102
5.2 ITENS DE AÇÃO	104
5.3 MARCOS E METAS	110
5.4 PRIORIDADES	110
5.5 CICLOS DE REVISÃO	111
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
6.1 TRABALHOS FUTUROS	115
6.2 PUBLICAÇÕES	115
7 REFERÊNCIAS	116
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO (1ª RODADA)	122
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO (2ª RODADA)	129
APÊNDICE C – FONTES DE CONSULTA PARA REVISÕES	134

1 INTRODUÇÃO

O armazenamento de energia elétrica tem se mostrado especialmente relevante no panorama energético global, seja pela crucial contribuição para a inserção de fontes renováveis intermitentes no que diz respeito a segurança energética e confiabilidade destes sistemas, seja pela ascendente disseminação de veículos elétricos e pelas promissoras possibilidades de serviços ancilares proporcionados a rede. O cenário brasileiro é ainda inexpressivo quanto aos dois últimos pontos, não obstante, a evolução dos sistemas de armazenamento é notoriamente propícia, cabendo a consideração de algumas singularidades importantes.

A matriz elétrica brasileira, apresentada na Figura 1, tradicionalmente alicerçada, sobretudo, na fonte hídrica, tem sua produção de energia majoritariamente proveniente de fontes renováveis intermitentes, reforçando a preocupação quanto a capacidade firme disponível e convergindo para a necessidade de sistemas de armazenamento de energia frente a crescente expansão das matrizes solar e eólica – esta última levou o país a ocupar atualmente o 8º lugar no ranking mundial de capacidade instalada para produção de energia a partir desta fonte (GWEC, 2019).

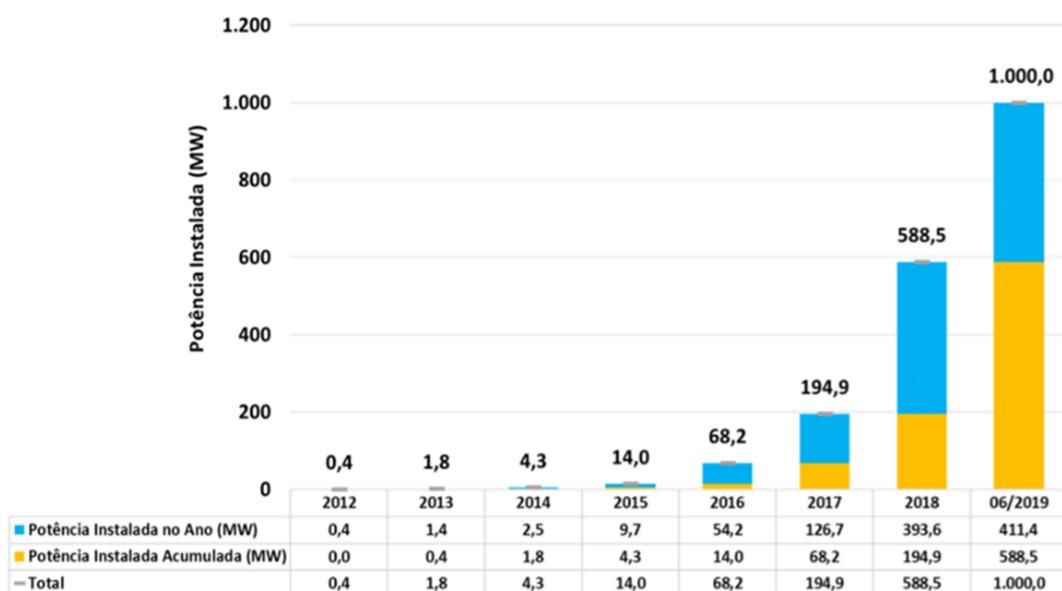
Figura 1- Matriz Elétrica Brasileira – Capacidade Instalada



Fonte: (ANEEL, 2019 apud ABSOLAR, 2019).

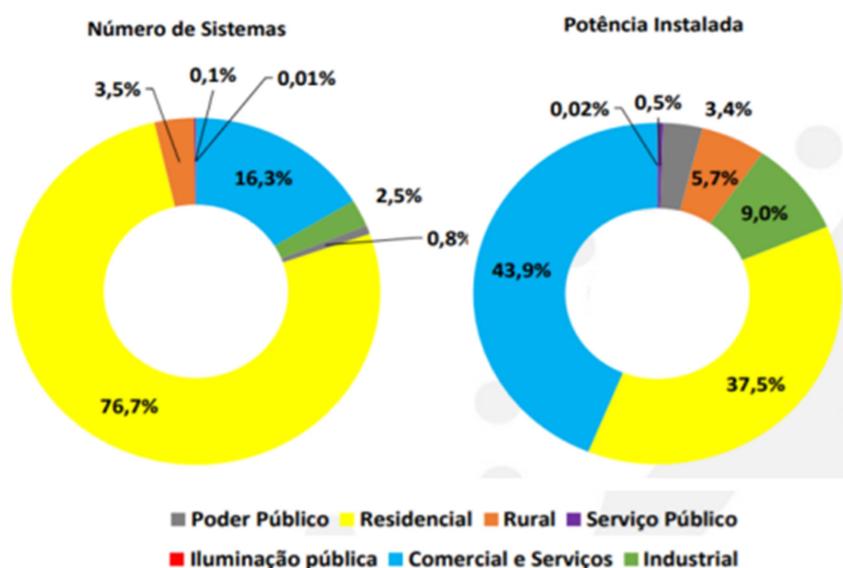
No que diz respeito a fonte solar, ainda que a exploração deste recurso seja bastante incipiente dentro da matriz energética, o país apresenta um crescimento exponencial deste setor, estando o maior número destes sistemas instalado em residências, como apresentam as Figuras 2 e 3. Os dados referem-se a sistemas de geração distribuída, contemplando microgeração (até 75kW) e minigeração (75kW até 5MW).

Figura 2 - Potencia Instalada de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: (ABSOLAR, 2019).

Figura 3 - Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil por Classe de Consumo

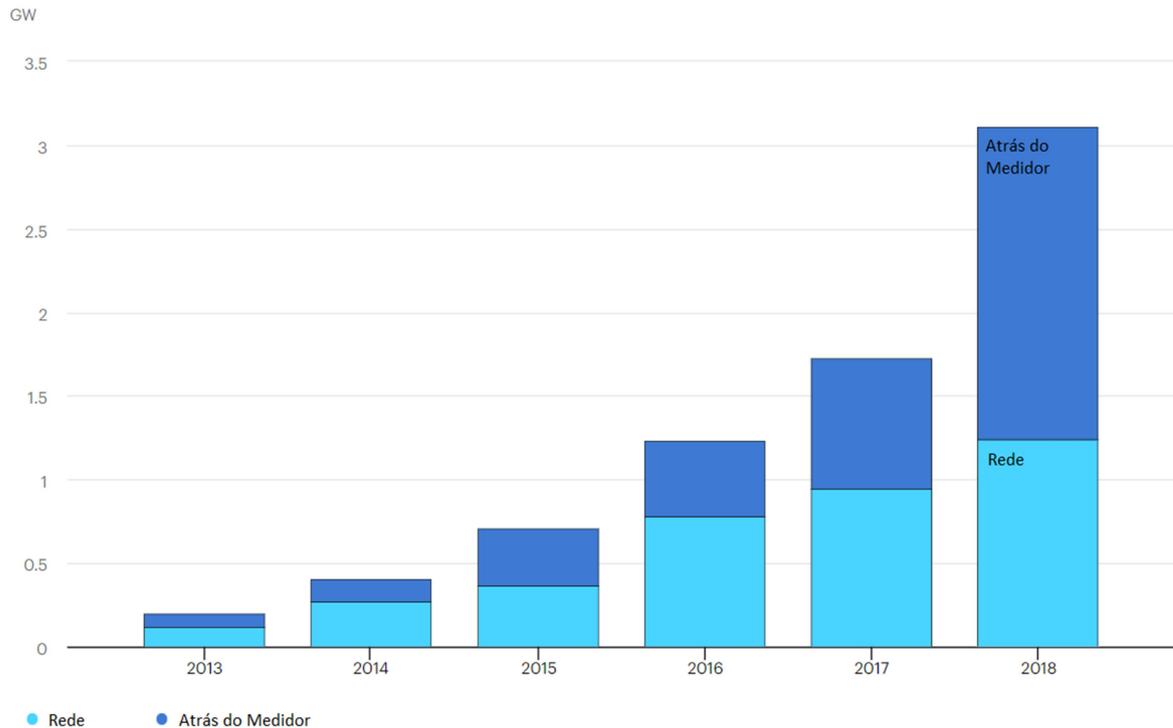


Fonte: (ABSOLAR, 2019).

Mais do que um câmbio quanto a natureza das fontes geradoras, esta transição tem um potencial disruptivo no sentido da expansão de Recursos Energéticos Distribuídos (RED, ou *Distributed Energy Resources* – DER), definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica (tanto geração distribuída quanto veículos elétricos (VE) e estruturas de recarga), localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (*behind the-meter*). Uma extensão dessa definição pode abarcar também eficiência energética, resposta a demanda (RD) e gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) (EPE, 2018). Neste contexto, destaca-se a ascensão de “prossumidores” – estes consumidores de energia que possuem geração própria conectada a rede, sendo assim também produtores.

Observa-se que mundialmente a implementação de armazenamento de energia tem experimentado uma forte expansão nas aplicações atrás do medidor, como apresenta a Figura 4.

Figura 4 - Implantação anual de armazenamento, 2013-2018



Fonte: (IEA, 2019)

Os sistemas de armazenamento de energia não necessitam estar associados a fontes renováveis, tampouco os residenciais, mas esta combinação torna-se pertinente numa perspectiva de sustentabilidade e extremamente conveniente dado o avanço da utilização de energia solar, sendo cada vez mais incentivada a combinação de armazenamento em conjunto com a geração renovável e havendo a expectativa de que 70% de todos os recursos renováveis de geração instalada atrás do medidor será combinada com algum nível de armazenamento de energia na próxima década (Wilson, 2018 *apud* WEC, 2019). A flexibilidade possibilitada pelos sistemas de armazenamento residencial permite que os clientes fiquem menos dependentes da estabilidade e segurança do suprimento da rede elétrica. Além disso, a aplicação de tarifas horárias de energia elétrica torna ainda mais interessante o uso de recurso de armazenamento residencial pela possibilidade de deslocamento da demanda energética de horários mais onerosos. Entretanto, mesmo que esta já seja uma perspectiva global dentro da busca por uma rede mais inteligente, segura e flexível, existem diversas barreiras políticas, econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas a serem superadas (WEC, 2019). No que diz respeito ao Brasil, há um longo caminho para que estes sistemas se consolidem, sendo imperativa a construção de uma agenda de ações que sejam capazes de impulsionar este avanço partindo de uma leitura adequada do contexto e das necessidades específicas do país.

Neste sentido, o *roadmap* tecnológico mostra-se como um potente instrumento, favorecendo a participação dos diversos agentes interessados nesta pauta e proporcionando uma visão abrangente da trajetória e tendências destes sistemas (IEA, 2014).

Frente a isto, este *roadmap* em sistemas residenciais de armazenamento de energia foi proposto pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) juntamente com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e está inserido no projeto estratégico PD-2866-0462/2016 – “Baterias de Pequeno Porte Residencial Integradas ao Conceito de HEM e GLD”, que atende a chamada 21/2016 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”.

Neste sentido, o trabalho desenvolvido busca fornecer uma discussão das técnicas existentes para armazenamento de energia, bem como suas aplicações e custos, identificando necessidades críticas e/ou lacunas que devam ser preenchidas. Além disso, quer-se entender a maturação do mercado e o contexto de penetração destes sistemas, identificando aspectos regulatórios e políticas pública para o campo do armazenamento de energia. Quer-se também compreender as barreiras políticas, econômicas e tecnológicas para o desenvolvimento dos

sistemas de armazenamento de energia e ações específicas que possam ser tomadas frente a estes obstáculos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Frente à expansão da geração de energia a partir de fontes intermitentes, sobretudo a ascensão desta em residências no Brasil, e a pertinência de sistemas de armazenamento associados a isto, quer-se saber: qual deve ser a rota de desenvolvimento dos sistemas residenciais de armazenamento de energia no Brasil a curto, médio e longo prazo para que esta evolução acompanhe esta demanda e ocorra de forma segura e sustentável?

1.2 JUSTIFICATIVA

Para que a utilização de recursos renováveis intermitentes proporcione uma expansão segura para a matriz energética brasileira e contribua na construção de uma rede elétrica mais inteligente, é imperativo que isto esteja associado a recursos de armazenamento de energia, sendo os sistemas residenciais pontos chave desta transição. Entretanto, a promoção deste avanço com efetividade e segurança requer a leitura abrangente da conjuntura de desenvolvimento destes sistemas atentando para as particularidades do contexto nacional e a definição de caminhos a serem percorridos para alcançar os cenários futuros visualizados. Além disso, até o momento não foram identificados trabalhos semelhantes ao proposto - há, inclusive, poucos estudos abordando especificamente sistemas residenciais de armazenamento de energia no Brasil, o que reforça a importância de trabalhos que contribuam para o amadurecimento desta discussão no país.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um *Roadmap* sobre Sistemas Residenciais de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil, buscando uma visão abrangente que permita compreender a conjuntura de desenvolvimento destes sistemas e nortear sua evolução.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Discutir as técnicas existentes para armazenamento residencial de energia, aplicações e custos.
- Identificar as barreiras políticas, econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas no desenvolvimento dos sistemas de armazenamento de energia.
- Conhecer a trajetória e tendências para os sistemas de armazenamento residencial de energia no mundo, traçando um paralelo com o Brasil.
- Entender a maturidade do mercado e o contexto de penetração de sistemas de armazenamento no Brasil.
- Identificar aspectos regulatórios e políticas para o campo do armazenamento residencial de energia no Brasil.
- Compreender as necessidades e/ou lacunas que devam ser preenchidas para a evolução destes sistemas no Brasil.
- Apontar ações específicas que possam ser tomadas, articulando metas, prazos e prioridades para a evolução dos sistemas residenciais de armazenamento de energia elétrica no Brasil.

1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O presente trabalho se apresenta com a seguinte ordem de conteúdos:

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução acerca da problemática investigada e sua importância, bem como os objetivos que se busca atingir com este trabalho.

O segundo capítulo corresponde a uma revisão bibliográfica sobre *roadmaps* tecnológicos, onde se apresenta o conceito bem como as abordagens mais utilizadas, ao passo que o terceiro capítulo apresenta a metodologia empregada para a realização deste trabalho.

O quarto capítulo discute aspectos importantes do debate sobre armazenamento residencial de energia no Brasil, tanto no que diz respeito à tecnologia em si e sua aplicação, quanto às questões sociais, políticas, ambientais e econômicas que incidem sobre isto.

No quinto capítulo são apresentados os pontos direcionadores deste *roadmap*, bem como as rotas propostas para os cenários de 2020, 2030, 2040 e 2050.

Finalmente, o sexto capítulo traz considerações sobre o desenvolvimento deste *roadmap* e os caminhos propostos nele, algumas conclusões sobre sistemas de armazenamento de energia no Brasil, perspectivas de trabalhos futuros, bem como as publicações já feitas referentes a este trabalho.

2 ROADMAPS TECNOLÓGICOS

Um *roadmap* pode ser definido como um plano estratégico que descreve as etapas que uma organização precisa para atingir resultados e objetivos declarados. (IEA, 2014) Trata-se de um termo em inglês para o processo de planejamento tecnológico para identificar, selecionar e desenvolver alternativas com objetivo de atender a um conjunto de necessidades pré-elaboradas pelos seus desenvolvedores (BRAY; GARCIA, 1998). É um conjunto dinâmico de requisitos técnicos, políticos, legais, financeiros, de mercado e organizacionais identificados por todas as partes interessadas envolvidas no processo. O principal objetivo deste instrumento é destacar e acelerar a implantação de uma tecnologia específica ou grupo de tecnologias. Trata-se de traçar uma estratégia ou um plano descrevendo as etapas a serem tomadas para alcançar metas declaradas e acordadas em um cronograma definido. Assim, podem-se determinar as barreiras existentes e a gama de soluções possíveis para superá-los. Idealmente, um roteiro não deve ser um fim em si mesmo, mas sim um documento dinâmico, incorporando métricas para facilitar o acompanhamento do progresso em direção a objetivos e com a flexibilidade de ser atualizado na medida em que o contexto do mercado, tecnologia e política evoluem (IEA, 2014). A Figura 5 apresenta os elementos chave e a lógica de elaboração de um roadmap.

Figura 5 – Estrutura de um *roadmap*



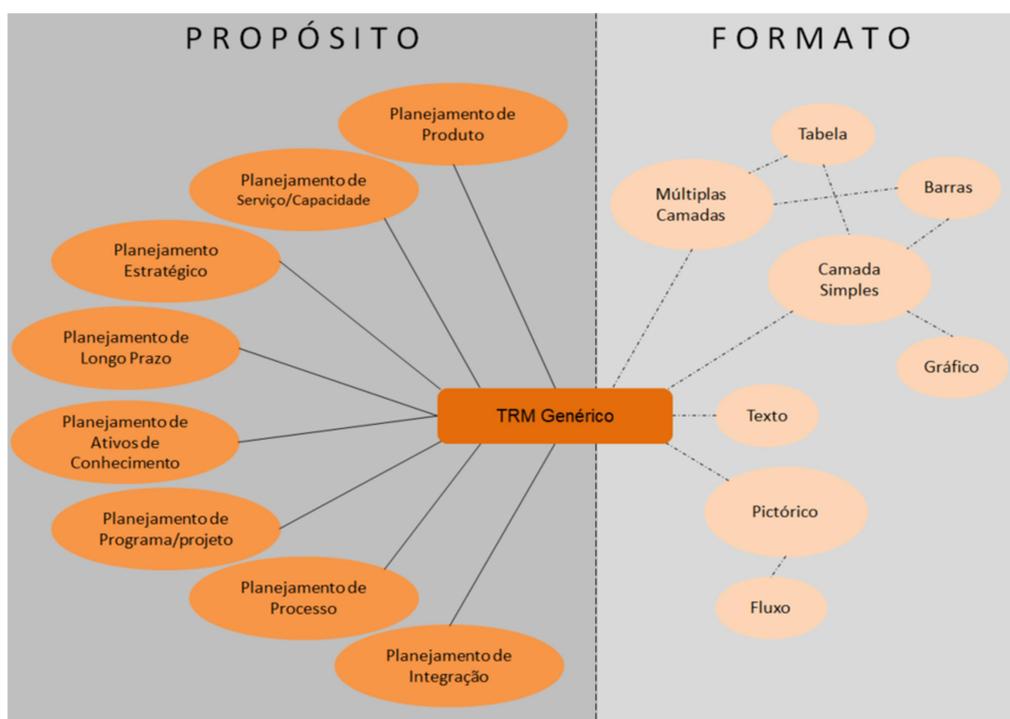
Fonte: Adaptada de (IEA, 2014)

A técnica de Roadmap Tecnológico (*Technology Roadmapping* – TRM) tem suas raízes no final da década de 1970 e meados da década de 1980, quando as companhias Motorola e Corning aplicaram esta abordagem no setor automotivo dos EUA, sobretudo para

atender a necessidade de integrar aspectos de tecnologia, mercado e produto. A partir daí o método também foi adotado por consórcios e governos. De modo geral, isto está intimamente ligado à previsão e planejamento de cenários, estratégias de desenvolvimento e técnicas de revisão (PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2004).

Há muitas formas de abordagem para um roteiro de tecnologia, ainda que geralmente utilizados com propósitos de produto ou comercial. Uma possibilidade de categorização dá-se a partir do estudo de PHAAL; FARRUKH; PROBERT (2001), onde foi examinado um conjunto de cerca de 40 roteiros com diferentes objetivos, os quais foram agrupados em oito áreas tendo como base suas estruturas e conteúdo. Assim, pode-se identificar os seguintes grupos: (a) planejamento de produto; (b) planejamento de serviço/capacidade; (c) planejamento de estratégico; (d) planejamento de longo prazo; (e) planejamento de ativos de conhecimento; (f) planejamento de programa/projeto; (g) planejamento de processo; e (h) planejamento de integração. A síntese deste trabalho é apresentada na Figura 6, que relaciona propósitos e formatos de um roadmap tecnológico genérico.

Figura 6 – Caracterização de *Roadmaps*: Propósito e Formato

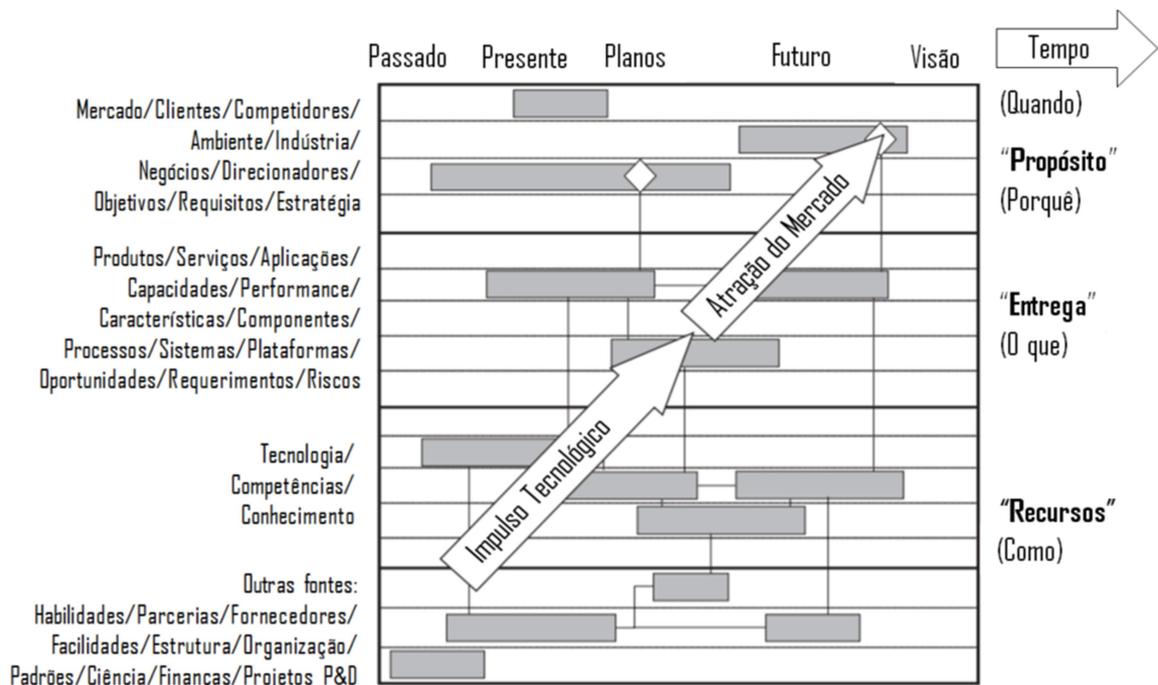


Fonte: Elaboração Própria, adaptada de (PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2001)

PHAAL, FARRUKH e PROBERT (2001) identificaram formas clássicas de exposição de roteiros, de modo que, em geral, apresenta-se um gráfico baseado no tempo, o

qual compreende diversas camadas de perspectivas conectadas de modo a explorar a evolução de mercados, produtos e tecnologias. De forma genérica, podem-se identificar três camadas de tópicos abordados, que compreendem subcamadas relacionadas a eles. Geralmente, as camadas superiores tratam dos propósitos (*know-why*), ao passo que as camadas inferiores tratam dos recursos (*know-how*). As camadas intermediárias se referem ao que deve ser feito (*know-what*), sendo esta conexão entre recursos e propósitos. Um exemplo de arquitetura generalizada de um roadmap tecnológico é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Arquitetura generalizada de um *roadmap* tecnológico



Fonte: Adaptada de (PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2001)

Naturalmente, frente às distintas aplicações do método, podem-se ter variações destas finalidades e formatos, como formas híbridas, devido a necessidade de adaptação para atender ao propósito específico – diversidade que também é resultado pela inexistência de um protocolo/padrão para a construção de roadmap tecnológicos, havendo diversas metodologias propostas (PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2001).

Observa-se que os benefícios de um roadmap estão, além do produto final, no próprio processo, uma vez que abrange diferentes áreas e cria a oportunidade de compartilhamento de informações e a formação de um veículo para considerações holísticas sobre as questões -

comunicação que está associada ao processo e a estrutura comum para se pensar sobre planejamento estratégico (COELHO *et al*, 2005).

GARCIA e BRAY (1997), em estudo produzido pela *Sandia National Laboratories*, propõe três fases para a elaboração de um processo de roadmap, apresentadas a seguir:

Fase 1 - Atividade preliminar: esta fase compreende a satisfação de condições essenciais como a participação de diversos grupos e diferentes perspectivas; o envolvimento de membros da indústria, clientes, fornecedores, governo e academia; definição de lideranças e patrocínios, bem como a definição do âmbito e limites para o trabalho.

Fase 2 - Desenvolvimento do plano tecnológico: nesta etapa devem-se identificar os requisitos sistêmicos críticos e seus objetivos, bem como especificar as principais áreas da tecnologia. Também, especificar os direcionadores da tecnologia e suas metas, ou seja, quais as variáveis que determinarão as alternativas selecionadas, vinculando valores que permitam mensurar o desempenho nos horizontes de tempo definidos. Devem-se identificar as alternativas tecnológicas e suas linhas de tempo, entendendo a relação com outras tecnologias. A partir disso, cabe recomendar as alternativas tecnológicas a serem perseguidas e, por fim, criar um relatório (o roadmap propriamente dito) contendo a identificação as áreas abordadas e suas posições atuais, fatores críticos, possíveis riscos, lacunas do roadmap em termos de abrangência de áreas, além de recomendações técnicas e de implementação.

Fase 3 - Seguimento da atividade: nesta fase ocorre a crítica e validação do roadmap tecnológico, além do desenvolvimento de um plano de implementação baseado nas alternativas tecnológicas recomendadas. Além disso, a revisão e atualização do trabalho deve ser um processo contínuo, de forma condizente com os ciclos de planejamento da empresa proponente e das próprias mudanças da tecnologia.

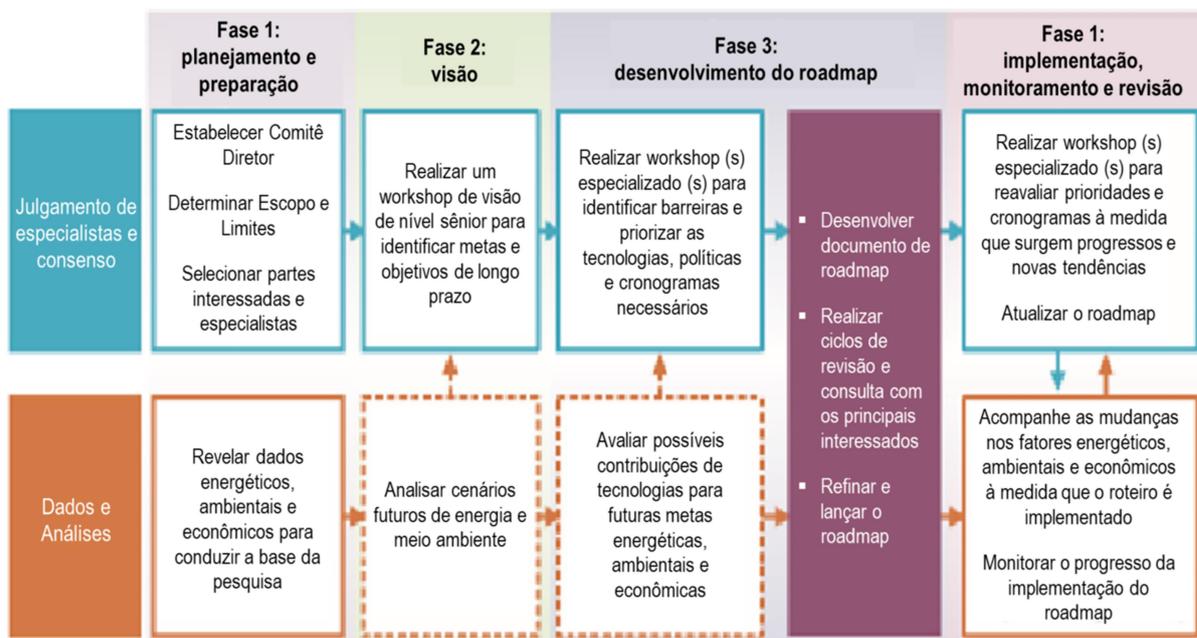
PHAAL, FARRUKH e PROBERT (2001), do *Centre for Technology Management* da Universidade de Cambridge, elaboraram um guia voltado a rápida inicialização do TRM em empresas, o *fast-start* T-Plan. Mais tarde, PHAAL, FARRUKH e PROBERT (2010) expandiram o trabalho desenvolvendo uma segunda proposta, o S-Plan, que pode ser utilizado para a construção de roadmaps de ciência e tecnologia, da indústria e de produto – tecnologia. Ambas abordagens são baseadas em workshops interativos capazes de reunir perspectivas diversas quanto a oportunidades, desafios, decisões e ações, desenvolvendo um roadmap preliminar.

Pela abordagem T-Plan, isso deve envolver cerca de 8 a 12 participantes, de modo que este roadmap preliminar seja esboçado em quatro workshops que compreendam as seguintes temáticas: (1) mercado – onde se identifique os direcionadores de mercado, revisem-se as

estratégias associadas a isto e as lacunas existentes; (2) produto – onde se identifique características potenciais, funções e atributos do produto, agrupando e priorizando de acordo com o impacto proporcionado ao mercado. De modo semelhante, deve-se revisar as estratégias associadas a ao produto e as lacunas existentes; (3) tecnologia – neste, deve-se identificar as tecnologias a serem priorizadas para desenvolver as características do produto, bem como estratégias e lacunas associadas a isto; (4) *roadmapping* – finalmente, deve-se esboçar o roadmap preliminar com base nas discussões ocorridas nos três primeiros espaços, de modo a relacionar as perspectivas de mercado, produto e tecnologia, bem com coordenar ações. Já a abordagem S-Plan prevê a participação de 15 a 25 pessoas em somente um workshop. Em ambas as abordagens se faz necessário que antes, durante e posteriormente às oficinas ocorra um trabalho adicional no sentido de coletar dados, analisar resultados e desenvolver apresentações do roteiro e relatórios (PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2010) (PHALL; MILES, 2008).

A proposta de metodologia para elaboração de roadmap tecnológicos apresentado pela *International Energy Agency* (IEA) se alicerça no julgamento de especialistas e consenso, bem como na busca de dados e análises, organizando o processo em quatro fases: (1) planejamento e preparação, (2) visão, (3) desenvolvimento do roadmap, (4) implementação e revisão do roadmap. A Figura 8 apresenta esta abordagem. (IEA, 2014)

Figura 8 - Metodologia proposta pela IEA para desenvolvimento de um Roadmap Tecnológico



Fonte: Adaptada de (IEA, 2014).

Conforme COELHO *et al* (2005) normalmente é útil a associação de outros métodos e técnicas ao processo de roadmap, vistas as diversas formas possíveis de acessar o conhecimento, coletar e tratar informações. Também, a discussão das forças direcionadoras e modeladoras dos avanços tecnológicos, bem como sua influencia nas tomadas de decisão, pode recorrer a matrizes SWOT (sigla para *strengths/weaknesses/opportunities/threats* – forças/fraquezas/oportunidades/ameaças), painéis de especialistas, análises de ambientes externos e internos. Além disso, técnicas de previsão também são amplamente utilizadas quando se busca entender tendências, direções e evoluções temporais de séries de dados.

Um escopo amplo, a complexidade das questões abordadas, lacunas de conhecimento e incertezas associadas ao futuro podem tornar o processo de roadmap bastante desafiador. Dentre os fatores de sucesso que uma iniciativa de roadmap deve considerar estão: o estabelecimento de uma necessidade clara; a garantia do comprometimento da alta administração e das partes interessadas, bem como que as pessoas, funções e organizações certas estejam envolvidas; planejamento e personalização da abordagem para atender às circunstâncias; a vinculação à outros processos e ferramentas; garantir a simplicidade; repetir e aprender com a experiência. Ressalta-se ainda que, mais do que a precisão da previsão – que está sujeita a incertezas e ambiguidade, um bom roadmap deve contribuir para desenvolver o entendimento, comunicação e consenso sobre o caminho a seguir (PHALL; MILES, 2008).

3 ESTRUTURA DO ROADMAP PROPOSTO

A metodologia empregada observou, principalmente, estudos de roadmaps desenvolvidos pela International Energy Agency (IEA) e pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

Neste sentido, partindo da macrotemática “sistemas residenciais de armazenamento de energia” foram definidos quatro eixos temáticos centrais – tecnologias, ciclo de vida do produto, regulações e parcerias estratégicas -, sobre os quais se realizou um estudo de visão geral destes campos e suas principais tendências. Para tanto, recorreu-se a estudos de agências nacionais e internacionais, instituições de pesquisa, relatórios de monitoramento de mercado, notas técnicas e pareceres de órgãos reguladores, buscando uma visão geral que permitisse entender o contexto em que se dá este trabalho.

Posteriormente, no que se refere ao julgamento do tema por especialistas e a chegada a um consenso dentro da perspectiva de formar uma visão comum sobre o tema, houve a participação em eventos relacionados ao tema e recorreu-se a utilização de um questionário acerca das temáticas elencadas, o qual foi empregado por meio da Técnica Delphi. A utilização desse instrumento visa auxiliar na identificação de aspectos técnicos, legais, organizacionais e barreiras de mercado que se encontram no cenário de implementação dos sistemas residenciais de armazenamento de energia e, neste sentido, a técnica Delphi mostra-se como uma expansão de uma discussão presencial e visa a obtenção de consenso por meio de rodadas de questionários com retorno controlado (CGEE, 2005). Nesta aplicação, isto é utilizado visando desenhar cenários para 2020, 2030, 2040 e 2050, de modo a posteriormente traçar as rotas de desenvolvimento necessárias para se atingir estas perspectivas. Neste sentido, enquanto na primeira rodada cada participante respondeu de forma individual aos tópicos abordados, na segunda etapa estes mesmos respondentes puderam visualizar as respostas dos demais participantes, e a partir disso concordar ou confrontar estas perspectivas.

O questionário foi submetido aos participantes do evento IEEE PES Innovative Smart Grid Technology Latin America 2019, contemplando profissionais atuantes na engenharia em diversos campos (academia, pesquisa, indústria, entre outros). Antes de ser submetido a este grupo, foi realizada uma rodada teste entre estudantes de pós-graduação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica vinculados ao Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência, a fim de testar e validar o procedimento. O questionário

proposto, intitulado “Sistemas Residenciais para Armazenamento de Energia”, foi elaborado utilizando a plataforma de formulários do Google.

O questionário foi estruturado em cinco eixos, a saber: Identificação, Tecnologias, Regulamentação, Ciclo de Vida do Produto e Parcerias Estratégicas, além de espaços destinados a apontamentos gerais acerca dos desafios/obstáculos e oportunidades visualizadas neste campo. Ainda que alguns questionamentos tenham respostas técnicas supridas pela pesquisa bibliográfica, a consulta aos respondentes buscou entender a percepção dos diferentes setores quanto a estes tópicos. Entretanto, como o instrumento foi direcionado a diversos segmentos, todos os questionamentos possibilitam assinalar a opção “não sei responder”, de modo a desestimular que os respondentes arriscassem respostas em tópicos que desconhecem. Além disso, mesmo nas situações em que se devia assinalar a resposta, havia possibilidade de adicionar comentários sobre o tema, a fim de possibilitar observações e novas contribuições por parte dos respondentes. Observa-se ainda que a sessão de identificação teve o objetivo de permitir que durante a análise das respostas fosse possível identificar padrões e divergências de acordo com a experiência e atuação dos respondentes, entretanto, a identificação pessoal (nome) foi opcional. Os questionários – 1ª e 2ª rodada – encontram-se como apêndices deste trabalho.

Os resultados deste trabalho também serão apresentados por meio de um documento síntese, de modo a facilitar sua compreensão e difusão, expondo o caminho proposto para o desenvolvimento das tecnologias de armazenamento de energia no Brasil.

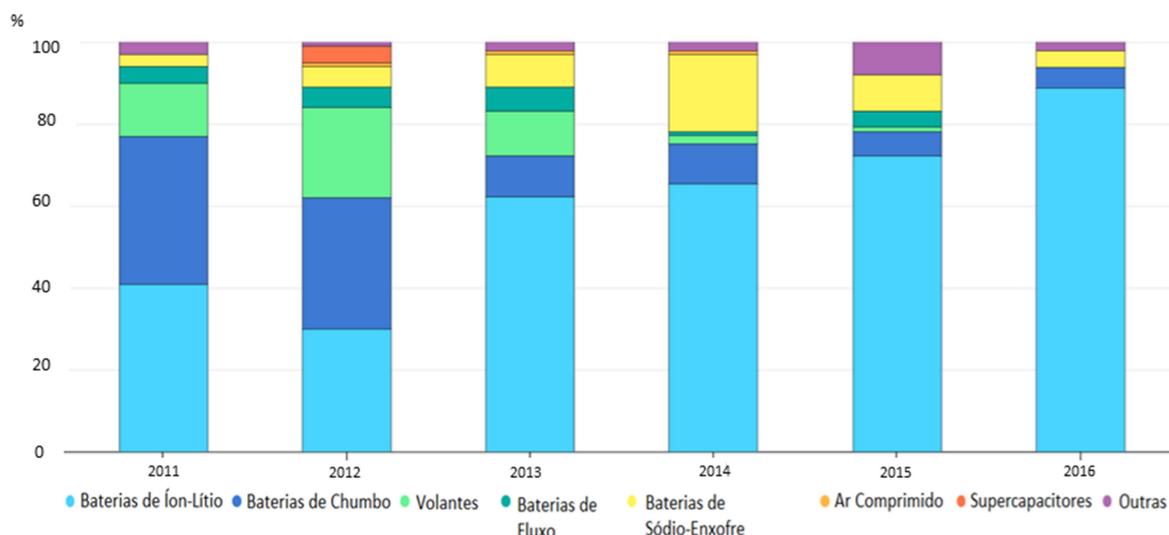
4 ANÁLISES

4.1 TECNOLOGIAS

Há atualmente uma larga gama de tecnologias para o armazenamento de energia, com características de desempenho e custo que as tornam interessantes em determinados segmentos de mercado - aplicações em eletrônicos, mobilidade elétrica, entre outras. As diversas tecnologias existentes podem ser classificadas de acordo com suas aplicações, suas características, capacidade de armazenamento, entre outras.

Uma possível classificação se dá a partir do princípio de funcionamento/forma de armazenamento, sendo uma maneira bastante usual a segregação em quatro grupos, a saber: eletroquímico, térmico, eletromecânico e armazenamento por bombeamento – alternativamente, os dois últimos poderiam ser classificados como armazenamento mecânico. Em 2017 o total de energia armazenada no mundo alcançou 176 GW, dos quais China (32,1 GW), Japão (28,5 GW) e Estados Unidos (24,2 GW) detinham 48% destes recursos (IRENA, 2017) (DOE, 2017). Quanto a forma de armazenamento deste montante, 96% (isto é, 169 GW) referia-se a usinas hidrelétricas reversíveis – enquanto armazenamento térmico, eletroquímico e eletromecânico correspondiam a 1,9% (3,3 GW), 1,1% (1,9 GW) e 0,9% (1,6 GW), respectivamente. Observa-se, entretanto, que estes dados não incluem o armazenamento de energia em veículos elétricos (DOE, 2017). A Figura 9 apresenta o *mix* global de tecnologias de armazenamento, excluindo o armazenamento em hidrelétricas.

Figura 9 – *Mix* de tecnologias de armazenamento, exceto armazenamento em hidrelétricas



Fonte: Adaptada de (EIA, 2019).

A tecnologia que mais se destaca é a de baterias de íon-lítio, com participação de cerca de 90% do total de armazenamento instalado, se desconsideradas as hidrelétricas. São notórias também as contribuições de baterias de sódio-enxofre e baterias de chumbo (IEA, 2019).

4.1.1 Tipologias Usuais de Sistemas de Armazenamento Estacionário Residencial

4.1.1.1 *Electroquímico*

O armazenamento eletroquímico é o segmento de mercado com crescimento global mais acentuado e onde há especial interesse numa perspectiva residencial. Sistemas deste tipo são capazes de armazenar energia química para, quando necessário, transformá-la em energia elétrica. Uma célula eletroquímica é composta por dois condutores diferentes (eletrodos) mergulhados num eletrólito. Assim, uma das grandes vantagens desta tecnologia é a sua aplicação independente das condições do local. Naturalmente, os diferentes tipos de baterias se encontram em momentos distintos no que se refere ao amadurecimento da tecnologia, como se pode observar na Figura 10.

Figura 10 - Maturidade de algumas tecnologias de armazenamento



Fonte: Adaptada de (IEA, 2014b).

4.1.1.1.1 Baterias de íon-lítio

As baterias de íon-lítio passaram a ser introduzidas no mercado em meados de 1990 e desde então sua utilização tem crescido gradativamente, se tornando uma tendência devido as suas ótimas características de densidade de energia, ciclos de vida e desempenho. Ainda que inicialmente sua principal utilização seja no setor de eletrônicos, também é empregada no setor automotivo, bem como em aplicações estacionárias.

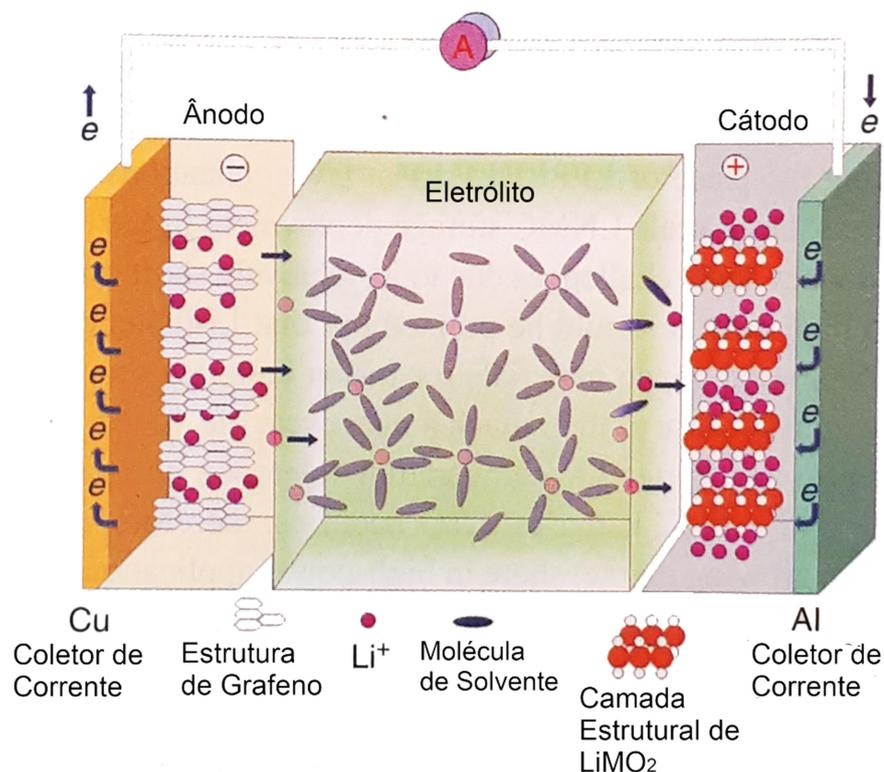
O lítio é um metal leve e o mais eletropositivo dos elementos metálicos (LUZ; LINS, 2008). Este tipo de bateria baseia-se na troca de íons de lítio entre os eletrodos durante os processos de carga e descarga, o material do eletrólito é geralmente feito de uma mistura líquida de soluções orgânicas e, em alguns casos, de um eletrólito polimérico. O material do catodo na maioria das vezes é de algum óxido metálico de lítio, enquanto que o ânodo pode ser feito de grafite. Dentre as principais vantagens dessas tecnologias estão a grande capacidade de descarga de energia, alta eficiência, baixas taxas de auto descarga e altos níveis de densidade de energia e potência. Por outro lado, há implicações ambientais negativas no que se refere ao ciclo produtivo e ao descarte destes materiais. Além disso, baterias deste tipo podem incendiar em caso de sobreaquecimento - o que pode ser ocasionado por sobrecarregamento, condições externas de aquecimento ou por altas correntes de carga e descarga.

Quanto a sua utilização em aplicações estacionárias, apresenta melhor performance se comparada a baterias de chumbo-ácido, por exemplo. Entretanto, seu custo é superior – ainda que tenda a reduzir nos próximos anos. Dentre alguns serviços que esta bateria pode realizar destaca-se o de arbitragem, bem como nivelar e suavizar oscilações na demanda, garantindo assim uma melhor integração de plantas renováveis no sistema elétrico.

Do ponto de vista de maturidade, esta tecnologia pode ser considerada madura no sentido de implementação em projetos, dado a vasta utilização no mundo todo. No entanto, ao que se refere a performance do modelo, pode-se considerar ainda em fase de desenvolvimento, existindo diversos estudos com foco no aperfeiçoamento do tempo de vida, melhoria nas condições de segurança e densidade de energia, por exemplo. Existem diferentes químicas para esta tecnologia, cada qual com suas características únicas de desempenho, tendo destaque atualmente as baterias de Lithium Iron Phosphate (LFP), Lithium Nickel Manganese Cobalt (NMC) e a de Lithium Titanete (LTO).

De modo geral, estas baterias consistem em um eletrodo positivo (que contém algum óxido metálico) e um eletrodo negativo (na maioria das vezes carbono), separados por material cerâmico. A Figura 11 apresenta o esquema de descarga de uma bateria íon-lítio.

Figura 11 - Esquema de descarga de uma bateria íon-lítio.

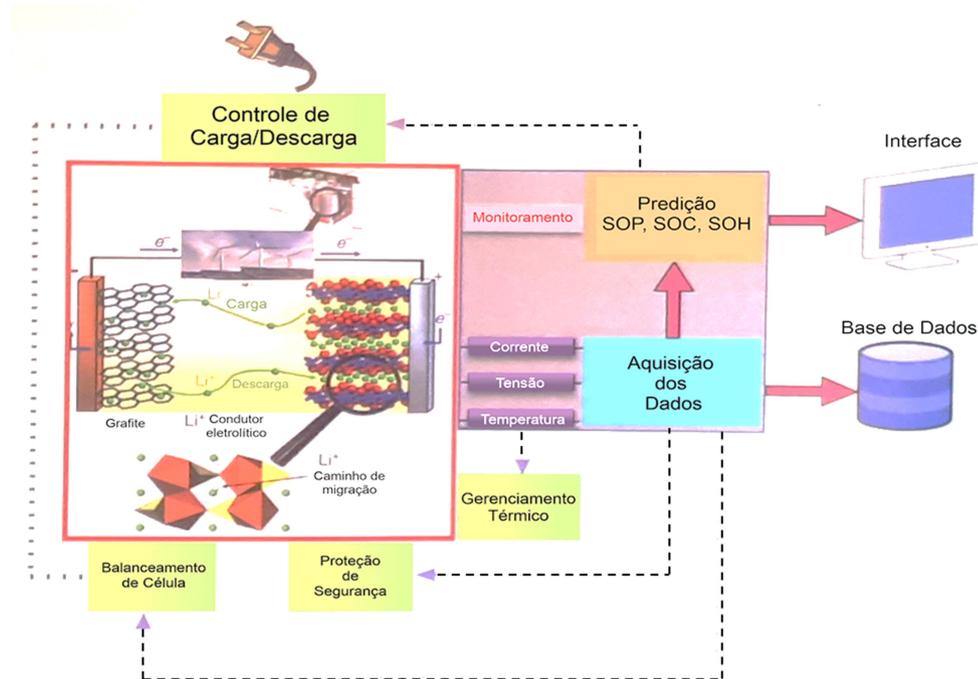


Fonte: Adaptada de (Hu *et al*, 2017).

Essas baterias, no entanto, possuem uma preocupação com estabilidade térmica que pode ser causada por sobrecarga, descarga ou condições externas de calor. Portanto, além da estrutura de armazenamento propriamente dita, as baterias requerem um sistema de gerenciamento, contemplando funções como controle de carga/descarga, proteções de segurança e gerenciamento térmico, por exemplo. A Figura 12 apresenta alguns elementos principais de um sistema de gerenciamento de bateria.

Estas tecnologias lideram o mercado de eletrônicos portáteis e VEs, bem como as aplicações no setor de energia, sobretudo, devido sua alta densidade energética (120-200 Wh/kg). Entretanto, é necessária uma redução de preço e uma padronização de produção para aplicações de larga escala. Essa queda de preço, já observada, tende a ser contínua e significativa nos próximos anos (Hu *et al*, 2017).

Figura 12 – Estrutura básica e funções principais de um sistema de gerenciamento de bateria.



Fonte: Adaptada de (Hu *et al*, 2017).

A Tabela 1 sintetiza algumas vantagens e desvantagens do grupo de baterias íon-lítio.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de baterias de íon-lítio

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none"> -Versatilidade -Alta densidade de energia em relação a outras tecnologias de bateria -Capacidade descarga em alta velocidade e potência -Excelente roundtrip eficiência -Vida útil relativamente longa -Baixa taxa de auto-descarga 	<ul style="list-style-type: none"> -Custo ainda elevado -Risco de Superaquecimento -Tecnologia não inteiramente madura -Eletrólito altamente inflamável (a ruptura pode provocar chamas)

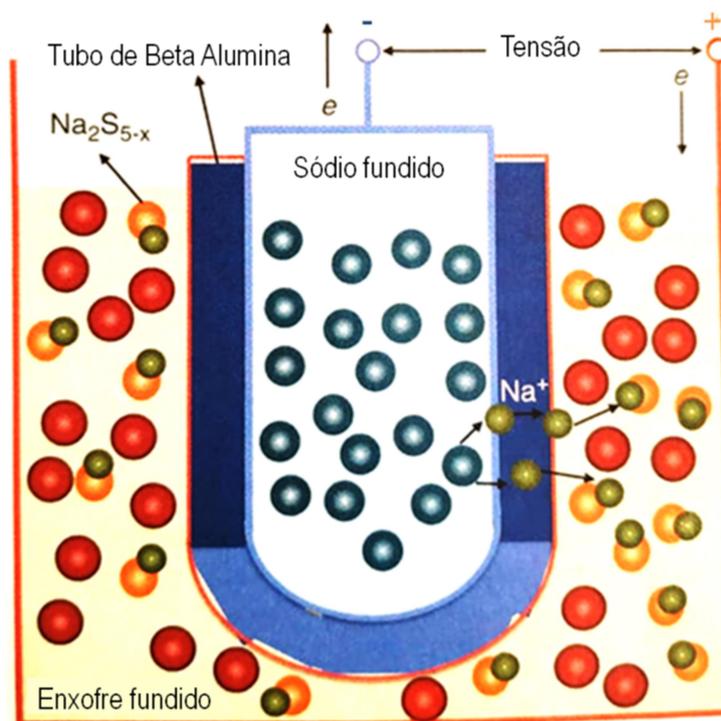
Fonte: Elaboração própria.

4.1.1.1.2 Baterias de Sódio-Enxofre

A bateria de sódio-enxofre (NaS) é composta por um ânodo (positivo) de enxofre fundido e um cátodo (negativo) de sódio fundido separados por uma cerâmica de alumina que serve como eletrólito. As reações internas tipicamente ocorrem acima dos 300 °C e um aquecedor externo é necessário para iniciar as reações. Essa bateria é utilizada como estabilizador em energias renováveis, muito por conta de suas impressionantes características tal como alta densidade energética (150-240 Wh/kg), eficiência de ida e volta (90%), longo

ciclo de vida (2500 - 4000) e tolerância ao calor (Hu *et al*, 2017). A Figura 13 apresenta a estrutura interna e princípio de operação de uma bateria NaS.

Figura 13 - Esquema de uma bateria NaS durante a operação de descarga



Fonte: Adaptada de (Hu *et al*, 2017).

Baterias deste tipo são utilizadas principalmente em aplicações estacionárias de armazenamento em larga escala. A Tabela 2 apresenta as vantagens e desvantagens do grupo de baterias de Sódio Enxofre.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens de baterias de sódio-enxofre

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
-Alta densidade de energia	-Custo elevado
-Baixa auto-descarga	-Requer altas temperaturas para operar
-Rápido tempo de resposta	-Preocupações quanto a temperatura de trabalho (não pode ser resfriada)
-Permite longos períodos de descarga	

Fonte: Elaboração própria.

4.1.1.1.3 Baterias de Chumbo-Ácido

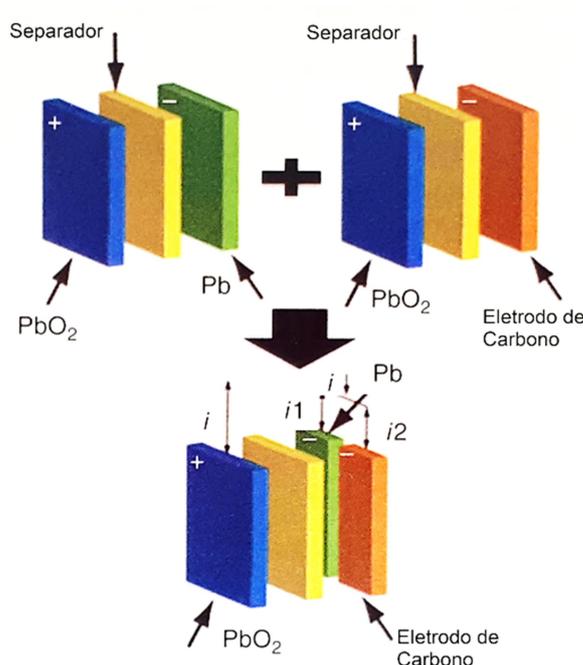
A bateria de chumbo ácido representa a tecnologia de armazenamento eletroquímico mais antiga do mercado, sendo bastante utilizada no setor automotivo, para funções de back-up, em torres de comunicação rurais e em algumas aplicações estacionárias de sistemas fotovoltaicos isolados de pequeno porte.

O baixo custo em relação ao desempenho frente as demais baterias garantiu sua uma ampla utilização ao longo dos anos de modo a ser hoje a tecnologia mais madura. De acordo com o U.S. Department Of Energy (DOE) até o início do segundo semestre de 2018 haviam cerca de 174 MW em projetos com baterias de chumbo ácido no mundo inteiro. Entretanto, a bateria de chumbo ácido possui desvantagens ambientais e técnicas que limitam suas aplicações, tal como um baixo ciclo de vida, baixa densidade de energia (o que faz com que elas sejam mais pesadas e requeiram um maior espaço de trabalho), ocorrência de corrosão devido as reações químicas, além de haver riscos relacionados a toxicidade do chumbo (APS, 2011) (IRENA, 2017).

Esta tecnologia se tornou bastante atrativa devido a maior simplicidade de suas reações químicas de carga e descarga: dentro da bateria existem dois eletrodos, um positivo e um negativo, geralmente feitos de dióxido de chumbo (PbO_2) e chumbo metálico (Pb) em uma estrutura esponjosa, respectivamente. Estes eletrodos, separados por uma membrana, são imersos em um eletrólito (que pode ser feito de uma solução aquosa de ácido sulfúrico), que durante os processos de carga e descarga permite que haja um fluxo de corrente no circuito. Há dois tipos principais de baterias de chumbo: Chumbo-ácido Ventiladas e Chumbo-Ácido de Válvula Regulada (Hu *et al*, 2017) (IRENA, 2017). A Figura 14 apresenta o esquemático de uma bateria de chumbo-ácido.

Dentre as principais desvantagens destes sistemas, pode-se citar a baixa densidade de energia e a necessidade de gerenciamento térmico, uma vez que em temperaturas baixas ou muito altas o desempenho é comprometido.

Figura 14 – Representação de uma bateria de chumbo-ácido



Fonte: (Hu *et al*, 2017)

A Tabela 3 apresenta as vantagens e desvantagens do uso de baterias de chumbo-ácido.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens de baterias de chumbo-ácido

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
-Baixo custo	-Curto ciclo de vida
-Alta confiabilidade	-Baixa densidade de energia
-Ampla produção e experiência operacioal	-Necessidade de gerenciamento térmico
-Possibilidade de armazenamento em grande escala	-Descarrega quando armazenada a longo prazo
-Bom desempenho de temperatura	
-Fácil carregamento	
-Reciclagem estabelecida e alta taxa de recuperação de materiais	

Fonte: Elaboração própria.

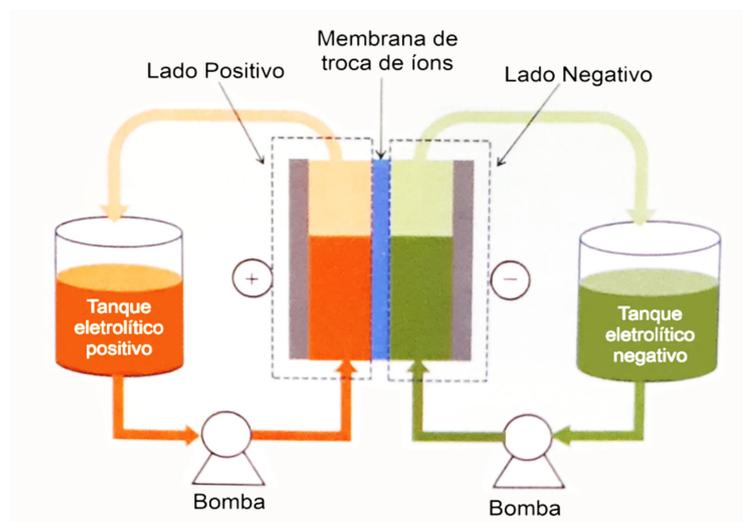
4.1.1.1.4 Baterias de Fluxo Reverso

Há diversos tipos de baterias de fluxo reverso (ou RFB, sigla para *Redox Flow Batteries*), sendo que a tecnologia que se mostrou mais promissora foi a *Vanadium Redox Battery* (VRB). Nestes sistemas tanto o eletrólito positivo quanto o negativo provém do

mesmo elemento (vanadium), o que permite que na ocorrência do decaimento da capacidade dos eletrólitos os íons ativos se cruzem e possibilitem sua recuperação.

Uma bateria de fluxo reverso é um tipo de dispositivo de armazenamento constituído de módulos de força e energia. O módulo de força é "uma pilha", que provê conversão de energia entre química e elétrica. A "pilha" é composta por múltiplas células para alcançar a demanda de energia, sendo metade das células negativas e positivas separadas por uma membrana que permite a troca de íons. O tanque de eletrólito constitui o módulo de energia, onde a energia química é armazenada no líquido eletrólito. A conversão de energia acontece quando o líquido do eletrólito é bombeado dos tanques para as células, onde a reação eletroquímica acontece nos eletrodos. A membrana previne que os eletrólitos se misturem e transporta os íons carregados por um caminho interno entre as células positivas e negativas (Hu *et al*, 2017). A Figura 15 apresenta o esquema de uma bateria de fluxo reverso.

Figura 15 – Representação do funcionamento de uma Bateria de Fluxo Reverso



Fonte: (Hu *et al*, 2017)

Devido o armazenamento externo de eletrólitos, pode-se ajustar a energia conforme especificidades da aplicação pretendida. Uma vez que não há mudanças morfológicas nos eletrodos, esses sistemas conseguem manter o desempenho ao longo da sua vida útil. Entretanto, há o alto custo de alguns materiais ativos ou elementos chave do sistema, como membrana ou vasos de armazenamento de eletrólitos, podendo gerar elevados custos de

manutenção. A Tabela 4 apresenta as vantagens e desvantagens desta tecnologia (IRENA, 2017).

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens de baterias de fluxo

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none"> -Permite ajuste de energia para aplicações específicas -Eficiência de conversão alta -Alta vida útil e durabilidade do ciclo 	<ul style="list-style-type: none"> -Manipulação química com potencial vazamento de soluções ácidas -Necessidade de sensores, e mecanismos de gerenciamento do bombeamento e fluxo -Altos custos de materiais e manutenção

Fonte: Elaboração própria.

4.1.1.1.5 Tecnologias promissoras

Há inúmeras tecnologias de armazenamento sendo desenvolvidas e ascensão da necessidade deste recurso tende a multiplicar ainda mais os projetos de investigação. Assim, ainda que muitas tipologias estejam em fase inicial de desenvolvimento ou pouco maduras - e seja difícil dizer qual irá prosperar de fato - algumas alternativas que tem se mostrado promissoras.

Um exemplo são as baterias de metal-ar, as quais utilizam oxigênio ou outras matérias primas do ar em composição com metais e tem sido visualizadas com otimismo, sobretudo, por apresentarem densidade de energia teórica superior as baterias de íon-lítio. Entretanto, ainda que a densidade de energia teórica destas baterias seja bastante animadora, na prática ainda não se conseguiu atingir estes valores. De modo geral, possuem um ânodo de metal (seja ele alcalino, como Li, Na e K, alcalino-terroso, como Mg, ou de transição, como Fe e Zn) e um cátodo poroso (para respiração do ar), dispostos em um eletrólito, que pode ser aquoso ou não aquoso, a depender da natureza do ânodo empregado (LI; LU, 2017). O princípio de funcionamento destes dispositivos se baseia em reações de redução do oxigênio nos poros de ar do cátodo - de modo semelhante ao que acontece nas células de hidrogênio.

Nas tipologias que utilizam um eletrólito aquoso (empregadas em aplicações com metais como Zn, Fe, Al e Mg), durante a descarga o metal é oxidado no ânodo e o oxigênio do ar do entorno é reduzido nas partículas do catalisador disposto no cátodo. Na recarga estas reações eletroquímicas são revertidas com metais banhados no ânodo e a evolução do oxigênio no cátodo. Aplicações deste tipo encontram-se mais desenvolvidas que aquela onde é utilizado um eletrólito não aquoso. Quanto a utilização de eletrólito não aquoso, a reação envolve uma redução inicial de um elétron de oxigênio na superfície do catalisador para

formar um ânion superóxido, que reage com um cátion de metal alcalino para formar um peróxido. Como esses superóxidos e peróxidos têm solubilidade limitada no eletrólito e acabam por se depositar no catodo, seu acúmulo resulta no bloqueio gradual da área disponível na superfície do cátodo, podendo eventualmente desligar a bateria. Assim, a capacidade de descarga de baterias metal-ar com eletrólito não aquoso é determinada pela capacidade de armazenamento do catodo de ar – sendo muito menor que o valor teórico (LI; LU, 2017).

4.1.1.2 *Electromecânico*

Sistemas deste tipo compreendem volantes de inércia (*Flywheels*) e o armazenamento de energia em ar comprimido (CAES, sigla para *Compressed Air Energy Storage*), com participações de 59% e 41%, respectivamente, geralmente empregados para finalidades de apoio a geração local, arranque autônomo (*Black Start*) e fornecimento de energia (IRENA, 2017).

O armazenamento em *flywheel* consiste em armazenar energia elétrica na forma de energia cinética através da utilização de motores para acelerar um *flywheel* para armazenar e desacelerar para distribuir. Sua eficiência gira em torno de 93%, porém é um armazenamento contínuo, o que significa que toda energia é perdida se nenhuma compensação por conta do atrito for aplicada ao sistema. Este sistema pode armazenar grande quantidade de energia e possui um tempo de resposta reduzido, todavia pode estar totalmente descarregado no período de até uma hora (CHEN *et al*, 2017).

A Tabela 5 apresenta as vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens de *Flywheels*

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
-Capacidades de carga rápida	-Densidade de energia baixa em comparação com baterias
-Ciclo de vida longo e sem degradação de capacidade	-Altas taxas de auto-descarga
-Densidade de alta potência, amplamente independente do nível de energia armazenada	-Necessidade de manutenção
-É necessária baixa manutenção	-Cargas dinâmicas inesperadas ou choques externos podem comprometer o sistema
-O estado da carga é fácil de determinar	
-Ampla experiência operacional	

Fonte: Elaboração própria.

O armazenamento de energia em ar comprimido consiste em armazenar ar comprimido em reservatórios utilizando energia elétrica quando a demanda for baixa. Considerado o único sistema de armazenamento viável para larga escala, além do bombeamento de água nos sistemas hidroelétricos. Atualmente os desafios estão em utilizar o calor gerado durante o processo de compressão e expansão. As tecnologias mais avançadas apresentam eficiência ao redor de 70% e as mais comuns em torno de 50% (IRENA, 2017).

A Tabela 6 apresenta as vantagens e desvantagens de CAES.

Tabela 6 - Vantagens e desvantagens de CAES

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
-Capacidades de armazenar grandes quantidades de energia	-Restrições geográficas para implementação -Tecnologia pouco madura -Emissão de CO ₂

Fonte: Elaboração própria.

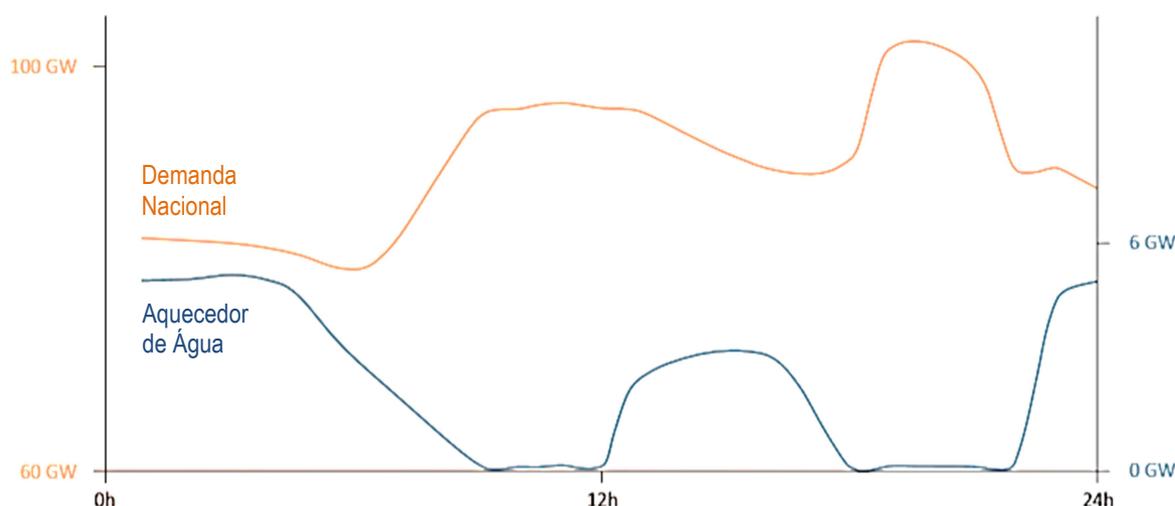
4.1.1.3 *Thermal Storage*

Tecnologias de Armazenamento de Energia Térmica (TES, em sigla para *Thermal Energy Storage*) baseiam-se na acumulação deste tipo de energia para uso posterior em aplicações de aquecimento ou refrigeração. Isto tem especial importância do ponto de vista residencial porque se reflete com expressividade na redução de picos de demanda de energia elétrica e na quantidade de calor atualmente desperdiçada no sistema de energia, visto que neste contexto é relevante a utilização da energia elétrica para fins de aquecimento e refrigeração e subutilizados os recursos de calor residual (em parte porque não se tem total conhecimento da quantidade e a qualidade dos recursos e da demanda de calor) (IEA, 2014b). Aliar sistemas de calor e energia pode aumentar a eficiência energética em quase 50% (WEC, 2019).

Em países como Nova Zelândia, Austrália e França, aquecedores elétricos de água são comuns em residências há décadas e tem favorecido o sistema elétrico como um todo. Ao permitir que o sistema de aquecimento seja controlado remotamente pela concessionária (ou empresa de distribuição em casos de liberalização do mercado), a demanda desses sistemas é usada para gerenciar o congestionamento local e reduzir o pico de demanda residencial. No caso da França, mais de um terço das famílias usam aquecedores elétricos de água equipados com um "medidor de 2 períodos", o que possibilita que esses aquecedores sejam usados como

recursos distribuídos de armazenamento térmico pelas concessionárias, além de permitir que os clientes respondam à estrutura de tarifa diferenciada para horário de pico. Curvas de carga demonstrando esta aplicação são apresentadas na figura 16. No inverno, estes sistemas são responsáveis por reduzir em cerca de 5% o pico da demanda de eletricidade (IEA, 2014b).

Figura 16 – Curvas de carga da França em uma semana fria de inverno



Fonte: (IEA, 2014b).

No Brasil, se considerado apenas o setor residencial, os gastos com aquecimento de água chegam a 24% do total de energia elétrica consumida. Sistemas de aquecimento de água por energia solar já se encontram consolidados no mercado do país, havendo diversas políticas de incentivo para sua implementação (PEREIRA et al, 2017). Em 2018, foram registradas 4,3 milhões de residências com coletores solares, o equivalente a 8,4 GWh de consumo de eletricidade evitados, sendo cerca de 1 milhão destas localizadas em habitações de interesse social (EPE, 2019). Entretanto, ainda não foram implementados sistemas de modo a permitir a interação com as concessionárias.

4.1.2 Arranjos Técnicos

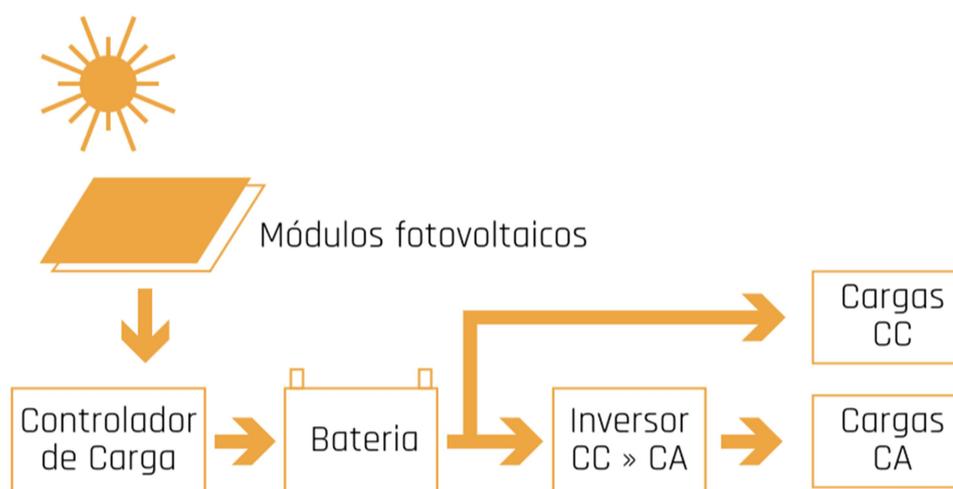
O local e forma de implantação da tecnologia de armazenamento individual depende dos serviços que essas tecnologias fornecerão para locais específicos no sistema de energia. Além disso, a introdução da rede inteligente e outras novas as tecnologias de infraestrutura de energia podem afetar o local ideal para as tecnologias de armazenamento no futuro (IEA,

2014b). Neste trabalho serão apresentados três arranjos usuais para disposição de sistemas residenciais de armazenamento de energia elétrica.

4.1.2.1 *Sistemas Isolados*

Diz-se sistemas isolados aqueles que não possuem qualquer conexão com a rede pública de energia elétrica sendo, portanto, autônomos no atendimento às cargas a ele conectadas. Em sistemas deste tipo que possuem armazenamento de energia a bateria desempenha o papel de armazenar energia nos momentos de geração (carga/recarga) e disponibilizá-la às cargas nas situações de intermitência – no caso da geração fotovoltaica, nos cenários de pouca ou nenhuma incidência solar. A instalação do sistema ocorre da maneira apresentada na Figura 17.

Figura 17– Sistema Fotovoltaico



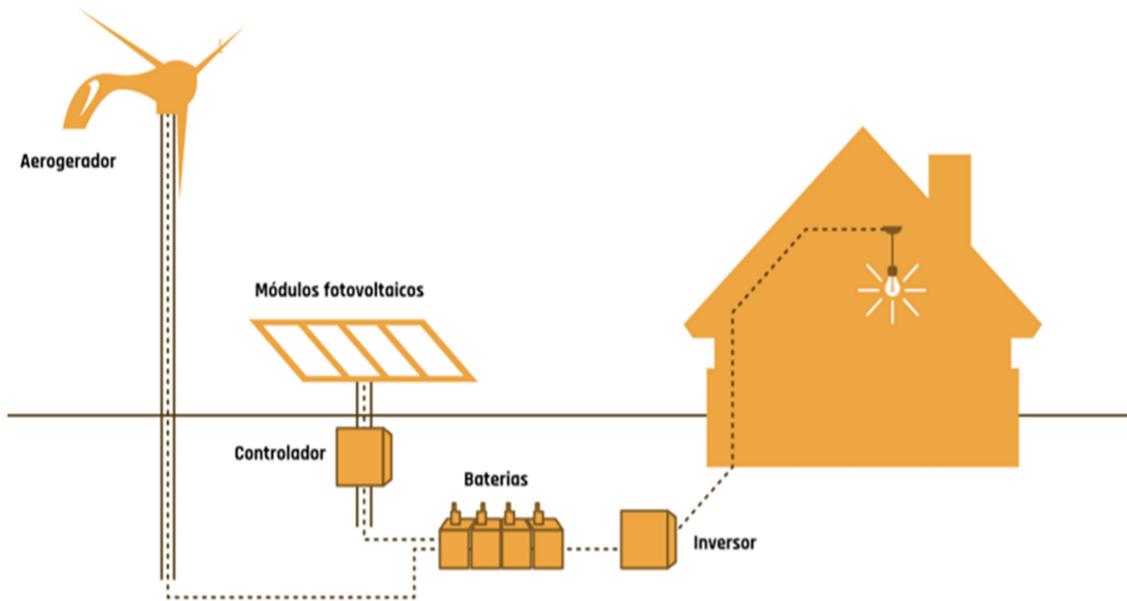
Fonte: (MELO, 2018).

Nota-se que, além dos módulos fotovoltaicos e da bateria, são também necessários controlador de carga e inversor, sendo que aquele tem a finalidade de regular o carregamento das baterias, enquanto este desempenha o papel de converter a tensão contínua (gerada pelos módulos fotovoltaicos) em tensão alternada.

Também pode haver sistemas híbridos, isto é, quando se utiliza mais de uma fonte de energia para geração. Neste sentido, a Figura 18 apresenta a disposição dos elementos em um sistema híbrido de energias solar e eólica em uma representação simplificada, ao passo que a

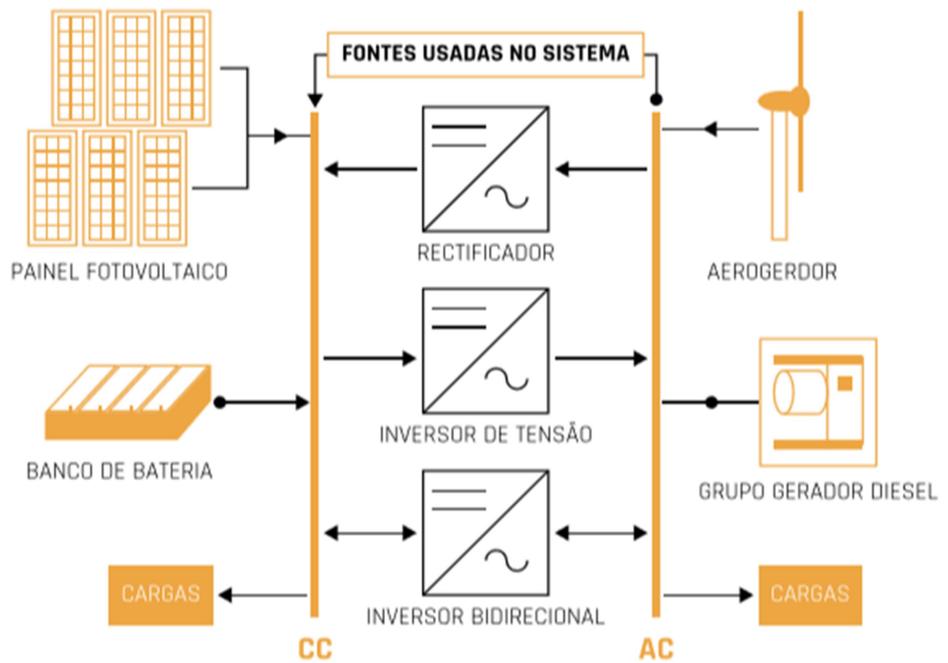
Figura19 apresenta a disposição dos elementos em um sistema híbrido de energias solar, eólica em conjunto com um grupo gerador diesel.

Figura 18 – Sistema Híbrido Solar-Eólica



Fonte: (MELO, 2018).

Figura 19 – Sistema Híbrido Solar-Eólica-Gerador Diesel

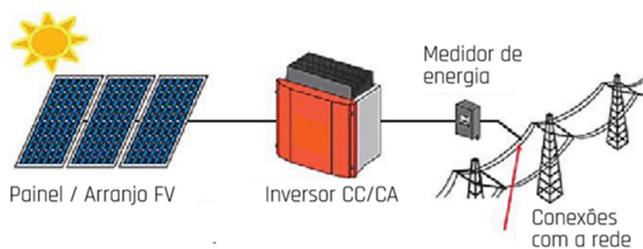


Fonte: (MELO, 2018).

4.1.2.2 *Sistemas Conectados a Rede*

No caso de sistemas em que há conexão com a rede pública de energia elétrica, há a necessidade de equipamento medidor de energia bidirecional, isto é, capaz de verificar tanto a energia consumida da rede quanto a energia gerada. A Figura 20 apresenta uma representação genérica de um sistema de geração fotovoltaica conectado a rede. Nesta situação a rede elétrica pública funciona como um grande armazenador, de modo que o sistema fotovoltaico alimenta as cargas e a geração excedente é enviada para a rede, ao passo que, nos cenários de pouca ou nenhuma incidência solar, as cargas utilizam energia elétrica proveniente da rede pública.

Figura 20 – Sistema Fotovoltáico Conectado a Rede



Fonte: (MELO, 2018).

A inserção de baterias nesta configuração ocorreria entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, acompanhadas de controlador de carga de maneira semelhante ao apresentado na Figura 17. Vale ressaltar que a disposição de armazenamento de energia elétrica em sistemas conectados a rede pública não é permitida atualmente no Brasil.

4.1.3 **Aplicabilidade**

São diversas as aplicações possibilitadas pelo uso de sistemas de armazenamento de energia, devendo-se observar aspectos técnicos, econômicos e ambientais para a escolha da tecnologia mais adequada para cada finalidade. Os usos/aplicações e termos citados ao longo deste trabalho serão apresentados a seguir, tendo como base as definições propostas em IEA (2014b).

Armazenamento sazonal: armazenar energia por dias, semanas ou meses a fim de compensar uma interrupção no fornecimento ou variabilidade nos lados da oferta e demanda do sistema de energia.

Arbitragem: possibilidade de armazenar energia de baixo preço (durante períodos de baixa demanda) e vendê-la posteriormente durante períodos de alto preço. Isso pode ocorrer em momentos de preço distintos no mesmo mercado ou entre dois diferentes mercados de energia. Isto também pode ser definido como “comércio de armazenamento”.

Regulação de frequência: balanceamento da oferta e demanda em constante mudança dentro de uma área de controle para que ela opere em condições normais. O gerenciamento geralmente é feito automaticamente, minuto a minuto (ou em tempo mais curto).

Balanceamento de carga: gerenciar as flutuações do sistema em um período de tempo (que pode variar de 15 minutos a 24 horas), a fim de assegurar a continuidade da operação em condições normais. Isto pode ser feito através de controle automático de geração ou manualmente.

Suporte de tensão: injeção ou absorção de energia reativa para manter os níveis de tensão no sistema de transmissão e distribuição em condições normais.

Black-start (“partida” ou “arranque autônomo”): permitir que os recursos de suprimento de eletricidade sejam reiniciados sem depender da energia elétrica da rede em situações de contingência ou colapso do sistema.

Alívio do congestionamento de T&D e adiamento do investimento em infraestrutura: utilizar o recurso de armazenamento para mudar temporariamente e/ou geograficamente o suprimento ou a demanda de energia, a fim de aliviar os pontos de congestionamento nas redes de transmissão e distribuição (T&D) ou adiar a necessidade de um grande investimento em infraestrutura.

Deslocamento de demanda e redução de pico: alterar a demanda de energia de modo a adequá-la à oferta de suprimento. Essas mudanças são facilitadas pela alteração do horário ou espaço em que determinadas atividades ocorrem e podem ser usadas diretamente para reduzir o nível máximo (de pico) de demanda de energia.

Off-grid (sem (ou fora da) rede elétrica): Trata-se de aplicações sem conexão com a rede elétrica, utilizando sistemas de armazenamento para garantir suprimentos confiáveis de energia e para dar suporte ao uso de recursos locais, preencher lacunas entre recursos variáveis de oferta e demanda.

Integração de recursos de fornecimento variável/intermitente: utilização de armazenamento para dar suporte a produção de energia a partir de recursos variáveis/intermitentes, como, por exemplo, vento e sol, mitigando mudanças rápidas e sazonais na produção e cobrindo as lacunas temporais e geográficas entre oferta e demanda.

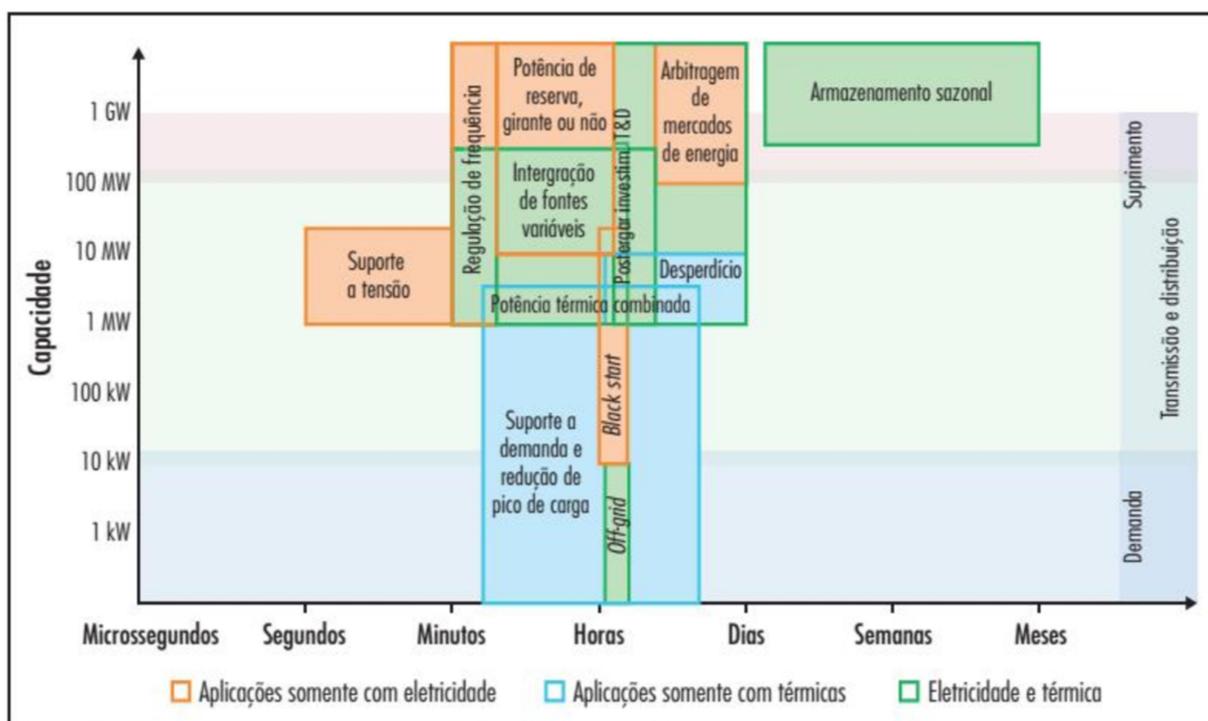
Calor e energia combinados: utilização de armazenamento em instalações combinadas de calor e eletricidade, a fim de cobrir lacunas temporais entre a demanda elétrica e térmica.

Reserva girante e não girante: capacidade de reserva para o suprimento de eletricidade, utilizada, por exemplo, para compensar uma perda rápida e inesperada nos recursos de geração a fim de manter o sistema equilibrado. Essa capacidade de reserva é classificada de acordo com o tempo de resposta como girante (ou circulante) e não girante. Observa-se que tempos de resposta mais rápidos geralmente são mais valiosos para o sistema.

Uma abordagem possível é discutir estes diversos usos de tecnologias de armazenamento de eletricidade em termos de potência versus energia, sendo as aplicações de potência aquelas que exigem uma alta potência em um período de tempo relativamente curto (por exemplo, segundos ou minutos), ao passo que as aplicações de energia exigem descarga de muitos minutos a várias horas na (ou perto da) potência nominal do sistema de armazenamento (IEA, 2014b).

A Figura 21 relaciona a potência e a duração da descarga requerida por algumas aplicações.

Figura 21 – Relação de capacidade e duração da descarga para aplicações de sistemas de armazenamento



Fonte: Adaptada de (IEA, 2014b).

No que se refere aos sistemas residenciais, observa-se interesse, sobretudo, nas aplicações off-grid e de suporte a demanda e redução de pica de carga.

As diversas aplicações possíveis podem ser divididas entre aquelas implementadas na rede, seja de transmissão ou distribuição, e as que estão atrás do medidor, junto ao usuário final. A Tabela 7 sintetiza as possibilidades de serviço associada a estes segmentos, com destaque (em laranja) para o que contempla sistemas residenciais.

Tabela 7 – Serviços e Aplicações de Armazenamento

Segmento	Serviços	Aplicação
Em frente ao medidor	Serviços “a granel”	Arbitragem Deslocamento de demanda Capacidade de suprimento Corte de picos
	Serviços ancilares	Regulação de frequência Suporte de tensão Partida (<i>Black-Start</i>) Reservas girante e não girante Balanceamento de carga
	Suporte de Rede (T&D)	Serviços de transmissão (postergação de melhorias/investimentos e alívio de congestionamento) Serviços de distribuição (Postergação de melhorias/investimentos e suporte de tensão) Deslocamento de Picos
	Energias Renováveis	Deslocamento no tempo de disponibilidade de energia Capacidade firme renovável Integração com a rede de energia
Atrás do medidor	Serviços de Gerenciamento pelo Usuário	Qualidade e confiabilidade Gerenciamento de Contas Deslocamento/Gerenciamento de demanda Corte de Picos Aumento do Autoconsumo PV Sistemas independentes

Fonte: Adaptada de (WEC, 2019) (IRENA, 2015a).

Observa-se que as aplicações associadas a energias renováveis proporcionam os benefícios acima expostos tanto em aplicações em frente quanto atrás do medidor.

De modo geral, em função das particularidades e desempenho necessário em cada aplicação, há parâmetros típicos nas tecnologias empregadas para determinadas finalidades.

Quanto a isso, a Tabela 8 apresenta algumas características chave para aplicações de armazenamento de energia.

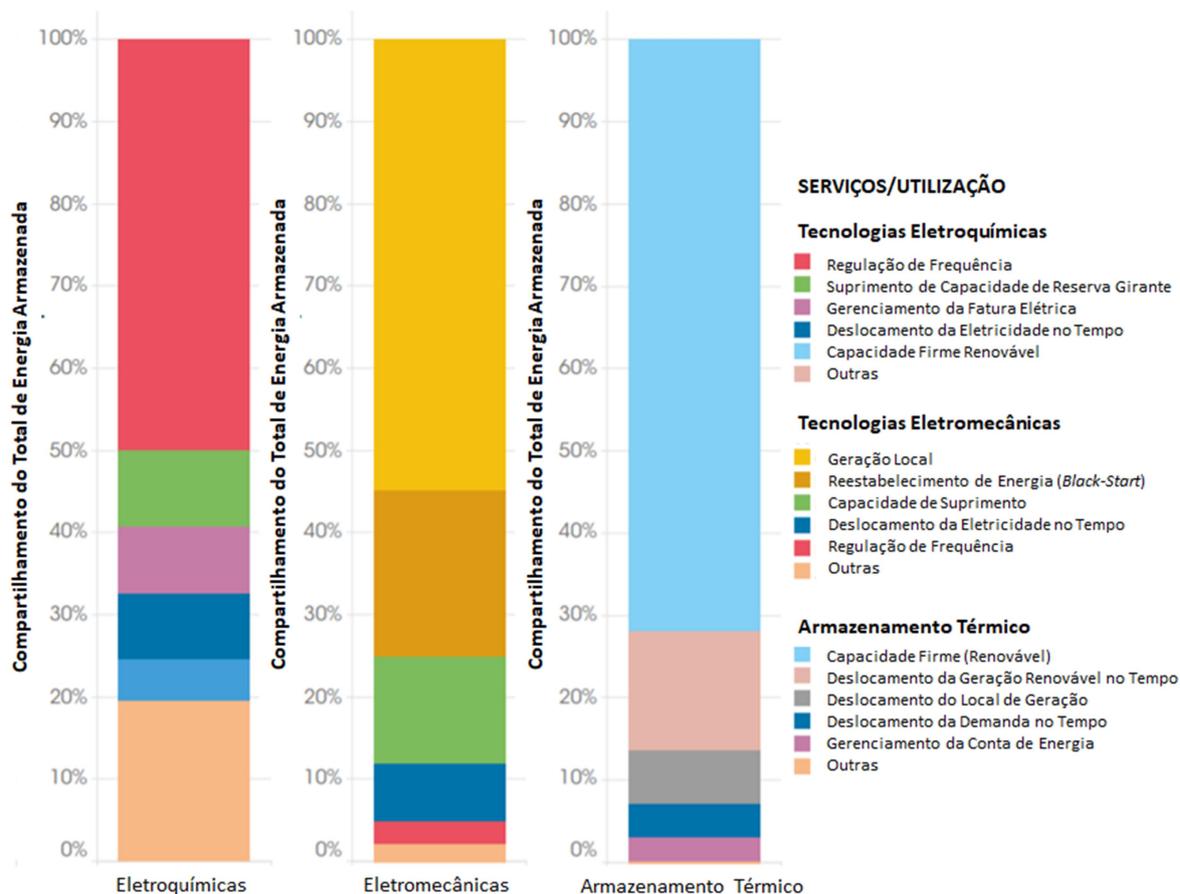
Tabela 8 - Características chave de sistemas de armazenamento para aplicações específicas no sistema de energia.

Aplicação	Tipo de Armazenamento	Capacidade (MW)	Duração da Descarga	Ciclos (típico)	Tempo de Resposta
Armazenamento Sazonal	Elétrico ou térmico	500 a 2000	Dias a meses	1 a 5 por ano	Dia
Arbitragem	Elétrico	100 a 2000	8 a 24 horas	0,25 a 1 por dia	>1 hora
Regulação de Frequência	Elétrico	1 a 2000	1 a 15 min	20 a 40 por dia	1 min
Balanceamento de Carga	Elétrico ou térmico	1 a 2000	15 min a 1 dia	1 a 29 por dia	<15 min
Suporte de Tensão	Elétrico	1 a 40	1 s a 1 min	10 a 100 por dia	Milissegundo a segundo
<i>Black-Start</i>	Elétrico	0,1 a 400	1 a 4 horas	<1 por ano	<1 hora
Alívio de Congestionamento (T&D)	Elétrico ou térmico	10 a 500	2 a 4 horas	0,14 a 1,25 por dia	>1 hora
Postergação de Investimentos na Infraestrutura (T&D)	Elétrico ou térmico	1 a 500	2 a 5 horas	0,75 a 1,5 por dia	<1 hora
Redução de Pico e Deslocamento de Demanda	Elétrico ou térmico	0,001 a 1	Minutos a horas	1 a 29 por dia	<15 min
Fora da Rede	Elétrico ou térmico	0,001 a 0,01	3 a 5 horas	0,75 a 1,5 por dia	<1 hora
Integração de Recursos de Geração Intermitente	Elétrico ou térmico	1 a 400	1 minuto a horas	0,5 a 2 por dia	<15 min
Combinação Calor-Eletricidade	Térmico	1 a 5	Minutos a horas	1 a 10 por dia	<15 min
Reserva Girante e não girante	Elétrico	10 a 2000	15 min a 2 horas	0,5 a 2 por dia	<15 min

Fonte: Adaptada de (IEA, 2014).

No que diz respeito à aptidão das tipologias de armazenamento para as diferentes finalidades, a Figura 22 apresenta os usos globais de cada grupo de tecnologias de armazenamento verificados em 2017.

Figura 22 – Finalidade de Utilização das Tecnologias de Armazenamento Eletroquímico, Eletromecânico e Térmico



Fonte: Adaptada de (IRENA, 2017).

4.1.3.1 *Em frente ao medidor*

Implementação de armazenamento na rede elétrica pode dar-se tanto na porção relativa a transmissão como a distribuição, além de serviços ancilares – que são aqueles complementares aos serviços principais de geração, transmissão, distribuição e comercialização. Neste sentido, o armazenamento de energia permite o uso do recurso para suavizar picos e melhorar a qualidade da energia, além de possibilitar aplicações de nivelamento e deslocamento de carga. Quando empregada em serviços ancilares - como regulação de frequência, suporte de tensão, *black-start* e reserva girante, por exemplo - o

armazenamento de energia possibilita o adiamento de investimentos na infraestrutura das redes, tanto na transmissão quanto na distribuição, uma vez que contribui para o alívio do congestionamento nestas redes – métodos não tradicionais que tem sido chamados de “*non-wire alternatives*”. Estas aplicações proporcionam o aumento da confiabilidade e resiliência da rede. Dentre as diversas tipologias de sistemas de armazenamento, as baterias possuem tempo de resposta rápido e fácil escalabilidade, sendo o segmento mais promissor para atender a estes serviços (APS, 2011) (IRENA, 2017b) (EPE, 2018).

No Brasil, o primeiro sistema de armazenamento de energia com bateria de lítio aplicado ao Sistema Interligado Nacional foi inaugurado em agosto de 2018 pela AES-Tietê. Composto de um armazenamento de 161 kW, o sistema tem arquitetura modular, expansível a 1 MW. O projeto foi implementado com recursos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL e contou com um investimento na ordem de R\$ 2,5 milhões (ANEEL, 2018).

4.1.3.2 *Atrás do Medidor*

Em aplicações junto ao usuário final, sistemas de armazenamento de energia são geralmente associados a geração distribuída, possibilitando o aumento do consumo da energia gerada no local ou permitindo que o seu despacho ocorra no momento mais oportuno (não necessariamente acompanhando a demanda), como, por exemplo, no momento em que a tarifa é mais onerosa. Em ambos os casos, visa-se o gerenciamento da conta de energia. Entretanto, no Brasil, conexões deste tipo (*on grid*) ainda não foram regulamentadas.

Ainda que, por hora, a aquisição destes sistemas tenha um custo elevado para usuários privados, a demanda por energias “verdes” tem encorajado uma parcela destes agentes. Em exemplo a isto, na Alemanha, entre 2013 e 2016 foram instalados mais de 55.000 sistemas de bateria fotovoltaica, com capacidade acumulada de quase 300 MWh. Austrália, Itália e Estados Unidos também se mostram como mercados promissores para este tipo de aplicação (IRENA, 2017b).

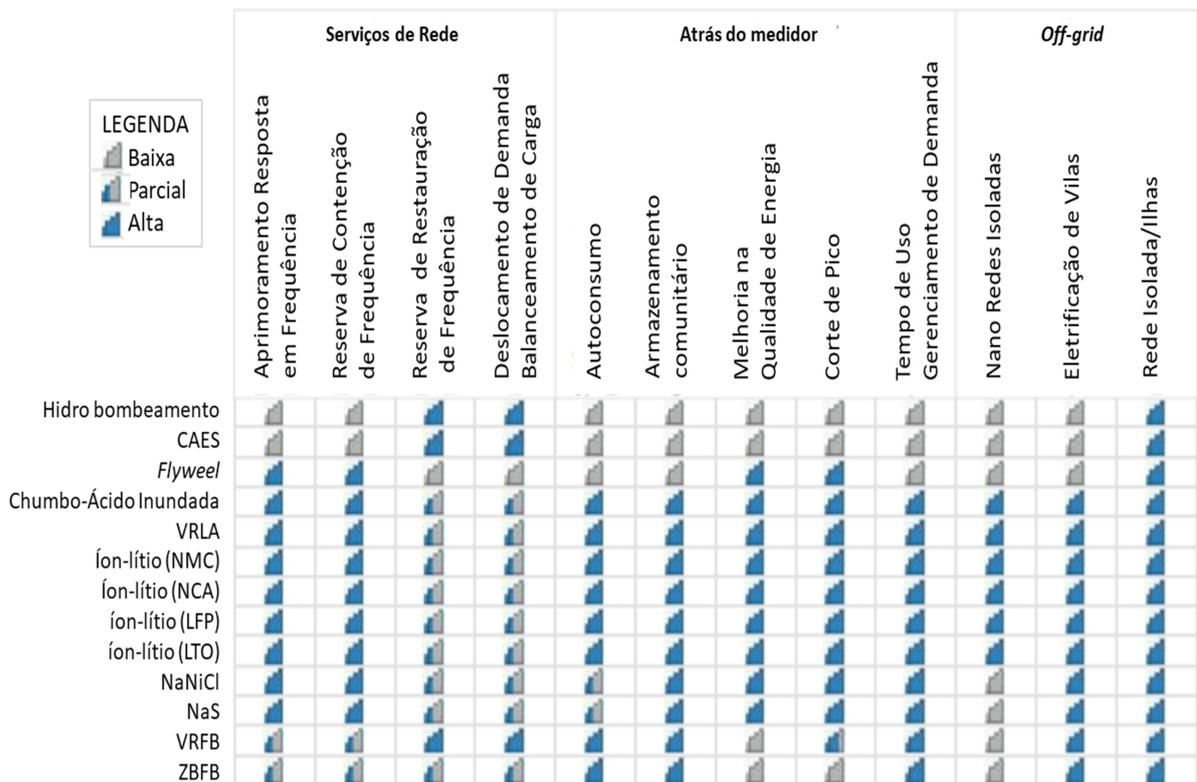
Cabe ressaltar que, além dos benefícios diretos ao consumidor, estas aplicações podem oferecer confiabilidade suficiente para os operadores do sistema em situações extremas se estiverem em locais ideais e forem operados estrategicamente. Tal fato pode inclusive reduzir o custo sistêmico de atendimento à demanda, fazendo com que possivelmente usinas mais caras não precisem ser acionadas, e substituindo ou postergando investimentos convencionais em infraestrutura (MIT, 2016 at EPE, 2018).

4.1.3.3 *Off-grid*

Fazendas remotas e minas muitas vezes não estão conectadas à rede, de modo que a utilização de sistemas de armazenamento pode ser um elemento chave para a produção e consumo de energia de fontes limpas nestes locais.

A Tabela 9 relaciona as tecnologias de armazenamento com seu grau de aptidão para aplicações em serviços de rede, aplicações atrás do medidor bem como aplicações *off-grid*. Podemos observar que algumas tecnologias, sobretudo as baterias, são pertinentes para aplicações em diversos segmentos. Este é um ponto extremamente positivo porque possibilita o empilhamento de funções (um mesmo elemento desempenhar mais de um papel/utilidade), otimizando o aproveitamento do armazenamento e favorecendo a viabilidade destes sistemas.

Tabela 9 - Aptidão de diferentes tecnologias de armazenamento para aplicações em serviços de rede, aplicações atrás do medidor e *off-grid*.



Abreviações: CAES = Ar comprimido (*compressed air energy storage*); VRLA = chumbo-ácido de válvula regulada; NMC = óxido de níquel, manganês e cobalto; NCA = óxido de níquel, cobalto e alumínio; LFP = ferrosfosfato de lítio; LTO = lítio e titânio; NaNiCl = cloreto sódio-níquel; NaS = sódio-enxofre; VRFB = bateria fluxo redox de vanadium; ZBFB = bateria de fluxo zinco bromo.

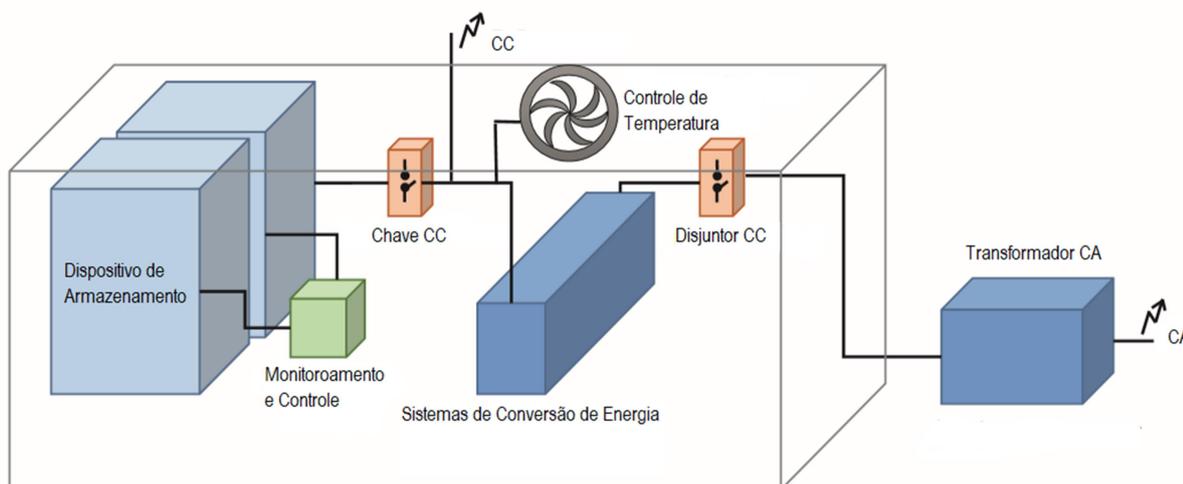
Fonte: Adaptada de (IRENA, 2017).

4.1.4 Outras Tecnologias de Interesse

Ainda que de modo geral se discuta as tecnologias de armazenamento limitadas ao dispositivo de armazenamento propriamente dito, um sistema de armazenamento possui também outros componentes que são imprescindíveis para uma operação adequada, como sistemas de monitoramento e controle (referentes ao gerenciamento da bateria) e de conversão de energia (como um inversor bidirecional que suporte fluxos da bateria (CC) para a rede (CA) e vice-versa, por exemplo). Também pode haver componentes eletrônicos de comunicação externa – com a concessionária local, por exemplo. No caso do sistema de gerenciamento, isto desempenha papéis de segurança e desempenho, como controlar a carga e descarga e evitar a sobrecarga de células, por exemplo. Naturalmente, cada tipologia de bateria tem requisitos de gerenciamento diferentes conforme suas especificidades (IRENA, 2015a).

A Figura 23 ilustra um sistema de armazenamento e seus componentes primários.

Figura 23 – Sistema de armazenamento e seus componentes primários



Fonte: (EPRI and DOE, 2013 *apud* IRENA, 2015a).

Também há outros equipamentos e tecnologias que precisam progredir de modo alinhado ao desenvolvimento e utilização dos sistemas de armazenamento, como medidores bidirecionais, inversores híbridos (e controladores de carga), sistemas de comunicação entre os elementos da rede elétrica e outras aplicações que podem favorecer a evolução do armazenamento residencial, como veículos elétricos e uso de baterias para outras finalidades. Na Coreia do Sul, onde a capacidade instalada cresceu de forma mais acentuada do que no

resto do mundo, com destaque importante para aplicações atrás do medidor, além da reforma regulatória e dos incentivos governamentais, o medidor foi citado com um fator importante para esta evolução (Byuk-Keun Jo, 2019 *apud* WEC, 2019).

No que diz respeito aos veículos elétricos, cuja maior demanda futura por armazenamento elétrico está vinculada a esta aplicação, há a possibilidade de reaproveitar estas baterias reutilizando no setor de energia, sendo um fator que impulsiona também a evolução dos sistemas de armazenamento residencial (IEA, 2019). As estações de carregamento podem permitir o fluxo bidirecional de eletricidade, o que possibilita que veículos elétricos participem de serviços ancilares da rede (como regulação de frequência, deslocamento de carga ou resposta a demanda, por exemplo) ou suporte ao gerenciamento de energia em residências, sobretudo associada à geração de energia solar fotovoltaica (IRENA, 2015).

Também, é imprescindível a evolução tanto de métodos de aquisição e processamento de dados, bem como estratégias que garantam a segurança da privacidade dos usuários (EPE, 2018).

4.2 ASPECTOS LEGAIS E GOVERNAMENTAIS

Esta sessão busca apresentar a atual estrutura do setor elétrico brasileiro, bem como as atuais regulamentações e incentivos no que se refere ao armazenamento de energia elétrica.

4.2.1 Modelo do Setor Elétrico Brasileiro

A estrutura de governança do setor elétrico brasileiro é encabeçada pelo Ministério de Minas e Energia (MME), instituído no país pela Lei Nº 3.782/1960 - extinto em 1990 e recriado dois anos depois pela Lei Nº 8.422/1992, é responsável pelo planejamento, gestão e desenvolvimento da legislação do setor, bem como pela supervisão e controle da execução das políticas direcionadas ao desenvolvimento energético nacional. Presidido por este Ministério está o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) que, criado pela Lei Nº 9.478/1992, orienta a política energética no sentido de assegurar a estabilidade do suprimento. Também estão vinculados ao MME a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), instituída pela Lei Nº 10.847/2004 e pelo Decreto Nº 5.184/2004 com a finalidade de realizar estudos e pesquisas que norteiem o planejamento do setor energético e o seu desenvolvimento, e o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), instituído pelo Decreto Nº 5.175/2004 para

monitorar e avaliar o setor eletroenergético do país. Esta estrutura é esquematizada na Figura 24.

Figura 24 – Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro



Fonte: Adaptada de (ANEEL, 2019).

Compõe também esta estrutura a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma autarquia em regime especial vinculada ao MME instituída pela Lei nº 9.427/1996 e Decreto nº 2.335/1997 que desempenha tanto a função de regular o sistema elétrico desde a geração até a comercialização da energia elétrica, como de autorizar e fiscalizar concessões, permissões e serviços associados a isso. Assim, este órgão é responsável por implementar as políticas e diretrizes do governo federal bem como mediar, na esfera administrativa os conflitos entre agentes, consumidores e governo. No que se refere a regulação, a emissão de despachos e resoluções normativas são precedidas por consultas e audiências públicas.

Quanto a fiscalização, a Agência monitora índices de fornecimento preestabelecidos relacionados a qualidade do produto e do serviço de energia elétrica, bem como observa aspectos contábeis das concessionárias e o andamento de obras de infraestrutura. A ANEEL pode também assinar convênios de cooperação com agências reguladoras estaduais, descentralizando suas atividades. Vinculados a ANEEL estão o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) - instituído pela Lei Nº 9.648/1998 e Decreto 2.655/1998, responsável por

operar o Sistema Interligado Nacional (SIN) e administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica – e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) – instituída pela Lei Nº 10.848/2004 e Decreto Nº 5.177/2004, que opera o mercado brasileiro de energia elétrica. Esta última, uma instituição privada sem fins lucrativos, tem a ela associadas todas as empresas que atuam na comercialização de energia no Brasil (ANEEL, 2009).

No que se refere à compra e venda de energia, o atual modelo do setor elétrico brasileiro, implantado pelas Leis Nº 10.847/2004 e 10.848/2004 e pelo Decreto Nº 5.163/2004 e em vigência desde 2004, está estruturado em dois ambientes de negociação: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). No primeiro, a compra de energia ocorre por meio de leilões realizados pela CCEE por delegação da ANEEL, onde, pelo critério de menor tarifa, as distribuidoras compram das geradoras a energia a ser repassada aos consumidores cativos. No segundo, a negociação tem preços livres e ocorre entre geradores, distribuidores, comercializadores, importadores bem como consumidores livres ou especiais – nestes últimos, enquadram-se hospitais, universidades, empresas e organizações com alto consumo. Observa-se que é exigida a contratação da totalidade da demanda por parte das distribuidoras e dos consumidores livres, bem como a contratação de usinas de diferentes fontes (hidrelétricas, termelétricas, eólica, etc.) “em proporções que assegurem melhor equilíbrio entre garantia e custo de suprimento, bem como o monitoramento permanente da segurança de suprimento” (CCEE, 2019). Além disso, há ainda o Mercado de Curto Prazo, cuja finalidade é ajustar as diferenças entre o volume de energia contratado e o volume de energia medido, havendo um mecanismo de compensação de sobras e déficits (CCEE, 2019) (CCEE, 2009).

Por promoverem diversos benefícios ao sistema elétrico como um todo devido à sua funcionalidade múltipla, como exposto na seção 4.1, os sistemas de armazenamento de eletricidade desafiam regulação convencional. Por extrapolar a tradicional segregação entre geração, transmissão e distribuição, e usuário final, muitos países tem alocado agentes de armazenamento como um setor a parte, que interage com os demais (IRENA, 2015).

Consequências para o Planejamento

No Brasil, estudos de planejamento energético são desenvolvidos e divulgados pela EPE e, para o longo prazo, são apresentadas em documentos como o Plano Decenal de Expansão. O planejamento adequado do setor energético passa pela análise da geração,

transmissão e distribuição, cabendo a consideração de variáveis não só técnicas, mas também macroeconômicas, demográficas, diversidade regional de estruturas socioeconômicas, hábitos de consumo e diversos horizontes de planejamento.

Por certo que este estudo considera inúmeras incertezas, e neste sentido o aumento de RED implica em uma maior incerteza tanto no que diz respeito a demanda, bem como a própria matriz energética. Entretanto, o propósito de um cenário não é de acertar o futuro, mas organizar, sistematizar e delimitar as incertezas, explorando os pontos de mudança ou manutenção dos rumos de uma dada evolução de situações. Nota-se que os cenários considerados podem ou não se concretizar, de modo que o planejamento deve ser entendido como um processo contínuo. Uma vez que a expansão de RED incide diretamente no planejamento da expansão do sistema elétrico, considerações mais infladas que a realidade reflete em gastos desnecessários, ao passo que a subestimação desta evolução pode acarretar problemas técnicos que comprometam a operação adequada do sistema ou encarecer custos de suprimento. Também, cabe considerar que há uma maior participação dos clientes no setor energético, além da necessidade de atualização de modelos comportamentais (EPE, 2018).

A Figura 25 apresenta alguns aspectos importantes para o planejamento nesta nova configuração do sistema onde há mais RED.

Figura 25 – Aspectos do planejamento em um cenário com mais REDs



Fonte: (EPE, 2018).

Neste contexto de transição e expansão dos RED, torna-se necessária uma maior interface do planejamento da geração e transmissão com as redes de distribuição, o que exige diversos avanços ferramentais e metodológicos (EPE, 2018).

Tarifas de Energia

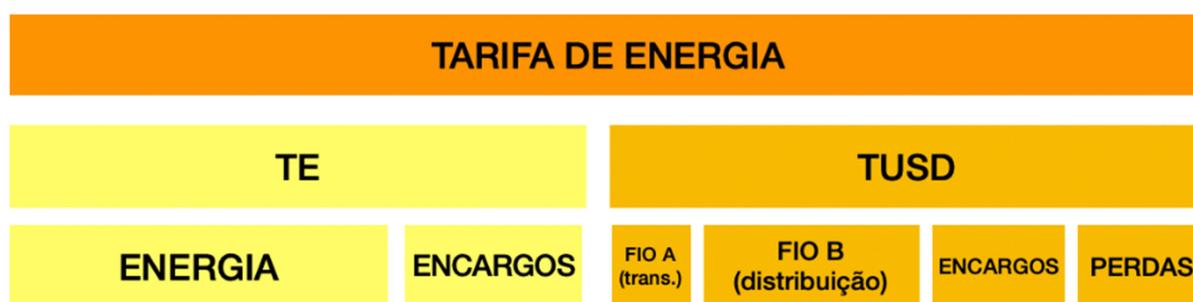
Os consumidores de energia elétrica estão divididos entre dois grupos, denominados A e B, sendo o grupo “A” composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV; b) subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV; c) subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV; d) subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV; e) subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e f) subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.; ao passo que o grupo “B” é composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo B1 – residencial; b) subgrupo B2 – rural; c) subgrupo B3 – demais classes; d) subgrupo B4 – Iluminação Pública. Destaca-se que a classe de interesse neste trabalho, residencial, está enquadrada no Grupo B, nos subgrupos B1 e B2 (ANEEL, 2010).

As tarifas de energia são aplicadas de acordo com o tipo de usuário, o grupo e subgrupo, classe e subclasse e a modalidade tarifária a que estiver enquadrada a unidade consumidora. Neste sentido, são previstas que as unidades consumidoras devem ser classificadas de acordo com a atividade comprovadamente exercida, a finalidade de utilização da energia elétrica e o atendimento aos critérios para enquadramento em uma das seguintes classes tarifárias: I - residencial; II - industrial; III - comércio, serviços e outras atividades; IV - rural; V - poder público; VI - iluminação pública; VII - serviço público; e VIII - consumo próprio. Observa-se que na classe residencial consideram-se as seguintes subclasses: I – residencial; II – residencial baixa renda; III – residencial baixa renda indígena; IV – residencial baixa renda quilombola; V – residencial baixa renda benefício de prestação continuada da assistência social – BPC; e VI – residencial baixa renda multifamiliar (ANEEL, 2010).

Atualmente a tarifa de energia elétrica paga pelos consumidores é formada por dois componentes: a Tarifa de Energia (TE), que se refere ao valor da energia gerada, isto é, a

energia elétrica propriamente dita; e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), onde é cobrado tanto as parcelas referentes aos serviços de transmissão (“fio A”) e distribuição (“fio B”), quanto as perdas técnicas e não técnicas. Além disso, também incide sobre a tarifa os encargos setoriais e tributos – estes últimos, existentes tanto a nível federal (como PIS – Programa de Integração Social e COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social), quanto estadual (ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) e municipal (Contribuição para Iluminação Pública). Esta composição é apresentada na Figura 26.

Figura 26 – Composição Tarifária



Fonte: (ANEEL, 2019).

No que se refere aos custos de geração, desde 2015 é empregado o Sistema de Bandeiras Tarifárias a todos os consumidores cativos conectados ao SIN, de modo a sinalizar as condições de geração de cada mês considerando três circunstâncias: a) condições favoráveis, sinalizadas pela bandeira verde, onde não há acréscimo no valor da fatura; b) condições menos favoráveis, sinalizadas pela bandeira amarela e quando se aplica um acréscimo de R\$ 0,01343/kWh consumido; c) condições desfavoráveis/custosas, sinalizadas pela bandeira vermelha e diferenciadas em dois patamares, onde o primeiro incide um acréscimo de R\$ 0,04169/kWh consumido, ao passo que o segundo reflete um acréscimo de R\$ 0,06243/kWh consumido. No valor final da energia elétrica pago pelos consumidores cativos, atualmente cerca de 29,5% são tributos, enquanto 53,5% referem-se a compra de energia, transmissão e encargos, sendo os 17% restantes referentes ao serviço de distribuição de energia (ANEEL, 2019).

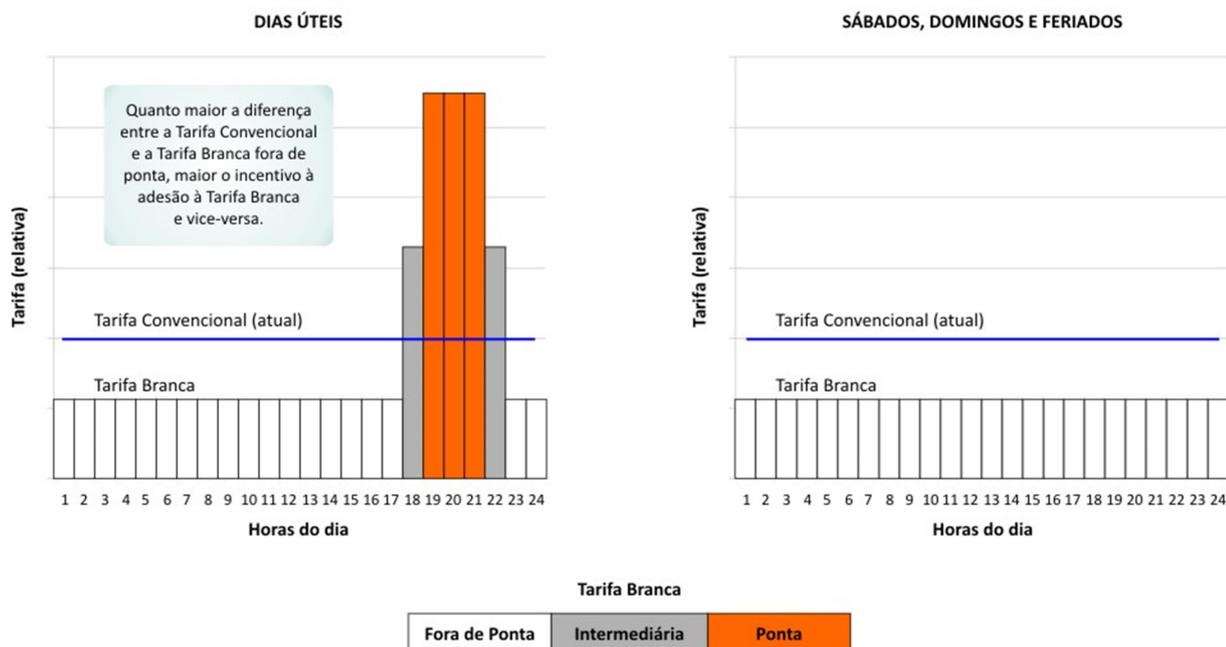
Há atualmente cinco estruturas tarifárias, aplicadas conforme classe de tensão dos consumidores, demanda de potência e, em alguns casos, adesão voluntária. Entretanto, este trabalho se limitará a discutir somente as tarifas aplicáveis aos consumidores do Grupo B, a saber, a tarifa monômnia convencional e tarifa branca. Entretanto, cabe ressaltar que há um

forte movimento de portabilidade da fatura de consumidores residenciais para o mercado livre de energia, uma vez que vem ocorrendo à redução dos limites de acesso de modo que consumidores com demanda cada vez menor passam a ter essa possibilidade (ANEEL, 2019a) (ANEEL, 2018a).

A tarifa convencional monômnia, composta da maneira supracitada e cobrada sem diferenciação de valores durante as horas do dia, contemplava, até 2017, todos os consumidores do Grupo B. Entretanto, conforme Resolução Normativa 733/2016, desde 1º de janeiro de 2018 as unidades consumidoras com média anual de consumo mensal superior a 500 kWh puderam aderir a tarifa branca, ao passo que unidades consumidoras com média anual de consumo mensal superior a 250 kWh puderam migrar a partir de 1º de janeiro de 2019 e as demais unidades consumidoras a partir de 1º de janeiro de 2020. Estão excluídos desta possibilidade tarifária as unidades consumidoras enquadradas na subclasse baixa renda da classe residencial ou que sejam do tipo iluminação pública, bem como as unidades consumidoras que façam uso do sistema de pré-pagamento (ANEEL, 2016). A nova tarifa, que propõe valores diferenciados em função dos horários e dias da semana, busca desestimular o consumo em horários onde há maior demanda de energia, chamado horário de ponta, e incentivar o deslocamento desta carga para os horários em que a rede elétrica está subutilizada. Nesse sentido, a diferenciação se dá entre horários de ponta – onde o valor praticado supera o da tarifa convencional, horários fora de ponta – com tarifação inferior a convencional, e horários intermediários – com valores intermediários. Em finais de semana e feriados a tarifa branca mantém-se de acordo com o valor aplicado aos horários fora de ponta. Os horários referentes a cada patamar são definidos nas revisões tarifárias, de modo particular por cada distribuidora, e homologados pela ANEEL. A Figura 27 apresenta uma comparação entre as duas formas de tarifação.

No caso dos consumidores que possuem sistema de geração de energia próprio, desde 2012 há a possibilidade de geração de créditos de energia, de modo que a energia gerada é abatida da fatura de energia consumida. Nestas situações, cabe a substituição do medidor de energia por um medidor bidirecional (ANEEL, 2012) (ANEEL, 2015). Este tema será abordado no próximo subitem.

Figura 27 – Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional



Fonte: (ANEEL, 2019).

4.2.2 Regulações, Marcos Setoriais e Políticas de Incentivo

Atualmente ainda não há regulamentação nacional para a conexão de armazenadores de energia elétrica à rede em aplicações atrás do medidor, sendo possível a sua utilização por consumidores finais somente de forma isolada da rede. De todo modo, a relação desse recurso com a utilização em sistemas fotovoltaicos torna relevante a observação das regulamentações sobre geração distribuída e a análise dessa evolução, visto que futuramente a expansão das tecnologias de armazenamento pode dar-se de modo conjunto.

O pontapé inicial no que diz respeito a regulamentações que incidem diretamente na geração distribuída foi a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, que previu a possibilidade de as distribuidoras de energia garantirem a contratação da totalidade do mercado também por energia proveniente de geração distribuída. Entretanto, esta contratação estava restrita somente a empreendimentos de agentes concessionários, permissionários e autorizados, não prevendo expressamente a compra de unidades consumidoras que instalem painéis solares fotovoltaicos para consumo e injetassem o excedente de energia na rede (CCEE, 2009). Oito anos mais tarde, na Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, houve um importante marco para ampliar a geração de energia solar fotovoltaica em unidades consumidoras. Nela, a ANEEL estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e criou o sistema de

compensação de energia, no qual a energia produzida é injetada na rede de modo a gerar créditos que possibilitam o abatimento do consumo da própria unidade ou de outra do mesmo titular dentro de um período máximo de 36 meses. Entretanto, o sistema de compensação não permite o abatimento total da conta, sendo cobrado um valor referente ao custo de disponibilidade (para consumidores do grupo B – 30 kWh, 50 kWh e 100 kWh para redes monofásica, bifásica e trifásica, respectivamente) ou da demanda contratada (para consumidores do grupo A) (ANEEL, 2012). Posteriormente, houve atualização desta resolução pelas Resoluções Normativas nº 687, de 24 de novembro de 2015 e nº 786, de 17 de outubro de 2017, ao que se destaca a RN 687/2015, que atualizou as definições para micro e minigeração distribuída e para o sistema de compensação de energia, de modo que os créditos de energia ativa passaram a poder ser abatidos da conta de energia em um prazo estendido para até 60 meses (ANEEL, 2015). Atualmente vigente, esta resolução define:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;”

(ANEEL, 2015)

Dentre as atualizações desta resolução, também está a possibilidade de compartilhamento de créditos em empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, como condomínios, por exemplo. Assim, a energia gerada pode ser repartida em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. A possibilidade de geração compartilhada motivou a união de interessados em consórcios ou em cooperativas. Observa-se que em todas as modalidades de compensação a alocação ou a utilização dos créditos se restringe à área de atuação de uma única distribuidora.

Quanto isto se observa:

“(…) O principal desafio para a inserção eficiente de RED no Brasil está relacionado ao modelo de tarifação da energia elétrica atualmente vigente no país. Isto porque tarifas volumétricas (baseada exclusivamente no consumo em kWh, no caso da baixa tensão), sem granularidade temporal e sem o devido sinal locacional não permitem sinalização econômica para que a inserção dos RED seja adequadamente valorada e revertida em benefícios sistêmicos. Adicionalmente, no caso da micro e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (*net-metering*), em conjunto com a cobrança de tarifa volumétrica, traz desequilíbrios na remuneração dos custos das distribuidoras. O gerador, ao reduzir sua conta, deixa de contribuir com as parcelas variável (energia) e fixa (“fio”) da tarifa, embora não reduza os dois custos. O agente conectado, continua demandando a infraestrutura das redes de distribuição e transmissão, logo, os custos fixos devem ser cobertos pelos demais consumidores, através de aumentos na tarifa (Eid et al., 2014). Portanto, se verifica a existência de um subsídio cruzado entre consumidores da mesma distribuidora. Nesse sentido, entende-se que aproveitamento sustentável dos RED no contexto brasileiro depende de um arranjo que produza sinais econômicos adequados no sentido de alinhar os interesses dos múltiplos prossumidores à obtenção de benefícios sistêmicos, sem levar a desequilíbrios no longo prazo.

(EPE, 2018, p.4)

Para contornar este cenário e estimular a inserção eficiente de RED no Brasil, a EPE recomenda a aplicação de tarifas horárias ou sub-horárias, sinal locacional na distribuição, bem como tarifas multipartes, cabe ao regulador (com apoio dos estudos de planejamento e do monitoramento), promover a sinalização adequada de modo a direcionar os investimentos por parte dos agentes (EPE, 2018).

Ao encontro desta visão, CASTRO, FALCÃO e MOSZKOWICZ (2018) observam que o estabelecimento de políticas tarifárias adequadas é condição base para a coordenação entre provedores de serviços e consumidores. Adicionalmente, isto é importante também para permitir a implantação sustentável de novos modelos de negócios.

De modo geral, desde sua implementação a forma de valoração pelo sistema de compensação tem alimentado diversas discussões: se por um lado as distribuidoras alegam que a forma de compensação vigente não condiz com a remuneração adequada pelo uso da rede de distribuição, sobrecarregando os usuários que não possuem geração própria e comprometendo o pilar de modicidade tarifária que deve ser buscado no sistema de energia, por outro, os instaladores, prossumidores e consumidores interessados em geração própria defendem a continuidade do modelo atual para permitir a consolidação do mercado, ressaltando os benefícios da geração distribuída à sociedade (ANEEL, 2018).

Sobretudo por conta deste impasse - mas também abrindo margem para outras discussões relacionadas a valoração da geração própria, neste momento ocorre a revisão desta regulação, em um processo que foi iniciado em 2018 pela ANEEL pelo acolhimento de contribuições por meio da consulta pública nº 10/2018. Dos subsídios enviados a esta consulta, gerou-se o documento de Avaliação de Impacto Regulatório (AIR) nº 04/2018, onde foram estudados cenários possíveis e apresentadas propostas de mudança na regulamentação vigente. No que se refere a forma de compensação dos créditos gerados, esta AIR trouxe 6 propostas de alternativas (enumeradas de 0 a 1), sintetizadas na Figura 28, considerando diferentes parcelas de abatimento (demarcados em amarelo). A alternativa 0 se refere ao sistema vigente, onde se pode abater a totalidade da tarifa, enquanto as demais alternativas reduzem esta possibilidade. Além disso, também foi demarcada a necessidade de diferenciação entre as formas de geração local e remota (ANEEL, 2018).

Figura 28 – Alternativas de abatimento tarifário propostos pela ANEEL



Fonte: (ANEEL, 2018).

Ainda que na AIR 04/2018 (anterior às contribuições externas coletadas) a ANEEL tivesse se posicionado pela adoção da alternativa 1, essa postura foi revista devido aos seguintes apontamentos, apresentados na AIR 03/2019 (posterior as contribuições): (a) que “não se pode afirmar que há postergação de investimentos na rede de distribuição com a entrada da GD”, já quem em muitos casos é necessário investir na rede para suportar a inserção da GD; (b) que dada a expansão geograficamente desordenada da GD não é possível afirmar uma correlação entre os locais de instalação e os pontos onde a inserção atenderia a necessidade do sistema (e não somente dos prossumidores), não podendo-se afirmar contribuições para perdas não técnicas – e mesmo nos casos onde isto de fato ocorra não se poderia afirmar que essa contribuição seja significativa a ponto de isentar o prossumidor de componentes da tarifa; (c) que a inserção de uma GD não incide na redução dos encargos setoriais, não cabendo portanto isentar os prossumidores desta parcela da tarifa – que seria repassada somente aos demais consumidores da área de concessão – mas, sim, efetuar a cobrança sobre a totalidade da energia consumida. A consideração destes três pontos que incidem diretamente na composição da parcela referente a TUSD levou a conclusão de que esta deve ser cobrada integralmente, do mesmo modo como é cobrado dos demais consumidores. Além disso, a lógica tida para a cobrança dos encargos referentes a parcela da TUSD se estende a ponderação quanto aos encargos da parcela da TE, propondo a cobrança também desta. Na expressão destas razões a ANEEL passou a adotar uma postura de defesa da alternativa 5 (ANEEL 2018) (ANEEL, 2019b) (ANEEL, 2019c).

Considerando estes aspectos, chegou-se a seguinte proposta para GD local:

- Consumidores já existentes e aqueles que protocolarem solicitação de acesso completa (nos termos dos modelos apresentados na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, contemplando os anexos devidos) antes da publicação da norma: continuam com as regras atualmente vigentes para o sistema de compensação até o final de 2030 (31/12/2030). A partir desta data, passam para a Alternativa 5 (compensação somente da componente tarifária TE Energia);
- Consumidores que protocolarem solicitação de acesso após a publicação da norma: será aplicada a Alternativa 2 (em que não são compensadas as componentes tarifárias TUSD Fio B e Fio A), alterando para a Alternativa 5 (compensação somente da componente tarifária TE Energia) quando atingida a potência instalada adicional de 4,7 GW .

(ANEEL, 2019c)

Quanto a geração distribuída remota, se propôs:

- Consumidores já existentes e aqueles que protocolarem solicitação de acesso completa (nos termos dos modelos apresentados na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, contemplando os anexos devidos) antes da publicação da norma: continuam com as regras atualmente vigentes para o sistema de compensação até o final de 2030 (31/12/2030). A partir desta data, passam para a Alternativa 5 (compensação somente da componente tarifária TE Energia);
- Consumidores que protocolarem solicitação de acesso após a publicação da norma: será aplicada a Alternativa 5 (compensação somente da componente tarifária TE Energia).

(ANEEL, 2019c)

A proposta final constitui a minuta da resolução normativa (neste momento, ainda provisória), a qual se pretende que entre em vigor ainda no primeiro semestre de 2020 (ANEEL, 2019d).

A nova proposta torna a instalação de GD menos atrativa, uma vez que reduz a parcela cabível de abatimento na tarifa de energia pelo sistema de compensação e, conseqüentemente, estende o tempo de retorno do investimento inicial, tendendo a desacelerar o crescimento na adoção de sistemas de geração residencial e, com isso, impactar também a evolução dos sistemas residenciais de armazenamento de energia, já que estes estão intimamente associados aqueles. Por outro lado, aos consumidores que já possuem ou que de todo modo instalarem sua própria geração, se tornará mais interessante o autoconsumo frente à injeção de energia na rede, o que pode favorecer a adoção de sistemas de armazenamento. Vale frisar, entretanto, que não foram encontradas contribuições de entidades ligadas diretamente ao armazenamento de energia nos subsídios enviados a consulta pública, tampouco citação deste tópico nos relatórios de análise de impacto regulatório deste processo.

Políticas de Incentivo

Dentre os incentivos para a geração distribuída, também em 2015, o Ministério de Minas e Energia criou o Programa de Geração Distribuída – ProGD, lançando a Portaria MME nº 538, de 15 de dezembro de 2015. Tal iniciativa teve como objetivo promover e incentivar a geração distribuída a partir de fontes renováveis e cogeração em edifícios públicos e privados (residenciais, comerciais e industriais). Além disso, diversos bancos têm criado linhas de crédito especial voltadas a instalação de sistemas fotovoltaicos (NASCIMENTO, 2017).

Incentivos governamentais podem dar-se via financiamento a projetos de demonstração, viabilização de bancos de dados com informações sobre armazenamento, subsídios para instalações, esclarecimento e auxílio com documentações necessárias e engajamento em projetos de colaboração internacional, por exemplo. Ainda que grande parte das políticas de incentivo ao armazenamento ao redor do mundo estejam direcionadas a aplicações em frente ao medidor, também há políticas para aplicações atrás do medidor, ao que pode-se destacar os subsídios implementados em 2013 pelo Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear da Alemanha, voltados para projetos de armazenamento de energia em pequena escala para incentivar a implantação de armazenamento de energia distribuída para complementar a alta penetração de PV em pequena escala. Também se destaca o Programa *Intelligent Energy Europe*, instituído de forma cooperativa na União Europeia com o objetivo de criar uma estrutura que permita que a infraestrutura de armazenamento de energia seja desenvolvida em apoio a penetrações de recursos de energia renovável, contemplando países como Espanha, Alemanha, Dinamarca, Áustria e Irlanda. Também, destaca-se a iniciativa do Departamento de Energia dos Estados Unidos, que disponibiliza informações em um banco de dados global de armazenamento de energia (IEA, 2014).

Nota-se a necessidade de apoio governamental e/ou esquemas de financiamento facilitados para a expansão dos sistemas de armazenamento de energia, uma vez que mesmo com a queda de preços continuam caros e o investimento inicial significativo (ESMAP, 2017 apud IEA, 2019). Estruturas e incentivos regulatórios são imprescindíveis para estimular e permitir a manifestação do armazenamento, favorecendo o desbloqueio do potencial em vários mercados (WEC, 2019). Destaca-se a importância de uma estrutura de sinais econômicos que permitam valorizar os benefícios proporcionados pelos RED, de modo a direcionar decisões individuais dos presumidores e maximizar esta serventia sem comprometer a segurança e confiabilidade do suprimento (EPE, 2018).

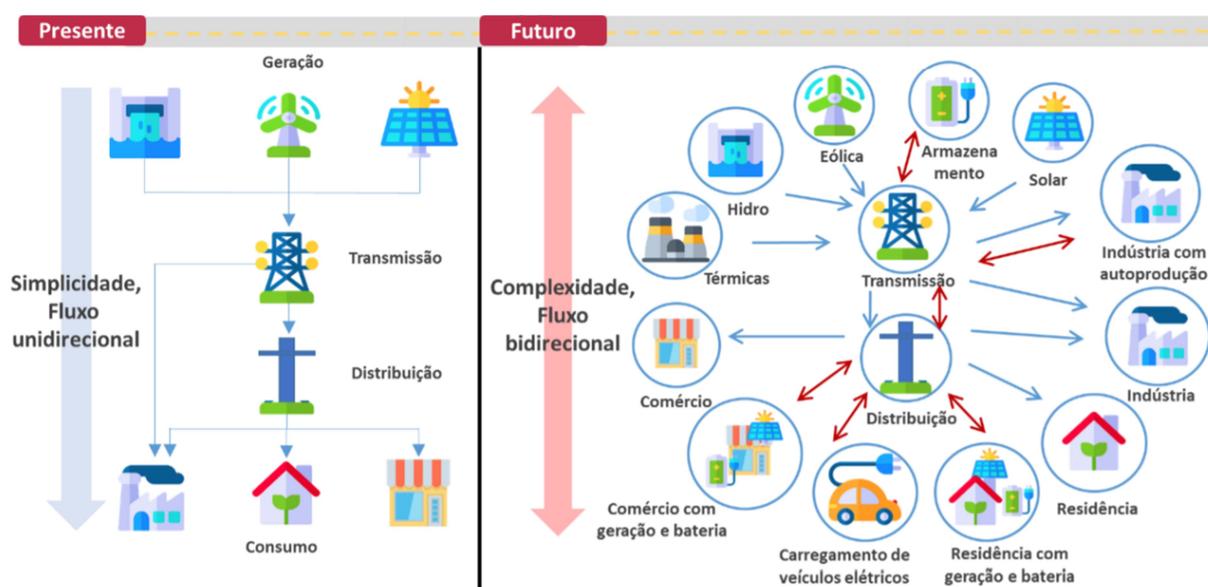
Globalmente, investimentos públicos em pesquisa e desenvolvimento de armazenamento de energia levaram a reduções significativas de custos, mas são ainda necessários esforços adicionais (como investimentos direcionados em pesquisa e desenvolvimento e projetos de demonstração) para reduzir ainda mais os custos de armazenamento de energia e acelerar o desenvolvimento (IEA, 2014b). É necessário, entretanto, que estes investimentos (públicos) sejam aplicados de modo a serem efetivos para gerar benefícios igualmente públicos, e não somente lucros privados.

Novos agentes para uma nova conjuntura

Se hoje o sistema elétrico brasileiro é predominantemente operado com recursos de maior porte e gerenciado centralizadamente, a inserção de REDs tem provocado importantes transformações neste cenário e tende a ser ainda mais acentuada no futuro, demandando novas práticas de planejamento da expansão e operação das redes elétricas e da geração de energia e mecanismos inteligentes de integração e gerenciamento destes recursos (EPE, 2018).

A Figura 29 apresenta esta transformação.

Figura 29 – Sistemas Elétricos: presente x futuro



Fonte: (EPE, 2018).

Em países onde esta transformação já se encontra adiantada, dentre os mecanismos de integração e gerenciamento desses recursos, pode-se citar a figura dos “agregadores” de REDs, que formam plantas virtuais (*Virtual Power Plants - VPP*) e as despacham no mercado de eletricidade havendo a possibilidade de que estes agregadores utilizem a tecnologia *blockchain* para integrar informações locais, otimizar redes locais, oferecendo serviços energéticos a baixo custo com a utilização de *smart contracts* (PWC, 2017 at EPE, 2018).

Adequar o design do mercado é essencial para acelerar a implantação, visto que os ambientes políticos e as condições de mercado geralmente aumentam o custo dos serviços de energia, “criando distorções significativas de preço e resultando em mercados mal equipados para compensar as tecnologias de armazenamento de energia pelo conjunto de serviços que eles podem fornecer” (IEA, 2014b). Neste sentido, a análise do sistema elétrico de potência a

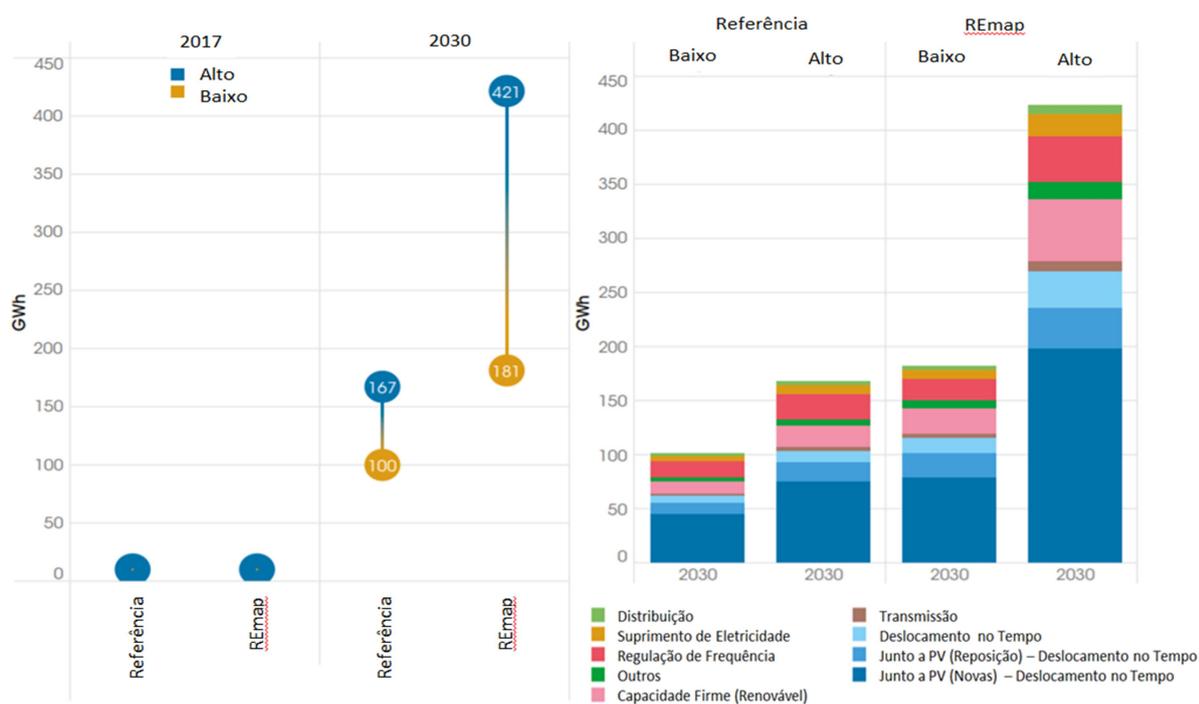
fim de entender melhor quais as possibilidades e avaliar o papel e as potencialidades do armazenamento de energia é essencial para desenvolver políticas específicas para esta área (IRENA, 2015).

4.3 DEMANDA E MERCADO

O estudo elaborado pela IRENA (2015) sugere cinco áreas prioritárias de aplicação de sistemas de armazenamento de energia, das quais se destacam duas que incidem diretamente sobre sistemas residenciais de energia e são pertinentes para esta discussão no Brasil: aplicações em ilhas e áreas remotas e aplicações junto a consumidores que visem a redução tarifária ou maior confiabilidade do suprimento, sobretudo tendo associado a geração fotovoltaica (IRENA, 2015).

Estudos de prospecção apontam para uma tendência de crescimento na utilização de sistemas de armazenamento de energia, sobretudo, em aplicações atrás do medidor, como apresenta a Figura 30. Mesmo em uma perspectiva de baixo crescimento, há uma importante evolução deste setor (IRENA, 2017).

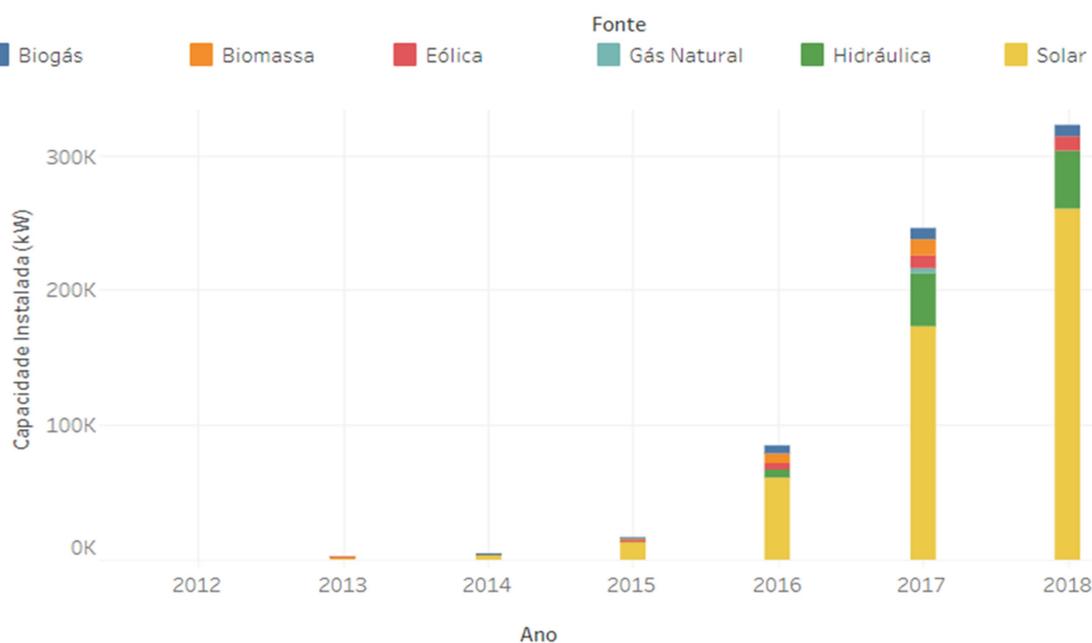
Figura 30 – Crescimento utilização de armazenamento de energia em diversas aplicações



Fonte: Adaptada de (IRENA, 2017).

Na Figura 30 pode-se notar que o avanço prospectado está associado principalmente a aplicações junto a geração fotovoltaica. O Brasil vem experimentando um crescimento exponencial da geração distribuída por esta fonte nos últimos anos, sendo oportuno acompanhar esta tendência. Isto pode ser observado na Figura 31, que apresenta a capacidade instalada acumulada por fonte em geração distribuída.

Figura 31 – Capacidade instalada acumulada por fonte



Fonte: (SEEG, 2019).

Neste sentido, observa-se que dentro dos empreendimentos de micro (até 75 kW) e minigeração distribuída (acima de 75 kW até 5 MW), 99,7% das conexões são da fonte solar fotovoltaica - 93.597 sistemas conectados a rede que beneficiam a 117.312 consumidores que recebem créditos de energia via geração local, autoconsumo remoto, geração condominial e geração compartilhada. Essa parcela representa 87,3% da potência solar instalada em micro e minigeração, que hoje alcança cerca de 1.000 MW e se soma aos 2.103,2 MW da geração centralizada, totalizando 3.103,2 MW de potência operacional total desta fonte. Estima-se que estes empreendimentos mobilizaram 5,6 bilhões desde 2012, distribuídos em todas as regiões do país (ABSOLAR, 2019). Entre 2012 e 2019, no Brasil, houve redução de 45% no valor de aquisição de painéis solares (ANEEL, 2019).

Observa-se que no Brasil, nas instalações de microgeração com compensação local, apenas cerca de 38,92% da energia gerada que é consumida imediatamente pela carga, não sendo injetada na rede. Todo o restante é injetado na rede elétrica, que funciona como uma

“bateria virtual”. A ANEEL estima que há um mercado potencial para geração local de cerca de 8.000.000 de unidades consumidoras (número referente ao total de casas com renda superior a 5 salários mínimos segundo o senso de 2010) e 12.000.000 para geração remota (montante que contempla as unidades da geração local somada a quantidades de apartamentos e demais tipos de domicílio, os quais foram agregados de forma a ser atribuída a potência equivalente de 7,5 kW para cada, de modo que cada minigeração de 1.000 kW seria suficiente para atendimento a aproximadamente 133 unidades consumidoras). Ainda, visualiza-se um crescimento anual do mercado potencial na ordem de 2,5% ao ano (considerando este crescimento para o número de consumidores residenciais previsto no PDE 2026) (ANEEL, 2018).

Além disso, o ano de 2018 apresentou uma progressão de 1,4% no consumo final de eletricidade, sendo que o setor residencial o que teve a maior contribuição para esta elevação em valores absolutos: um acréscimo de 1,8 TWh, elevação de +1,4% em relação ao ano anterior. Em 2018, 9,9% do consumo de energia deu-se pelo setor residencial (ABSOLAR, 2019) (EPE, 2018).

Um importante potencial de utilização de sistemas de armazenamento está nas localidades que ainda encontram-se desconectadas do Sistema Interligado Nacional (SIN): regiões cuja demanda por energia é suprida principalmente por térmicas a óleo diesel. Atualmente existem 235 localidades isoladas, a maior parte na região Norte, nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. Também, dentre estas áreas, encontra-se a ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, e algumas localidades no Mato Grosso. Entre as capitais, apenas Boa Vista (RR) ainda é atendida por um sistema isolado (ONS, 2019).

Um estudo desenvolvido pela Quanta Technology e financiado pela Agência de Comércio e Desenvolvimento dos Estados Unidos (USTDA) avaliou potenciais de mercado para sistemas de armazenamento de energia em baterias, dentre os quais o Brasil, para um horizonte de 10 anos. Nele, foram considerados aspectos técnicos, econômicos e regulatórios. Foram abordadas 5 categorias e 17 aplicações de sistemas de armazenamento de energia, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente, sendo destacados em laranja os itens cujas categoria e aplicações contemplam sistemas residenciais de armazenamento (Quanta Technology, 2016).

Tabela 10 – Potencial Máximo de Mercado para Sistemas Armazenamento de Energia por Baterias no Brasil, por segmento de mercado

Segmento de mercado	Potencial de mercado (Megawatts para atender a demanda)	Potencial Econômico (VPL em milhões de dólares)
Fornecimento de Energia	582	235
Serviços Ancilares	427	188
Rede (T&D)	1537	5625
Usuário Final/Utilitários	1931	963
Integração de Renováveis	1125	866
Total	5602	7878

Fonte: Adaptada de (Quanta Technology, 2016).

Tabela 11 – Potencial Máximo de Mercado para Sistemas Armazenamento de Energia por Baterias no Brasil, por aplicação

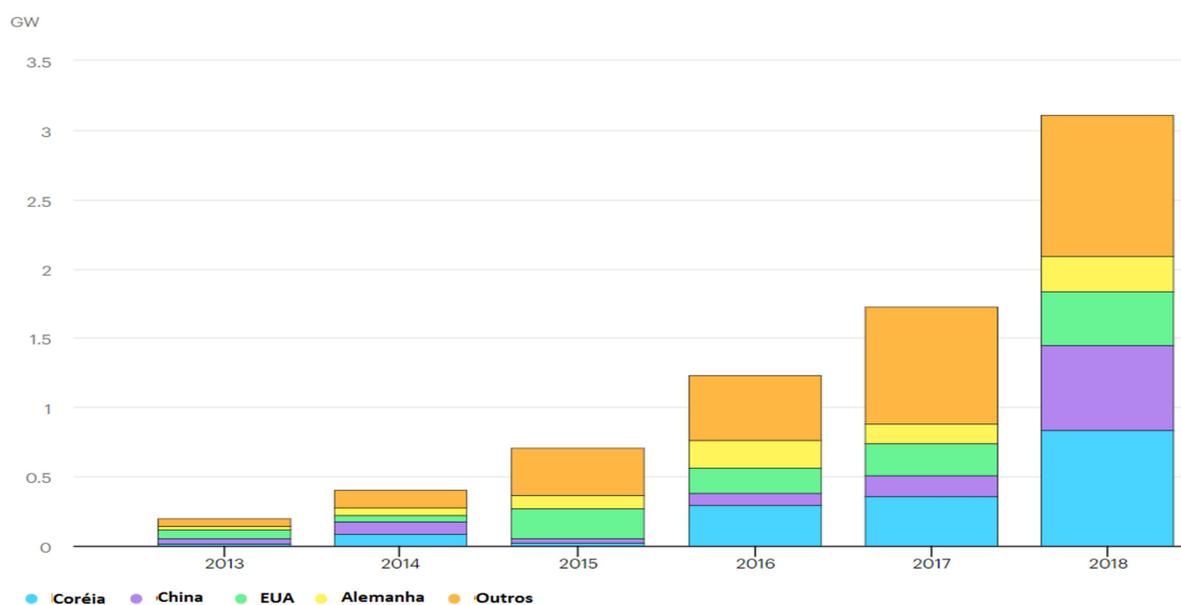
Referência	Aplicação	Capacidade Típica de Baterias (horas)	Potencial Máximo de Mercado (MW, em 10 anos)
1	Deslocamento no Tempo	3	321
2	Fornecimento de Energia Elétrica	3	261
3	Balanceamento de Carga	1	87
4	Regulação de Área	0,5	35
5	Reserva de Capacidade	1	218
6	Suporte de Tensão	0,5	87
7	Suporte de Transmissão	0,5	65
8	Alívio de Congestionamento na Transmissão	0,5	1088
9.1	Postergar Investimentos na Rede de T&D (em 50%)	3	339
9.2	Postergar Investimentos na Rede de T&D (em 90%)	3	34
10	Subestação de Energia Local	1	11
11	Gerenciamento do Custo de	2	348

Energia por Tempo de Uso			
12	Gerenciamento da Cobrança por Demanda	1	1235
13	Serviço de Confiabilidade	1	174
14	Serviço de Qualidade de Energia	0,5	174
15	Deslocamento no Tempo (para Energias Renováveis)	3	0
16	Capacidade Firme Renovável	3	500
17	Integração de Geração Eólica na Rede, Curta Duração	0,5	625
Potencial Máximo de Mercado MW, 10 anos			5602
Potencial Máximo de Mercado para as aplicações 11, 12, 13 e 14 (MW, 10 anos)			1931

Fonte: Adaptada de (Quanta Technology, 2016).

Mundialmente a implementação de armazenamento de energia já tem experimentado uma forte expansão liderada pela Coreia, China, Estados Unidos, ainda que a nível regional o maior em 2018 tenha ocorrido na Europa – sobretudo Alemanha e Reino Unido. A capacidade de armazenamento destes países é apresentada na Figura 32.

Figura 32 – Evolução da implementação de armazenamento de energia em alguns países



Fonte: (IEA, 2019).

Ao que diz respeito especificamente as aplicações atrás do medidor, este avanço tem sido encabeçado sobretudo pela Coreia, Austrália, Japão, Alemanha e Estados Unidos. A evolução em aplicações domésticas resulta principalmente de medidas políticas favoráveis, como é o caso da Coreia e do Japão, e ao impulso dado por empresas de rede via projetos de suporte a operações de rede, bem como pelos mercados de serviços de regulação de frequência, a exemplo da China (IEA, 2019). Além disso, o mercado de sistemas residenciais para armazenamento de energia elétrica tem sido impulsionado por fatores como o aumento da demanda por fornecimento de energia ininterrupto e confiável e o aumento na adoção de painéis solares. Países como Brasil, Arábia Saudita, Tailândia e Bangladesh, tem se destacado no incentivo a sistemas residenciais de energia solar (motivados por programas relacionados à medição bidirecional, por exemplo), o que aponta uma oportunidade importante para os sistemas de armazenamento (MORDOR, 2019). Nos Estados Unidos, houve uma série de desenvolvimentos de políticas em nível estadual, como o *Green New Deal*, em Nova York, que elevou a ambição do estado de alcançar um suprimento de energia totalmente descarbonizado até 2040, e metas e medidas de apoio verificadas em estados como Califórnia, Nevada, Massachusetts e Havaí (IEA, 2019).

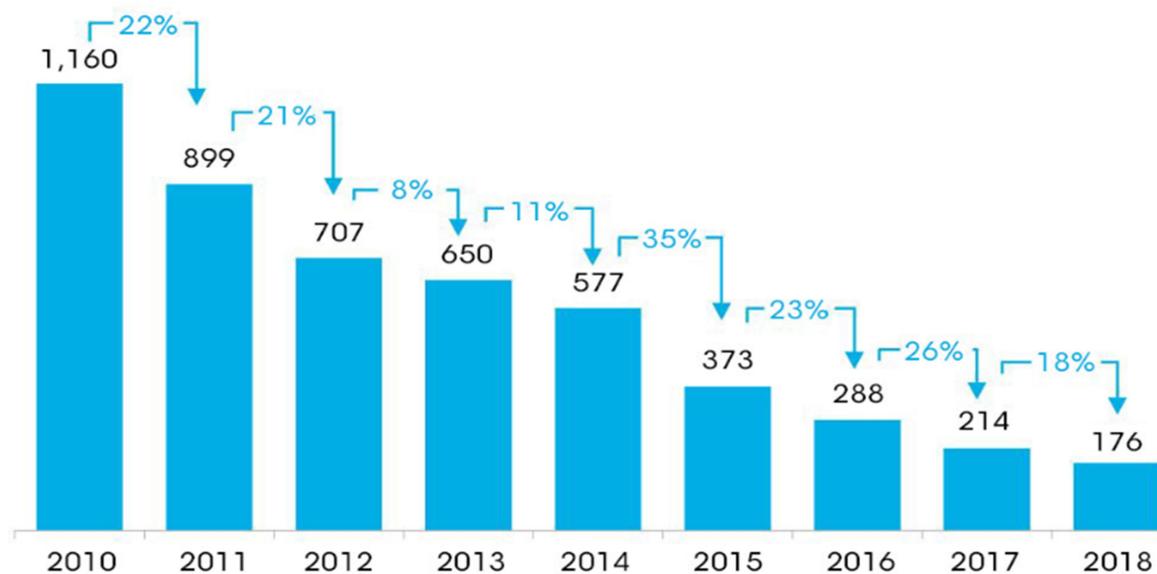
Globalmente, o atendimento ao mercado de baterias para armazenamento residencial é liderado por duas gigantes sul-coreanas: a LG-Chem Ltd. e a Samsung SDI Co. Ltd. Além dessas, ainda há importante participação das empresas Panasonic Corporation, Sonnen GmbH, Saft Groupe SA., Hitachi Chemical Co. Ltd., Sunverge Energy LLC, Tesla Inc. e Deutsche Energieversorgung GmbH (SENEC). De modo geral, há um debate ativo sobre o estado da indústria de fabricação de baterias, sendo que, na Europa, Alemanha e França comprometeram juntos 1,7 bilhões de euros em 2018 para apoiar a fabricação local (EIA, 2019). Entretanto, trata-se de um mercado ainda altamente concentrado, dominado por poucos atores (MORDOR INTELLIGENCE, 2019).

No Brasil, há atualmente 2 fabricantes de baterias cadastrados na Agência Especial de Financiamento Industrial - FINAME, do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES: Neosolar Energia LTDA, com os produtos sistema Gerador Fotovoltaico com baterias (*Offgrid*), de 1kW, 2kW, 3kW e 4kW; e Acumuladores Moura AS, com o produto bateria estacionária Moura Clean. Além disso, quanto a outras tecnologias de interesse: há 100 fabricantes de sistema solar fotovoltaico (kit), 14 fabricantes de inversor fotovoltaico, 11 fabricantes de rastreador solar, 8 fabricantes de módulo fotovoltaico e 2 fabricantes de string box (BNDES, 2019) (ABSOLAR, 2019).

Conforme WEC (2019) o desenvolvimento do mercado de armazenamento e a mobilização de recursos passam por três eixos chave: (a) o desenvolvimento da indústria local para aumentar a competitividade; (b) inovação na preparação e manipulação de dados para maior transparência e participação; e (c) a criação de modelos de negócios que impulsionem a fase inicial de investimentos (WEC, 2019).

De modo geral, ainda que ambiental e socialmente existam muitos passos a serem amadurecidos (ver item 4.4), um dos principais obstáculos para um desenvolvimento mais acentuado é o custo elevado destes sistemas. Entretanto, tem-se verificado uma acentuada queda no preço dessas tecnologias, como apresenta a Figura 33. A fim de referencia, em 2019, uma bateria de íon-lítio para armazenamento residencial custa cerca de R\$ 4.000,00/kWh (MORDOR INTELLIGENCE, 2019) (EPE, 2019).

Figura 33 – Evolução do preço global das baterias de íon-lítio, em USD por kWh



Fonte: (Bloomberg NEF, 2019).

Em estudo desenvolvido para o horizonte de 2029, a EPE (2019) analisou o que considera os principais usos de sistemas de armazenamento elétrico em unidades consumidoras, sendo que dois deles contemplam consumidores residenciais: (i) aumento do autoconsumo da microgeração distribuída; (ii) mudança para a tarifa branca. Considerando a utilização de baterias de íon-lítio e uma redução no preço de 7,6% a.a. (sendo considerado um custo de R\$ 4.000,00/kWh em 2019), os resultados das simulações apontaram para inviabilidade econômica dos investimentos. No entanto, consideram-se ressalvas como a

diversidade de perfis de consumo, a possibilidade de queda de preços mais acentuada e políticas de incentivo futuras que possam alterar este quadro. De todo modo, o estudo considera que a entrada das tecnologias de armazenamento para aplicações atrás do medidor seja ainda marginal, presente somente em projetos específicos onde sejam considerados outros aspectos além do econômico na decisão de investimento (EPE, 2019). Entretanto, aplicações empilhadas ou compartilhadas, que capturam vários fluxos de valor, podem ser mais interessantes e apresentar-se como a chave da viabilidade de armazenamento.

Também se apresentam como uma forte barreira os obstáculos de regulamentação (WEC, 2019) (EPE, 2018). Além disso, no que se refere às baterias de íon-lítio, na Coreia, atualmente país líder no avanço em aplicações atrás do medidor, incidentes relacionados ao superaquecimento resultaram em incêndios e explosões, gerando manchetes negativas quanto a credibilidade da tecnologia e sua adesão. Entretanto, a criação de um forte mercado comercial e industrial contribuiu para sustentar o avanço nestas aplicações (IEA, 2019).

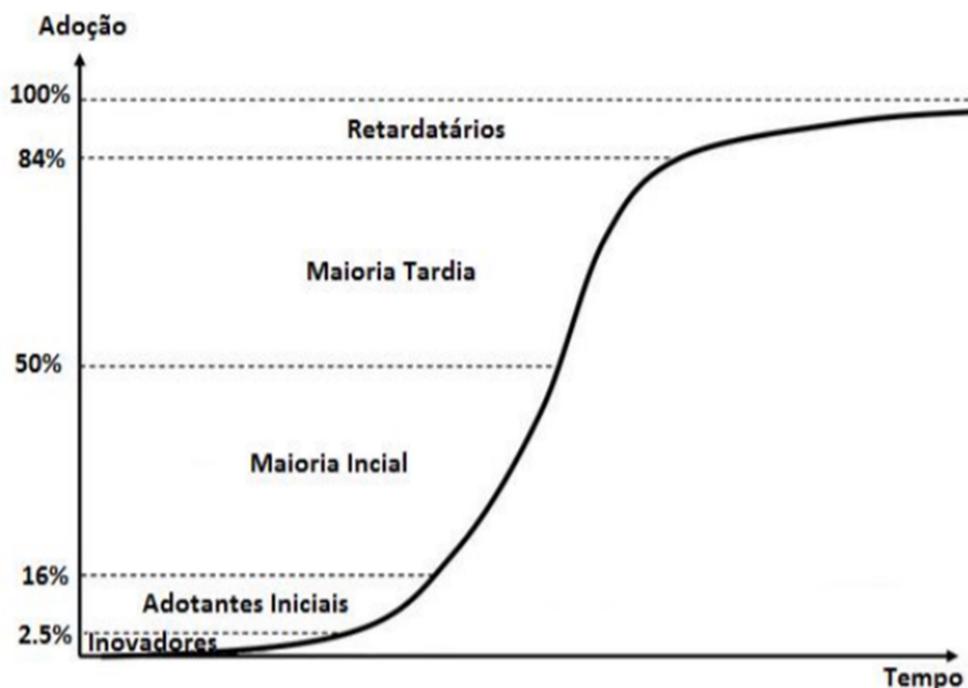
Uma vez que a adoção das tecnologias de armazenamento residencial de energia, assim como as tecnologias de micro e minigeração de energia, implica na introdução de um produto inteiramente novo e alteram significativamente os padrões de comportamento do consumidor, pode-se enquadrar isto na estrutura das teorias de inovações, no que também as trajetórias qualitativas de difusão. A “Teoria da Difusão de Inovações”, de Everett Rogers, propõe que “o processo de difusão é, sobretudo, um processo social, que envolve relações interpessoais para dar suporte às decisões da maioria da população. Essa dinâmica acaba moldando a forma como uma inovação é adotada pela sociedade”, e pode ser descrita por uma curva S (EPE, 2018a). Esta curva é apresentada na Figura 34.

Esta evolução é descrita da seguinte forma:

Inicialmente, poucos indivíduos adotam a nova ideia (inovadores). Assim que a inovação começa a ter seus benefícios visíveis, passa a ser adotada pelo segundo grupo, composto por formadores de opinião e, à medida que as redes interpessoais são ativadas, a curva S decola. Esta fase, quando a inovação passa a ser adotada por 10% a 20% da população, é o cerne do processo. Passando desta etapa, acredita-se ser quase impossível parar o processo de difusão. Naturalmente, a “curva S” começa a atenuar quando a metade dos indivíduos de um sistema social tenha adotado a inovação. Neste ponto, cada novo adotante encontra uma dificuldade crescente de passar a ideia adiante para um novo indivíduo que ainda não adotou, pelo fato destes estarem cada vez mais escassos.

(EPE, 2018a)

Figura 34 – Curva S de difusão



Fonte: (KONZEN, 2014 *apud* EPE, 2018a).

Neste sentido, entende-se que, sanadas as barreiras discutidas anteriormente, a difusão destas tecnologias no Brasil poderá evoluir seguindo esta teoria.

4.4 ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

Por certo que o avanço tecnológico precisa extrapolar a técnica para que seja efetivo, o que significa olhar com sensibilidade para os problemas culturais, sociais e, neste momento, com especial relevância às questões ambientais – uma discussão não só necessária, como também urgente.

Estudos climáticos indicam que a degradação ambiental provocada pela ação humana pode significar a convergência para um cenário de vida precária ou mesmo inviável em um curto período de tempo. De modo especial, o aquecimento global tem colocado prazos estreitos na agenda de recuperação e preservação ambiental, havendo estudos que apontam que já está em curso a sexta extinção em massa – a primeira provocada pela ação humana, uma vez que já é observado o desaparecimento de espécies em taxas alarmantes (CEBALLOS *et al*, 2015).

Segundo o Relatório Especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change/United Nations*), o mais

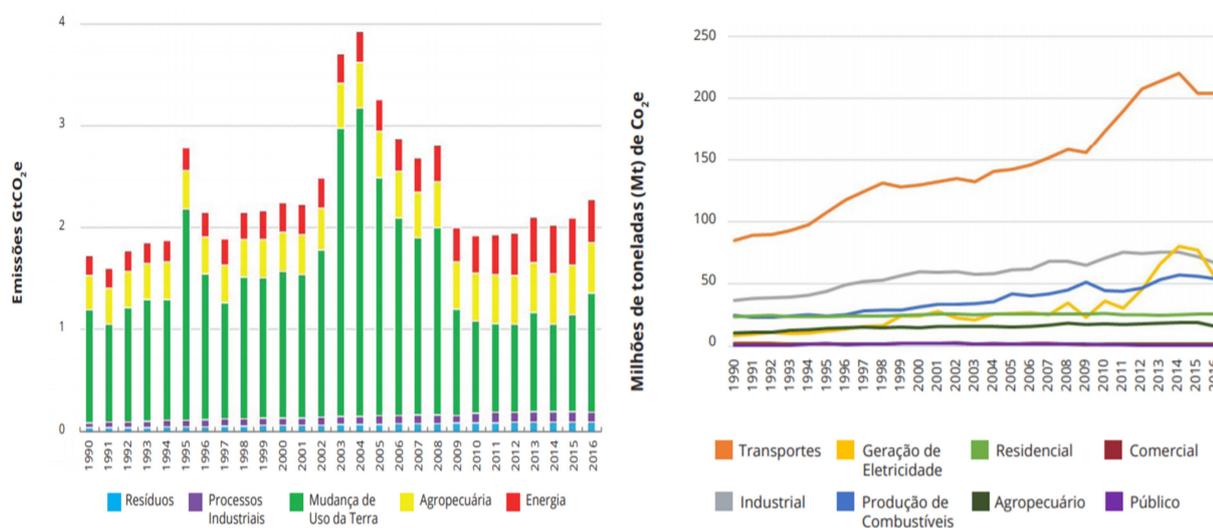
importante estudo sobre Mudanças Climáticas até agora e que tem norteado o debate internacional sobre o tema, temos o desafio de limitar o aquecimento global a 1,5°C em relação ao período pré-industrial até 2030, sendo que ultrapassar esta margem trará efeitos catastróficos à biodiversidade e à dinâmica da vida no planeta. Por certo que a dimensão global desta problemática exige respostas igualmente globais, de modo que a articulação de organizações internacionais tem estipulado diretrizes para tentar barrar o cambio climático. Dentre os principais esforços neste sentido, o Acordo de Paris, firmado ainda em 2015, tem como meta a redução da emissão de gases de efeito estufa, cabendo aos países signatários a adoção de medidas para tanto - bem como a cooperação entre nações para viabilizar isso. A Conferência da ONU para Mudanças Climáticas ocorrida em 2018 (COP24) considerou o estudo apresentado pelo IPCC e ressaltou a necessidade de metas mais ambiciosas para o Acordo de Paris. Entretanto, mesmo na COP25, ocorrida em 2019, não se conseguiu chegar a um acordo de mudanças efetivo para o clima (IPCC, 2019).

Ainda em 2015, chefes de Estado e de Governo reunidos na sede da ONU, em Nova York, estipularam Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, um plano de ação estruturado em 17 objetivos e 169 metas para a construção de um planeta sustentável e resiliente. Desta agenda, destaca-se que a pauta de sistemas de armazenamento residencial de energia (ainda que também não residencial) incide diretamente no 7º objetivo – Energia Limpa e Acessível, podendo contribuir também com os objetivos 5º - Igualdade de Gênero, 9º - Indústria, Inovação e Infraestrutura, 11º - Cidades e Comunidades Sustentáveis e 13º - Ação Contra a Mudança Global Climática (UNITED NATIONS, 2015) (IRENA, 2019).

Vale ressaltar que, se por um lado este problema inevitavelmente incidirá sobre a vida em todo o planeta, por outro, seus efeitos atingem primeiro os países mais pobres e, nestes, as comunidades mais vulneráveis economicamente – ainda que a contribuição desta parcela para a emissão de gases de efeito estufa seja muito menor que a da população de países desenvolvidos.

Nesta discussão, ainda que no Brasil a atividade agropecuária responda por 74% da produção de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2018), global e nacionalmente o panorama energético assume papel fundamental, sobretudo no que se refere a tecnologias de geração de energia limpa e modos de armazená-la frente à intermitência de algumas fontes. A Figura 35 apresenta as emissões brasileiras de dióxido de carbono por setor, com ênfase ao setor de energia.

Figura 35 - Emissões brasileiras de dióxido de carbono (1990 - 2016): emissões brutas por setor (esquerda) e emissões no setor de energia (direita).



Fonte: (SEEG, 2018).

Neste sentido, ainda que seja pertinente a redução dos gases de efeito estufa, ressalta-se que o país já tem sua matriz energética predominantemente limpa, baseada, sobretudo, na fonte hídrica. Entretanto, observa-se que a diversificação desta matriz é importante também para a mediação dos diversos conflitos sociais enfrentados pelas comunidades atingidas por barragens, uma vez que as unidades de geração que dispõe deste tipo de armazenamento são muitas vezes instaladas em territórios próximos ou pertencentes a povos originários e comunidades já estabelecidas. Neste sentido, o relatório final da Comissão Especial “Atingidos por Barragens”, do Conselho de Defesa dos Direitos da Pessoa Humana, a partir do estudo de casos de implementação de barragens apontou a violação de 16 direitos humanos sistematicamente violados, “cujas consequências acabam por acentuar as já graves desigualdades sociais, traduzindo-se em situações de miséria e desestruturação social, familiar e individual” (CDDPH, 2010).

Se por um lado as tecnologias de armazenamento de energia são pontos chave para a expansão de fontes renováveis intermitentes na matriz energética, por outro, para que isso se apresente como uma alternativa ambientalmente viável é necessário que se estabeleça o ciclo fechado do produto, tendo a dimensão do impacto desde a produção até a destinação após a vida útil e garantindo que ele ocorra de forma sustentável. Esta tarefa, ainda que imprescindível, não é simples e passa por observar elementos e processos que estão distribuídos globalmente e que envolvem diversas corporações.

4.4.1 Cadeia Produtiva

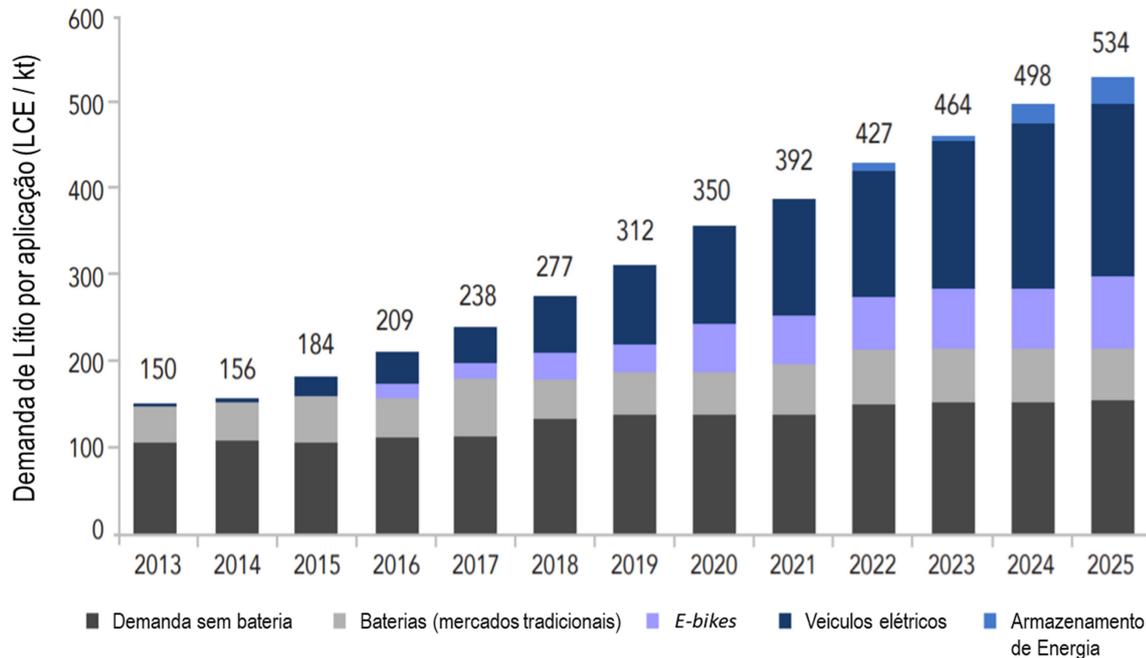
No que se refere ao ciclo de vida do produto, este trabalho se limitará a discutir alguns pontos que incidem diretamente sobre a tecnologia de lítio, uma vez que, conforme discutido anteriormente, esta tem se mostrado expoente.

- Extração/matéria prima

A demanda por lítio já tem experimentado um crescimento elevado nos últimos anos, mas isso tende a acentuar-se ainda mais no período a frente. Isso se deve principalmente a finalidade de aplicação em sistemas de armazenamento, ainda que, muito mais do que para baterias estacionárias, impulsionada pela ascensão dos veículos elétricos. Isto é apresentado na Figura 36. Frente a demanda crescente, em maio de 2018 o Departamento do Interior dos Estados Unidos, juntamente com outras entidades executivas, publicou uma lista com 35 minerais críticos – dentre os quais o lítio (DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 2018). Neste aspecto, a segurança do fornecimento de lítio tornou-se uma das principais prioridades das empresas de tecnologia nos Estados Unidos e na Ásia (USGS, 2019).

Entretanto, o lítio não ocorre livre na natureza - é encontrado em rochas magmáticas. De modo geral, os compostos de lítio são obtidos nos minerais espodumênio, lepidolita, amblygonita ou petalita, que são aluminossilicatos de lítio. Ressalta-se, entretanto, que existem cerca de 150 minerais portadores de lítio, ainda que somente estes quatro sejam considerados, de fato, minerais de lítio por terem aproveitamento econômico, em especial o espodumênio e a petalita. Verifica-se que as principais fontes de lítio são os evaporitos (salmouras com alto teor de lítio). Estas formações ocorrem em alguns salares formados por bacias de drenagens fechadas nas quais a taxa de evaporação é maior do que a precipitação pluviométrica, gerando o enriquecimento dos elementos contidos ali, dentre os quais o lítio, em um período superior a um milhão de anos. Observa-se que evaporitos com viabilidade econômica são encontrados somente em desertos próximos a vulcões de idade inferior a 50 milhões de anos, sendo produto da atividade vulcânica-geotermal e da retenção dos sais nas bacias de drenagem destes locais (LUZ; LINS, 2008).

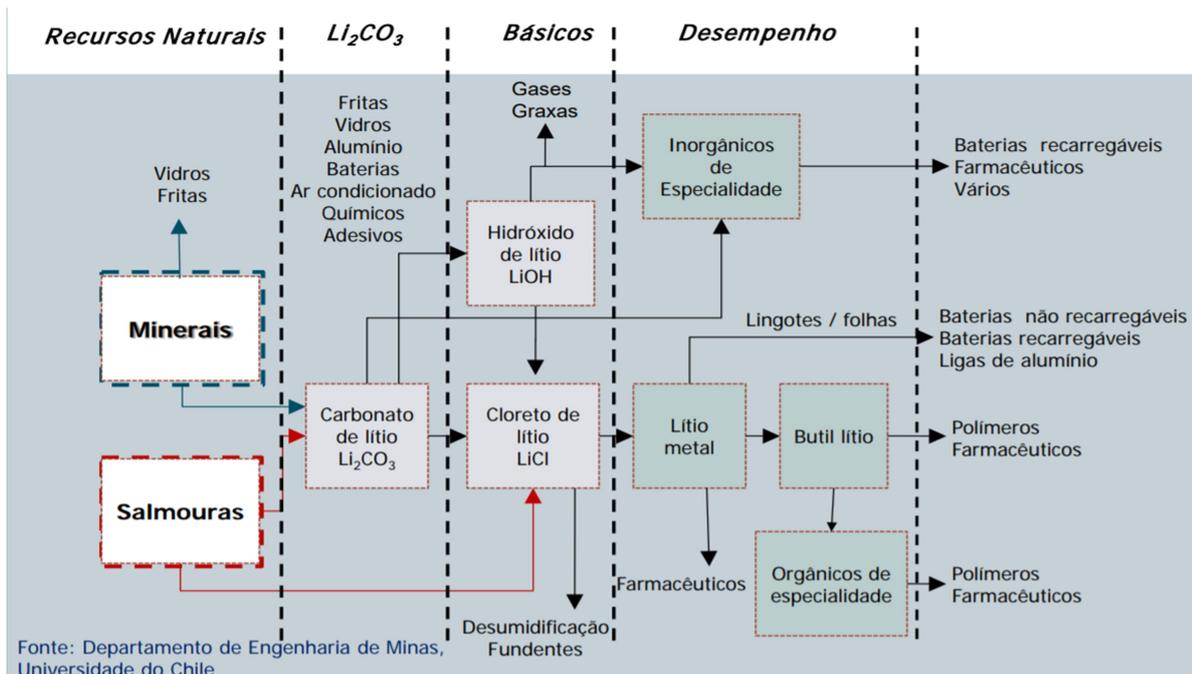
Figura 36 – Projeção da demanda global de lítio



Fonte: Adaptada de (DELGADO; STIER; CAMPOS, 2018).

Para utilização na fabricação de baterias, é necessário que se produza carbonato de lítio ou o hidróxido de lítio, como apresenta a Figura 37.

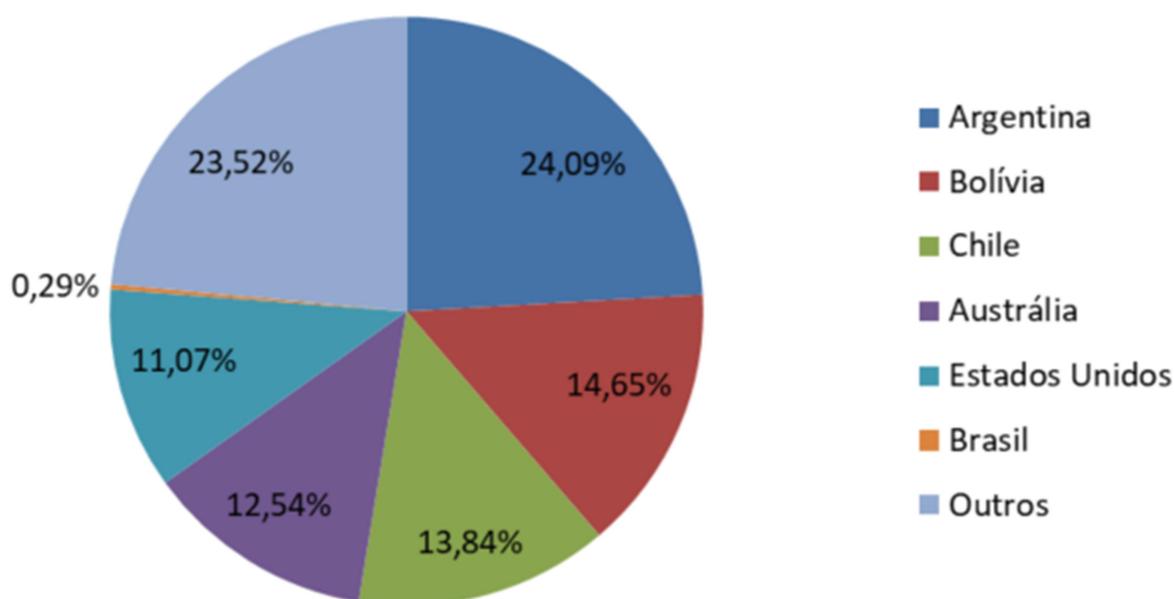
Figura 37 – Árvore do Lítio



Fonte: (USACH).

Os recursos¹ de lítio identificados atualmente totalizam cerca de 62 milhões de toneladas, sendo que a Figura 38 apresenta a distribuição destes depósitos (em termos de participação dos principais países) (USGS, 2019).

Figura 38 – Distribuição dos recursos mundiais de lítio, por país



Fonte: Elaboração própria, com dados de (USGS, 2019).

Cinco operações de exploração de espudomênio na Austrália e duas plantas de salmoura no Chile e na Argentina foram responsáveis pela maior parte da produção mundial de lítio em 2018, nesta ordem. A principal operação de espudomênio na Austrália aumentou sua produção em cerca de 40% em 2018, sendo líder mundial na produção de lítio (USGS, 2019). O mercado extrativista é atualmente dominado pelas seguintes empresas (e seus respectivos países de origem): FMC Lithium (Estados Unidos), SQM (Chile-Canadá), Albermale (Alemanha-Estados Unidos) e Orocobre (Austrália-Estados Unidos) (DELGADO; STIER; CAMPOS, 2018).

A América do Sul concentra mais da metade dos recursos, distribuídas principalmente entre Bolívia, Chile e Argentina, onde formam o chamado “Triângulo do Lítio”, apresentado na Figura 39.

¹ “Reserva” se refere a depósitos minerais já viáveis para exploração, enquanto “recurso” se refere a depósitos minerais com potencial de exploração futura.

Figura 39 – Triângulo do Lítio



Fonte: Adaptada de (El Litoral, 2016).

Nestes territórios os depósitos de lítio estão principalmente nos salares, originados da evaporação do oceano nestes territórios onde outrora havia mar, e são explorados por meio de piscinas de salmouras em plantas como a apresentada na Figura 40.

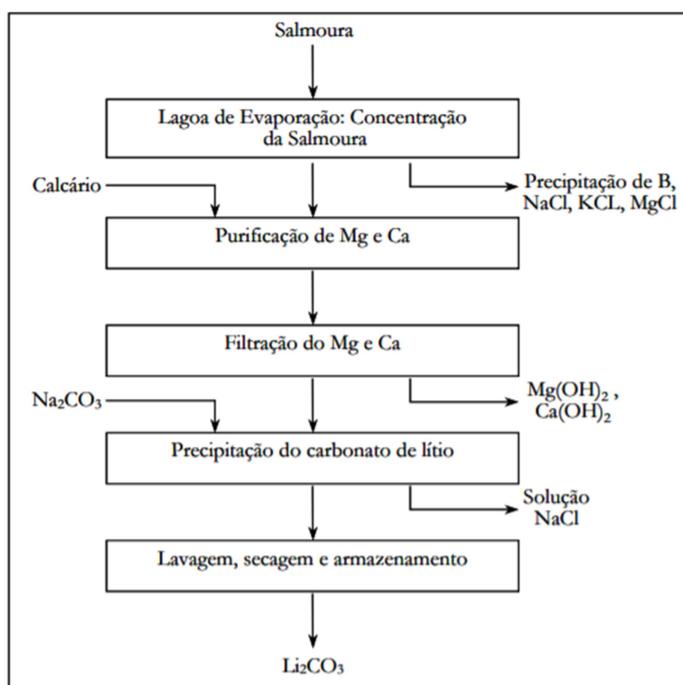
Figura 40 - Vista aérea de piscina de salmoura no Deserto do Atacama (Chile)



Fonte: Ivan Alvarado/Reuters

Por esse método a salmoura, extraída de grandes profundidades, seca ao sol por evaporação. Na sequência, são adicionados vários elementos químicos que desencadeiam reações que precipitam sais, como cloreto de sódio ou de potássio, de modo que ao final se obtenha o carbonato ou cloreto de lítio (LUZ, LINS, 2008). Este processo é ilustrado pelo diagrama apresentado na Figura 41.

Figura 41 - Diagrama do processo de obtenção de carbonato de lítio à base de salmouras



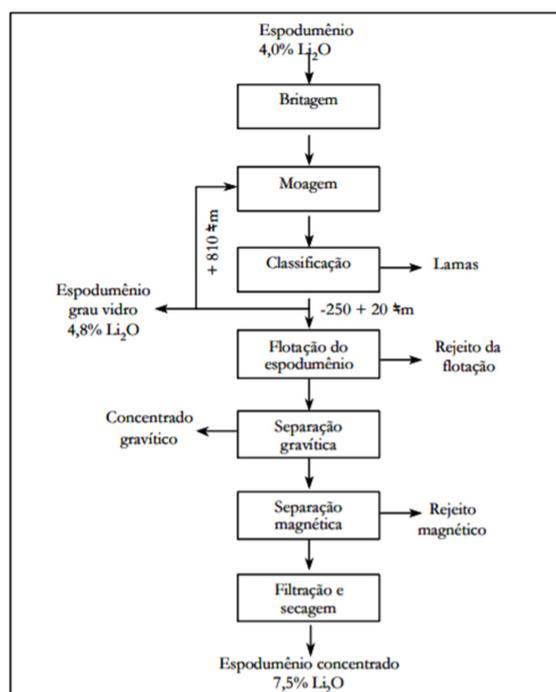
Fonte: (LUZ, LINS, 2008, p. 590).

Para isso, são estabelecidos limites para retirada da salmoura, bem como para utilização de água doce, que também é utilizada para limpeza de máquinas e fabricação de outros produtos durante o processo – como potássio, utilizado como fertilizante, por exemplo. Entretanto, em diversos territórios as autoridades ambientais e comunidades próximas as plantas tem denunciado interferências na biodiversidade local e na disponibilidade de água. No caso do Salar do Atacama, no Chile, estudos apontam que há mais água e salmoura “saindo” do Salar (por bombeamento e evaporação) do que as precipitações são capazes de repor, e inspeções apontaram para a perda de árvores nativas, alertando para a escassez de água no aquífero. Também há denúncias entre as empresas ali atuantes, que trocam acusações de desrespeito aos limites estipulados pelo governo para retirada de salmoura desde 2013. Entretanto, ambas negam que a atividade que executam produza efeitos colaterais ao ambiente

local ou que estejam desrespeitando os acordos firmados (LIU; AGUSDINATA; MYINT, 2019) (REUTERS, 2018).

No caso da exploração de pegmatitos - através da mineração a céu aberto ou subterrânea (em túneis) - como ocorre na lavra do espodumênio, por exemplo – as aberturas são feitas por meio de explosivos, máquinas ou com o uso de picaretas. Após a obtenção dos minérios de lítio, estes passam por etapas de britagem (para reduzir a granulação) e, posteriormente, operações de concentração (já que geralmente há baixo teor do metal de interesse). Para isto, utiliza-se principalmente a catação manual (*handsorting*), a separação em meio denso (tambor ou *dynawhirpool*) e a separação magnética de alta intensidade – operações de flotação, anteriormente frequentes, tem tido desuso (LUZ, LINS, 2008). A Figura 42 apresenta o processo de beneficiamento do espodumênio realizado pela Sons of Gwalia, em Greenbushes, Austrália.

Figura 42 – Processo de Beneficiamento do Espodumênio

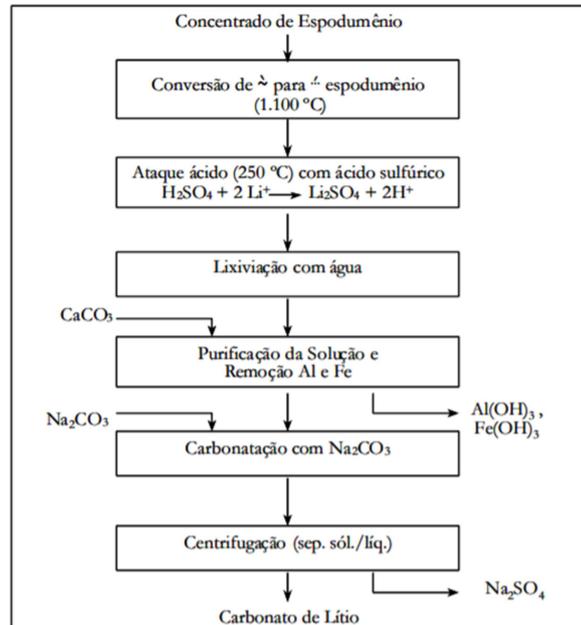


Fonte: (LUZ, LINS, 2008).

A partir daí, existem duas rotas principais para obtenção do carbonato e do hidróxido de lítio: o processo ácido – apresentado na Figura 43, no qual o concentrado de espodumênio decrepitado é sulfatado com ácido sulfúrico e, depois de lixiviado com água, sofre a precipitação do carbonato de lítio, após a reação com a barrilha; e o processo alcalino – apresentado na Figura 44, no qual o concentrado de espodumênio é calcinado com cal

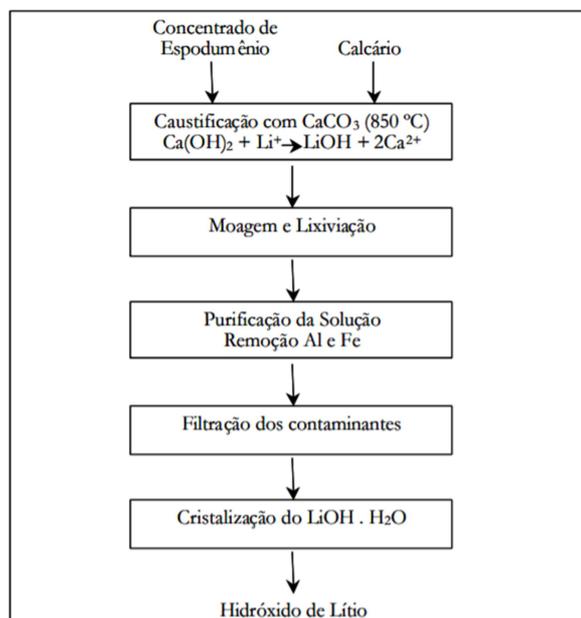
hidratada e o clínquer formado é moído e lixiviado com água e, em seguida, cristalizado sob forma de hidróxido de lítio monohidratado (LUZ; LINS, 2008).

Figura 43 – Processo ácido para obtenção do carbonato de lítio a partir do concentrado de Espodumênio



Fonte: (LUZ, LINS, 2008).

Figura 44 – Processo alcalino para obtenção do carbonato de lítio a partir do concentrado de Espodumênio

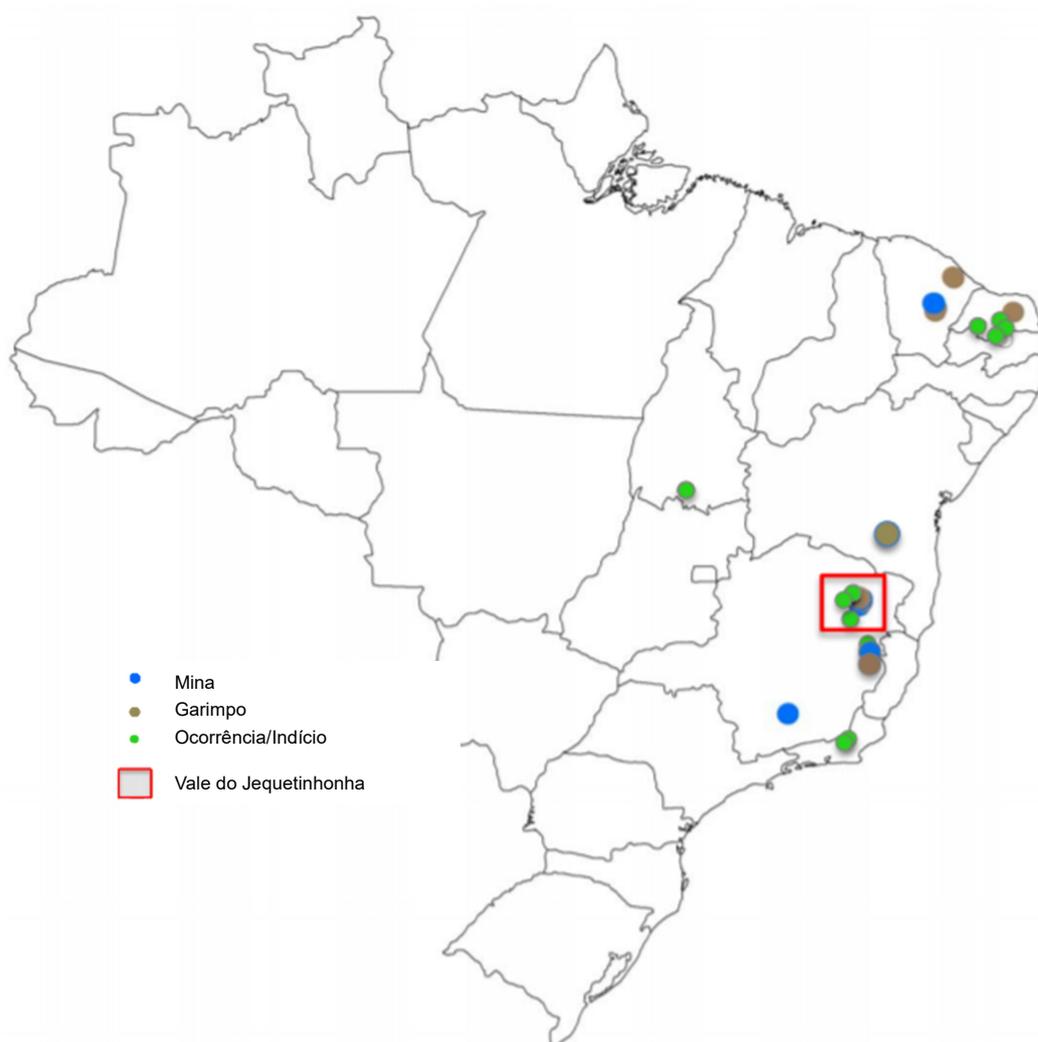


Fonte: (LUZ, LINS, 2008).

No Brasil todo o lítio, que é considerado um recurso mineral estratégico para o país, é extraído através da exploração de minério/pegmatitos – especialmente espodumênio, transformado em carbonato e hidróxido de lítio, ainda que também existam reservas de Petalita, Lepidolita, Ambligonita. Segundo o Serviço Geológico do Brasil há ocorrência de depósitos na Bahia, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro e Goiás, entretanto, as principais reservas encontram-se no Ceará e Minas Gerais (Vale do Jequitinhonha), sendo esta última a região líder na exploração mineral e produção de compostos de lítio (CPRM, 2016).

A Figura 45 apresenta o mapa desta distribuição, ao passo que a Figura 46 apresenta imagens de lavras localizadas no Vale do Jequitinhonha.

Figura 45 – Distribuição da Ocorrência de Lítio em Pegmatito no Brasil



Fonte: Adaptada de (CPRM, 2016).

Figura 46 – Lavras do campo pegmatito de Itinga: a esquerda: cava para lavra a céu aberto (Lavra do Meio); a direita: túnel de uma lavra subterrânea (Mina da Tesoura).



Fonte: (CPRM, 2016).

O estudo está integrado ao Plano Nacional de Mineração 2030 do Ministério de Minas e Energia (MME) e “visa contribuir para o desenvolvimento nacional, subsidiando a formulação de políticas públicas para as tomadas de decisão e o fomento do setor privado no investimento”. Nele, foram apontadas novas áreas potenciais, principalmente no Vale do Jequetinhonha, região na qual se centrou a pesquisa e onde foram estudadas 45 ocorrências, 20 delas inéditas (CPRM, 2016). Isso vem ao encontro da política de planejamento nacional apresentada para o país, que entende internacionalização e a expansão da mineração como pontos importantes para o desenvolvimento do setor:

Nesse processo de mudanças que o País atravessa, o setor mineral exerce papel relevante, porque é a base de diversas cadeias produtivas que geram o padrão de consumo da sociedade moderna. Além disso, as atividades de geologia, mineração e transformação mineral estão interconectadas a espaços territoriais, sociopolíticos e econômicos, com tendência à grande expansão, dadas as projeções de crescimento dos mercados de bens minerais, tanto no Brasil como no mundo. O crescente processo de internacionalização das empresas brasileiras também reflete as mudanças que o País vivencia e aponta para sua maior projeção internacional. (...)Do ponto de vista empresarial, esse movimento possibilita a oportunidade de

aquisição de novas jazidas, expansão dos mercados e diversificação dos consumidores. Além disso, a necessidade de adaptação a outras culturas condiciona a empresa a atuar em ambiente competitivo que a globalização impõe.

(MME, 2010, p.8)

Atualmente, o carbonato de lítio é o segundo produto de lítio mais consumido no Brasil, usado diretamente na indústria de vidro e cerâmica e na indústria de alumínio primário, ao passo que o hidróxido de lítio é o produto de maior uso direto e é obtido a partir do carbonato de lítio ou diretamente de concentrados minerais. Observa-se, entretanto, que atualmente os produtos aqui beneficiados não atingem o grau mínimo necessário para a utilização na produção de baterias (99,5%), não podendo, ao menos por hora, ser destinado a esta finalidade.

De modo geral, quanto aos impactos desta exploração, há importante síntese no trecho que segue:

Não existe, na atualidade, perspectiva de exploração de lítio de forma sustentável. A mineração, por definição, é uma atividade contaminante e que depreda a natureza e o meio-ambiente. Dessa forma, a não existência de uma intervenção ativa e dinâmica por parte dos governos faz com que as perspectivas abertas à posse de um recurso de valorização crescente como o lítio se apresente como um risco, não só ecológico e territorial, mas também produtivo ao se re-primarizar a economia. A mineração, como no dito popular, gera pão para hoje, mas fome para amanhã. Todavia, no caso do lítio, especificamente, fala-se de um neoextrativismo na medida em que sua exploração, diferente de outras atividade de mineração, não implica apenas na extração da matéria-prima, mas também oferece a possibilidade aos países que o possuem de se debruçarem sobre o processo que resultará na transformação e desenvolvimento tecnológicos da matriz energética. Os países sul-americanos, contudo, correm o risco de manter apenas uma participação menor nesse processo, quase como ocorrido anteriormente na história, quando obtiveram algumas moedas por seus recursos naturais e assumiram perigosos riscos e custos de arcarem com os passivos ambientais que a atividade de mineração ocasiona. Assim, os países da região terminariam, ironicamente, financiando eles mesmos o novo desenvolvimento dos países centrais, posto, que no longo prazo, poderiam ficar apenas com terras contaminadas, populações invadidas e deslocadas, ambientes intoxicados, desperdício de água e territórios arrendados, enquanto o centro, novamente, continuaria com seu domínio sobre países em desenvolvimento. Dessa forma, nesse cenário geopolítico global, a disputa global por minerais estratégicos será central para direcionar os movimentos dos produtores, consumidores, provedores e investidores. O difícil dilema parece ser, entretanto, o de atuar diante dos

acontecimentos, prevendo problemas para que, no futuro, estes países não sejam meros provedores de matérias primas. As intervenções devem ocorrer com suficiente flexibilidade para não prejudicar processos que ainda não foram consolidados, implicando a necessidade de fazer adaptações frente aos imprevistos. Se não atuar dessa forma, se repetirão os erros do passado. Erros esses com conhecidas e tristes consequências para os povos explorados.

(DELGADO; STIER; CAMPOS, 2018)

- Fabricação de Baterias

Ainda que as maiores reservas de lítio estejam na América do Sul e a extração ocorra principalmente nesta região, estes países atualmente não tem domínio das tecnologias de fabricação de baterias e, além disso, estão longe dos centros de fabricação de automóveis e eletrônicos, o que se torna um grande obstáculo para que estes países dominem etapas mais avançadas da cadeia produtiva. Frente a isto, observam-se iniciativas que buscam atrair capital estrangeiro para a instalação de plantas de fabricação de componentes de baterias, sobretudo por parte da Argentina e Chile. Neste último, por exemplo, se destaca o acordo selado entre governo e as principais empresas exploradoras de lítio em seu território para que parte da produção seja vendida com preço especial a empresas que instalem fábricas de componentes de baterias no país, o que já tem despertado o interesse de diversos conglomerados. Estes incentivos visam, sobretudo, à produção futura de baterias automobilísticas. Este interesse também é compartilhado pela Bolívia, mas esta abertura é menos acentuada e há um predomínio da atuação do estado nacional, ainda que também existam parcerias com empresas estrangeiras. No país, o foco no armazenamento tem priorizado a produção de baterias destinadas a atender residências campesinas onde não há acesso a rede de energia elétrica.

A maior parte das empresas que fabricam as baterias de íons de lítio se concentra, sobretudo, na China, mas também Coréia do Sul e Japão. Observa-se, entretanto, que nestes países a geração de eletricidade permanece dependente do carvão e de outras fontes poluentes de energia, sendo necessário reduzir a pegada de carbono associada a isso para que as tecnologias de armazenamento sejam de fato aliadas de um desenvolvimento sustentável.

- Reciclagem

Apesar da ascendência na utilização de baterias e tendência de crescimento ainda mais acentuado, os processos de recolhimento e reciclagem destas após sua vida útil não acompanha esta evolução, havendo diversas lacunas a serem preenchidas nesta esfera.

No que diz respeito as baterias de íon-lítio, ainda que menos nocivas ao meio ambiente do que as baterias de chumbo-ácido, é imprescindível que seja dada a destinação correta e seja feita a reciclagem dos materiais que a compõe – o que é favorecido pelo valor de elementos como cobre, níquel e cobalto.

A evolução neste campo deve ser liderada pela China, que definiu um plano de diretrizes para reciclagem de baterias de veículos de nova energia - ao que se destacam as baterias de íon-lítio, devendo incidir também nas outras aplicações desta tecnologia. Para isso, a orientação é que os fabricantes, agora responsáveis pela coleta e reciclagem das baterias usadas, forneçam informações técnicas e treinamentos sobre a desmontagem e reciclagem de seus produtos para as montadoras, que por sua vez devem construir redes de rastreabilidade, manutenção e descarte junto aos clientes, incentivando boas práticas e incluindo subsídios ou pactos de recompra de baterias. Pretende-se assim promover a cooperação entre fabricantes de baterias e montadoras de veículos para a criação de canais de reciclagem. Para o monitoramento disso há uma plataforma de acompanhamento de informações e rastreamento de baterias desde a produção até o descarte. Ainda, há a intenção de que se estabeleçam fundos industriais para explorar o mercado dentro deste processo – como o comércio dos metais reciclados, por exemplo (CHINA, 2019).

4.1.1.1 O caso do Cobalto

O aumento da demanda por lítio para utilização em armazenadores de energia potencializa a busca por outras commodities minerais também associadas a esta produção como, por exemplo, grafita (ânodo), cobalto, manganês, níquel (cátodo), fosforo e flúor (eletrólito).

Além do próprio lítio, a demanda por baterias potencializa o interesse por outras commodities minerais também necessárias para a sua produção, com cadeias produtivas igualmente extensas e globais. Por exemplo, no caso do cobalto, elemento atualmente crucial para o desenvolvimento das baterias de íon-lítio mais comercializadas, que mais da metade do suprimento mundial vem da Republica Democrática do Congo (RDC), sendo cerca de 20%

dessa parcela extraída de forma artesanal na parte sul do país. Uma investigação da Anistia Internacional juntamente com a Afrewatch² realizada em 2016 documentou violações de direitos humanos e exploração de trabalho infantil nas minas daquela região, apresentadas no relatório “É por isso que morremos: violações de direitos humanos na República Democrática do Congo impulsionam o comércio global de cobalto” (“*This is what we die for: human rights abuses in the Democratic Republic of the Congo power the global trade in cobalto*”). Frente a isso, o governo da República Democrática do Congo assumiu o compromisso de eliminar o trabalho infantil no setor de mineração até 2025. O relatório indicou também que cerca de 40% do cobalto é obtido pela Huayou Cobalt, que processa o mineral bruto e o revende a diversos fabricantes de baterias. Entretanto, ao apresentar o relatório a 26 empresas encontradas na cadeia global de fornecimento de cobalto extraído por mineradoras artesanais no sul da RDC, se constatou que nenhuma delas verificava de onde vem o cobalto em seus produtos. Observa-se, entretanto, que a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) tem estabelecida uma estrutura de auditoria em seu Guia de *Due Diligence* para cadeias de fornecimento responsável de minerais de áreas afetadas por conflitos e de alto risco (AMNESTY INTERNATIONAL, 2016).

Segundo o relatório (AMNESTY INTERNATIONAL, 2016), a cadeia de suprimentos tem início no processo de extração nas minas artesanais, sendo o cobalto vendido para casas de compra licenciadas (de modo direto no caso de mineiros adultos e via intermediário no caso de crianças mineradoras). Esses estabelecimentos repassam a empresas que operam fundições e exportam o minério processado – sobretudo, a Congo Dongfang Mining International SARL (CDM), subsidiária da chinesa Zhejiang Huayou Cobalt Company Ltd (Huayou Cobalt), que recebe o material na China e realiza novos processos de enriquecimento. O cobalto é então revendido a fabricantes de componentes de baterias na China e Coreia do Sul, que por sua vez vendem para fabricantes de baterias e, finalmente, são vendidas a empresas que incluem essas baterias em seus produtos. A Figura 47 ilustra esta cadeia de suprimento enquanto a Figura 48 expõe a movimentação do cobalto em função da distribuição global destes agentes. Observa-se que essa cadeia avança ainda para os demais países aonde chegam estes produtos, dentre os quais o Brasil.

² African Resources Watch - ONG africana focada em direitos humanos nas indústrias de extração e minerais.

4.4.2 Perspectivas de Gênero

No que se refere a igualdade de gênero, a transição energética a energia renováveis também pode incidir de maneira positiva neste aspecto, uma vez que a alta geração de empregos proporcionados pela expansão das energias renováveis pode ser uma oportunidade importante: um estudo da IRENA, apresentado no relatório “*Renewable Energy: a Gender Perspective*” (Energias Renováveis: Uma Perspectiva de Gênero), apontou que entre os empregados em tempo integral das empresas participantes do estudo há maior participação das mulheres neste setor (32%) frente aos setores de energia mais convencionais, como petróleo e gás natural (22%). Ainda assim, essa participação é menor nos cargos relacionados a ciência, tecnologia, engenharia e matemática do que nos postos administrativos. Observa-se que são muitas as barreiras enfrentadas pelas mulheres devido a questões relacionadas a gênero, sendo pertinentes ações específicas para contornar isto – contempladas no capítulo 5 (IRENA, 2019).

4.4.3 Propostas Alternativas de Desenvolvimento Sustentável

Em uma perspectiva de desenvolvimento sustentável em resposta a crise ambiental, há estudos que propõe alternativas de desenvolvimento de baixa energia, e no que diz respeito ao armazenamento de energia em específico isto é entendido como uma necessidade a ser integrada no design dos ambientes não como um produto próprio, mas como uma estratégia intrínseca aos outros elementos do meio. Nesta perspectiva, Molison e Holmgren (1978) propuseram um “sistema integral e evolutivo de espécies vegetais e animais perenes ou auto-perpetuantes úteis ao homem” (p. 15), ao que chamaram permacultura. Ainda que inicialmente se referisse a um ecossistema agrícola completo que melhorasse as práticas nesse campo, proporcionando uma agricultura permanente, o conceito e o movimento da permacultura foram expandindo e evoluindo para uma proposta de cultura permanente que extrapola a agricultura. Nesse sentido, em seu trabalho seguinte Mollison (1991) apresenta a seguinte abordagem:

“Permacultura é um sistema de design para a criação de ambientes humanos sustentáveis. A palavra em si não é somente uma contração das palavras permanente e agricultura, mas também de cultura permanente, pois culturas não podem sobreviver muito sem uma base agrícola sustentável e uma ética de uso da terra. Em um primeiro nível, a permacultura lida com as plantas, animais,

edificações e infraestrutura (água, energia, comunicações). Todavia, a permacultura não trata somente desses elementos, mas, principalmente, dos relacionamentos que podemos criar entre eles por meio da forma em que os colocamos no terreno. O objetivo é a criação de sistemas que sejam ecologicamente corretos e economicamente viáveis; que supram suas próprias necessidades, não extrapolem ou poluam e que, assim, sejam sustentáveis a longo prazo. A permacultura utiliza as qualidades inerentes das plantas e animais combinadas com as características naturais dos terrenos e edificações, para produzir um sistema de apoio à vida para a cidade ou a zona rural, utilizando a menor área praticamente possível. A permacultura é baseada na observação de sistemas naturais, na sabedoria contida em sistemas produtivos tradicionais e no conhecimento moderno, científico e tecnológico.”

(MOLLISON; SLAY, 1991, p. 13)

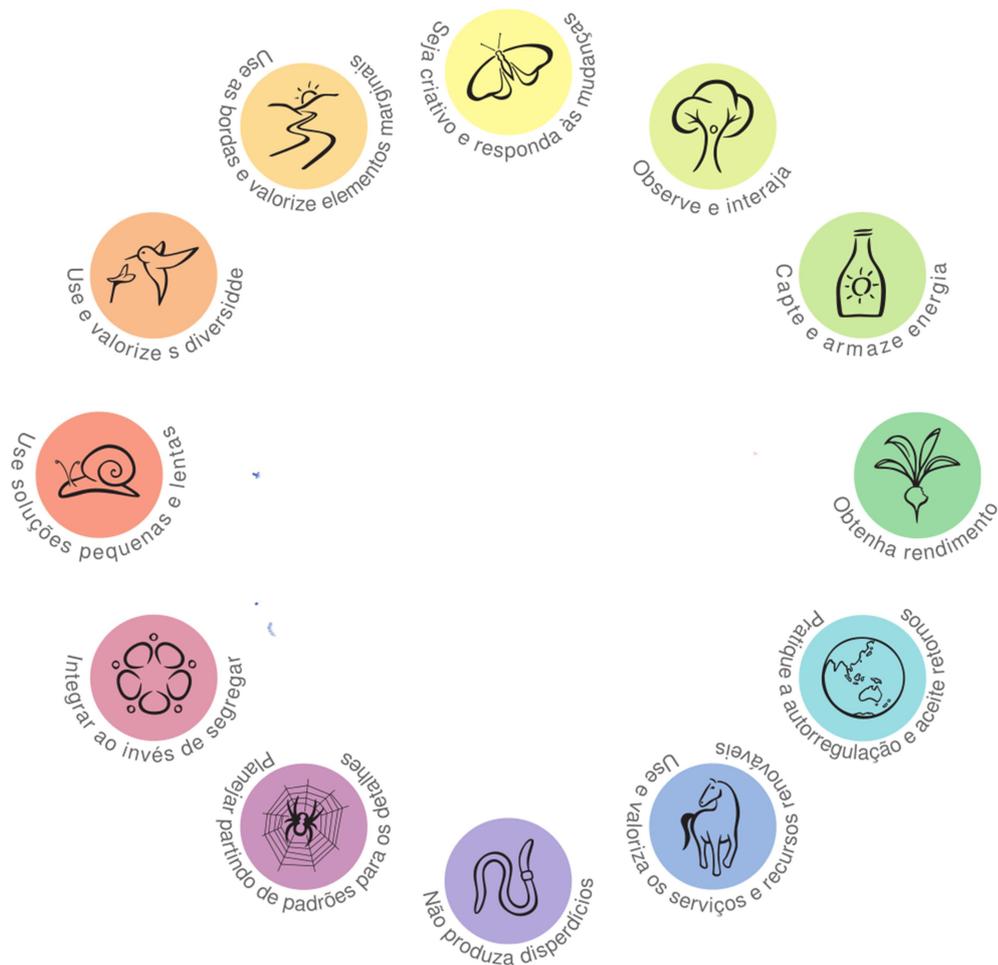
Nesta ótica mais abrangente, também Holmgren (2002) se refere à permacultura como “o desenho consciente de paisagens que imitem os padrões e relações encontrados na natureza, enquanto geram abundante comida, fibras e energia para satisfazer as necessidades locais (p. 16). Isto é, portanto, um movimento amplo e múltiplo, norteado por um método de análise e design.

Tendo como chave a cooperação ao invés da competição, a permacultura propõe uma lógica de trabalho com (e não contra) o meio ambiente, entendendo, respeitando e interagindo com os processos naturais e compreendendo a dinâmica do mundo em uma visão holística na qual o sujeito se posicione como parte e aliado do seu entorno. Nesta perspectiva, sua aplicação deve estar alicerçada sobre princípios éticos de (a) cuidado com a terra, (b) com as pessoas e em (c) impor limites ao consumo e a reprodução, e distribuição dos excedentes (HOLMGREN, 2002).

A aplicação disso é sintetizada em 12 princípios de design, dentre os quais se frisa aqui a captação e armazenamento de energia e a utilização de recursos e serviços renováveis. Compreende-se a energia como um recurso proveniente de diversas fontes, valorizando as renováveis - como água, vento, sol e biomassa. Assim, faz-se necessário capturar e armazenar energia nos momentos de abundância para utilização posterior. Além da possibilidade de aplicações específicas para isto (como na utilização de energia solar para fins de aquecimento), deve-se reconhecer e explorar o armazenamento na própria paisagem (como o uso de técnicas para potencializar a contenção de água no próprio solo, por exemplo, em detrimento dos sistemas de irrigação tradicionais). Busca-se reduzir a entropia e a implementação de sistemas mais inteligentes no todo, integralmente. Também se preza pela

valorização da diversidade (dentre o que também da matriz energética), por evitar o desperdício de recursos e pela utilização de soluções pequenas e lentas. A Figura 49 expõe os 12 princípios da permacultura.

Figura 49 – Princípios de Design em Permacultura

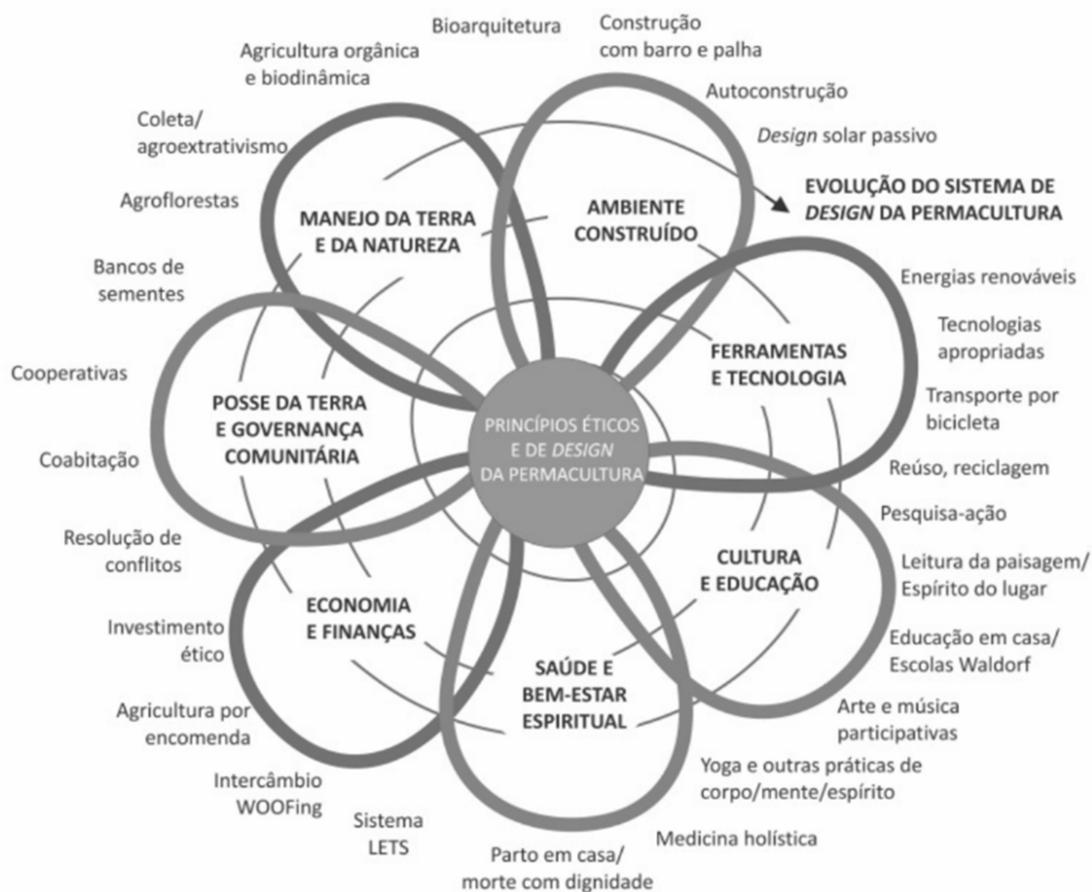


Fonte: (HOLMGREN, 2002).

Implicitamente desde os primeiros escritos sobre o tema, a permacultura parte da compreensão do declínio de recursos causado pela exploração do planeta (sobretudo, de combustíveis fósseis) e, frente a isso, a necessidade de desenvolvimento de uma cultura sustentável de baixa energia. Esta transição para uma cultura sustentável, em que passamos de sujeitos consumidores dependentes para cidadãos produtivos e responsáveis, requer o domínio de alguns elementos-chave, expressos na Flor da Permacultura, apresentada na Figura 50. Nela, desenha-se uma espiral evolutiva que começa pelo atendimento aos princípios éticos e de design e se desenvolve passando por sete pétalas - eixos centrais que envolvem tanto

recursos físicos e energéticos como humanos, sendo que a periferia da flor cita soluções associadas a um aspecto mais amplo da permacultura. Este avanço deve se desenrolar inicialmente em um nível pessoal e local, prosseguindo para o nível coletivo e global (HOLMGREN, 2002).

Figura 50 – Flor da Permacultura



Fonte: (HOLMGREN, 2002).

Esta perspectiva tem sinergia com outras visões que tem ganhado espaço no debate acerca do desenvolvimento sustentável, como as propostas de decrescimento e valorização do bem viver defendidas pelo economista Alberto Acosta (ACOSTA, 2016) e da economia Donut proposta pela economista Kate Raworth (RAWORTH, 2019), por exemplo. De modo geral, propõem uma visão energética extremamente associada à eficiência, a geração distribuída, ao armazenamento inteligente de recursos, a modelos de economia circular e a utilização de fontes renováveis, mas, sobretudo, considerando que isso não pode estar desconexo da valorização da qualidade de vida humana e ambiental e do respeito aos limites impostos pelo planeta.

5 APONTAMENTOS

Este capítulo apresenta os cenários identificados para os horizontes de tempo considerados neste estudo – 2020, 2030, 2040, 2050, bem como os caminhos propostos nestas direções. Vale frisar que este é um trabalho “vivo”, em desenvolvimento, sendo um ponto para alavancar discussões e direcionar ações, mas jamais um ponto final ou rota definida, devendo evoluir e expandir junto às mudanças e inovações (tecnológicas, de mercado, políticas e sociais) que incidem nessa conjuntura.

Este roadmap está estruturado em 4 eixos, categorias adotadas também no questionário aplicado: tecnologias, ciclo de vida, regulações e parcerias estratégicas. Estes tópicos contemplam temas relacionados, a saber:

- Tecnologias: Tipologias, pesquisa, desenvolvimento, aplicações, características e parâmetros dos sistemas, infraestrutura, processos, serviços associados.
- Ciclo de Vida: Cadeia produtiva, impactos ambientais e sociais.
- Regulações: Leis e normas, políticas de estado, incentivos.
- Parcerias Estratégicas: Alianças estratégicas, projetos de cooperação, estratégias de desenvolvimento.

Tecnologias

O questionário aplicado apontou para a evolução discutida a seguir.

Dada a pergunta "Quanto ao desenvolvimento de sistemas para armazenamento residencial de energia, qual(is) devem ser a(s) tecnologia(s) priorizada(s)?", a maioria dos participantes assinalou tecnologias de íon-lítio para os quatro cenários (2020, 2030, 2040 e 2050).

Quanto a vida útil destes sistemas, apontou-se que a perspectiva de durabilidade dessas tecnologias em 2020 será de até 7 anos, de 7 a 10 anos em 2030, de 10 a 15 anos em 2040 e podendo alcançar 20 anos em 2050.

Quanto as principais perspectivas de uso para as tecnologias de armazenamento residencial de energia, seja pelos usuários finais, seja pelo sistema elétrico de potência brasileiro (geração, transmissão, distribuição) e serviços ancilares, as respostas obtidas apontaram para os cenários apresentados na Figura 51.

Figura 51 – Perspectivas de uso das tecnologias de armazenamento residencial

■ Usos pelo Usuário Final

■ Usos pelo SEP (geração, transmissão, distribuição) e Serviços Ancilares

Aplicação/finalidade	2020		2030		2040		2050	
Arbitragem/Deslocar picos de demanda	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Regulação de Frequência				✓		✓		✓
Suporte de Tensão		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controle do Fator de Potência			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Capacidade Black-Start				✓		✓		✓
Postergação de Melhorias na Rede				✓		✓		✓
Alívio de Congestão				✓		✓		✓
Redução de Perdas		✓		✓		✓		✓
Melhora na Qualidade de Energia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Confiabilidade e Resiliência	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gerenciamento da Demanda	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Precificação em Tempo Real e Tempo de Uso	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Elaboração própria.

Discussão e Cenários Considerados

A indicação de que a tipologia de baterias de íon-lítio expanda e siga predominando em aplicações de armazenamento residencial de energia, como apontada pelos respondentes, corresponde as tendências apresentadas no capítulo 4.

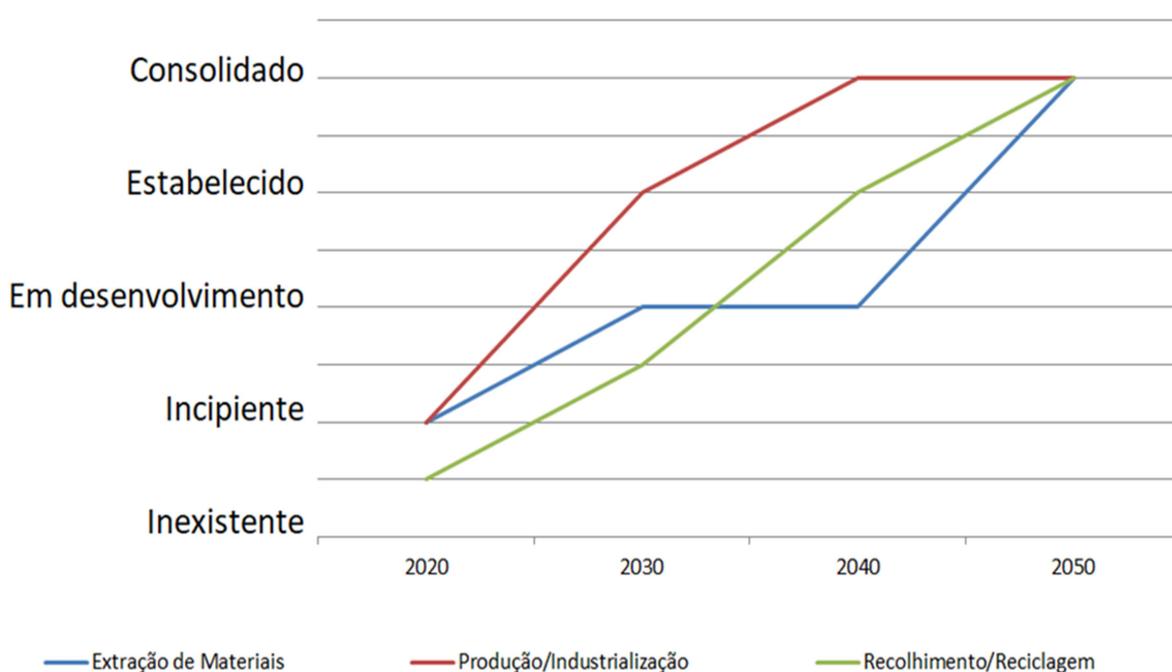
Observa-se que ganhos em eficiência e vida útil são esperados, mas deve-se ponderar que isto pode estar associado não só ao dispositivo de armazenamento propriamente dito, mas aos demais componentes do sistema, como os métodos de gerenciamento da bateria, por exemplo.

Quanto as aplicações, o maior interesse por parte dos consumidores ocorre pela possibilidade de gerenciamento da demanda, de gestão de contas frente a precificação por tempo de uso e em tempo real. Ao mesmo tempo, há serviços ancilares que são do interesse do sistema de potência e, uma vez desenvolvidas estratégias de remuneração, podem contribuir para a evolução dos sistemas de armazenamento.

Ciclo de Vida

Quanto ao ciclo de vida do produto, no que se refere a maturidade dos processos de extração de materiais, produção/industrialização e recolhimento/reciclagem de sistemas de armazenamento de energia no Brasil, as respostas obtidas desenharam a evolução apresentada na Figura 52. Observa-se que no caso da reciclagem tem-se a seguinte compreensão: Incipiente: reciclagem inferior a 30%; Em desenvolvimento: reciclagem de 30-60%; Estabelecido: reciclagem de 60-90%; Consolidado: Reciclagem superior a 90%.

Figura 52 – Maturidade dos processos relacionados ao ciclo de vida do produto



Fonte: Elaboração própria.

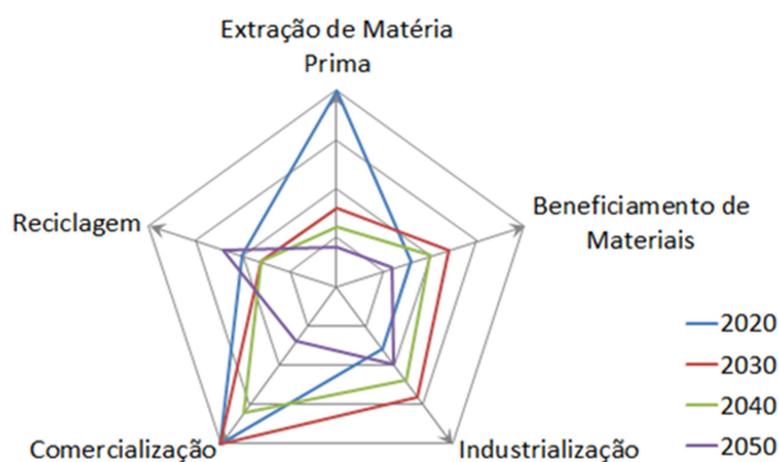
Discussão e Cenários Considerados

A visão comum aponta para a consolidação de todas as etapas da cadeia produtiva em solo nacional no horizonte de 30 anos, ainda que se reconheça que o estado atual destes setores encontra-se num momento bastante inicial de evolução – o que é comprovado também nas análises do Capítulo 4.

Parcerias Estratégicas

Quanto a participação nacional na cadeia de produção, consumo e processamento final de tecnologias de armazenamento residencial de energia, as respostas obtidas indicaram os cenários apresentados na figura 53.

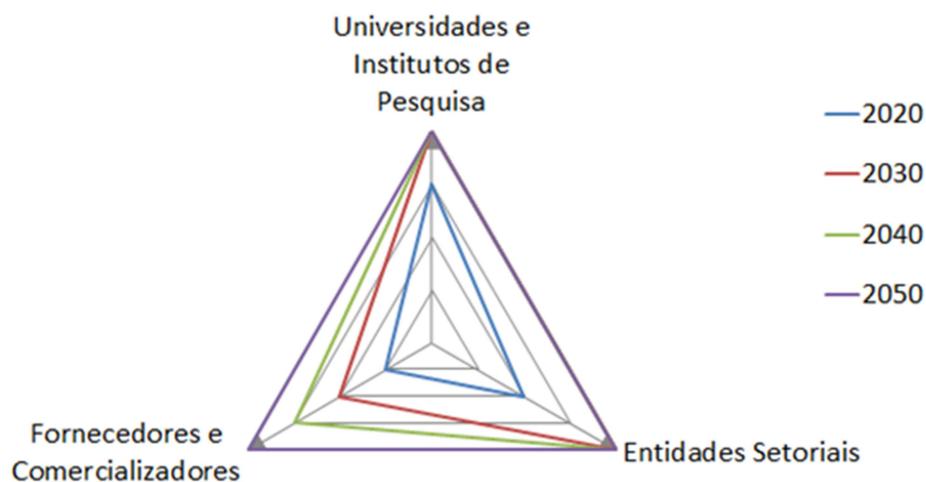
Figura 53 – Perspectivas para participação nacional na cadeia de produção



Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao grau de atuação em parcerias estratégicas relacionadas a sistemas de armazenamento de energia no Brasil, as respostas obtidas indicaram as interações apresentadas na figura 54.

Figura 54 – Perspectivas para parcerias estratégicas



Fonte: Elaboração própria.

Discussão e Cenários Considerados

Observa-se que as indicações apontadas na Figura 53 mostram-se conflitantes com aquelas apresentadas na Figura 52, bem como ao que se verifica nas análises expostas no capítulo 4 para os estados de participação nacional em 2020, por exemplo. Além disso, apresentam uma evolução ilógica, com retrocesso em diversos setores. Considera-se que pode ter havido falha na forma como a questão foi formulada, dificultando o entendimento dos respondentes. Por estas razões, estes apontamentos foram tidos como inconsistentes, sendo desconsiderados.

Quanto as parcerias estratégicas, busca-se interação e parceria entre todos os setores abordados.

Regulamentação

Quanto a perspectiva para regulação nacional para sistemas on grid que possuam recurso para armazenamento de energia, a maioria das respostas indicaram que isto estará regulado para uso pelo SEP (geração, transmissão e distribuição) e usuários finais em 2020, ao passo que em 2030 também para uso em serviços ancilares. Já quanto as normas técnicas para sistemas brasileiros de armazenamento residencial de energia, as respostas apontaram que estes atenderão a padrões nacionais em 2020 e a padrões nacionais e internacionais em 2030.

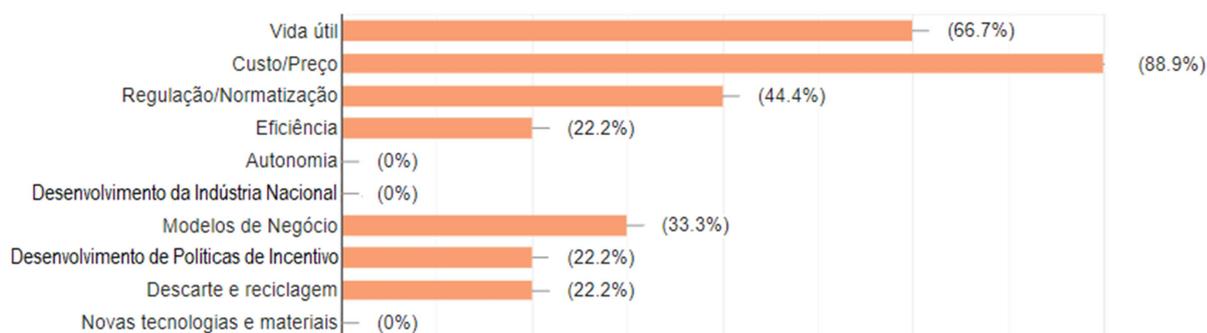
Discussão e Cenários Considerados

Ainda que os apontamentos indiquem que a inserção de armazenadores de energia na rede elétrica será regulamentada ainda em 2020, as análises do capítulo 4 mostram que não há indícios que esta regulação ocorra em tão breve tempo. Entretanto, isso pode dar-se dentro da faixa de curso prazo considerada (2020-2030), bem como a regulação prevista para fornecimento de serviços ancilares, tendo sido consideradas estas perspectivas. Igualmente, considerou-se o avanço da legislação nacional que normatize os sistemas de armazenamento de energia neste mesmo horizonte, sendo elaboradas com base em padrões internacionais.

5.1 DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Quanto aos principais desafios/obstáculos que devem ser superados para o avanço dos sistemas residenciais de armazenamento de energia no Brasil, no questionário aplicado os respondentes citaram os itens abaixo elencados e, em uma rodada posterior, os demais participantes puderam marcar os pontos com os quais concordassem (porcentagem em parêntese). A Figura 55 apresenta isto.

Figura 55 – Principais desafios para a evolução dos sistemas de armazenamento de energia

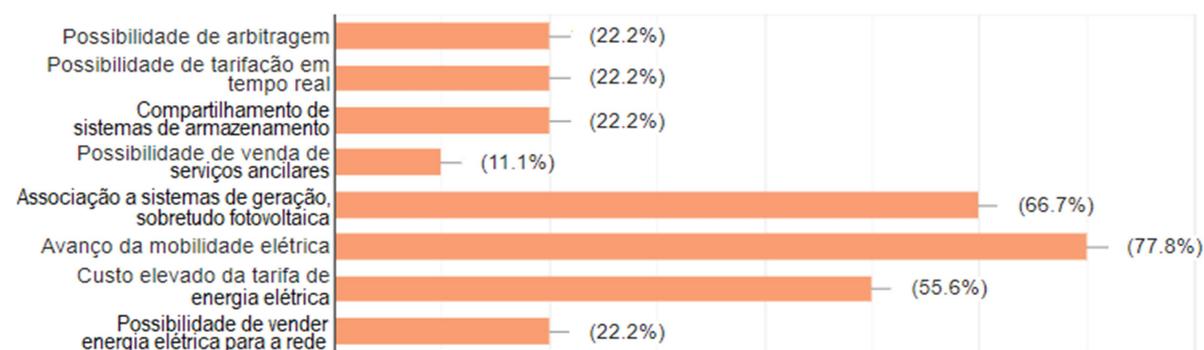


Fonte: Elaboração própria.

Assim, apontou-se que os maiores desafios a serem superados são o preço/custo, vida útil e a regulamentação/normatização destes sistemas.

Já no que se refere as principais oportunidades que podem favorecer o avanço dos sistemas residenciais de armazenamento de energia no Brasil, utilizando a mesma metodologia acima descrita, houve destaque para os seguintes itens, apresentados na Figura 56.

Figura 56 – Principais oportunidades para a evolução dos sistemas de armazenamento de energia



Fonte: Elaboração própria.

Discussão e Cenários Considerados

Os estudos apresentados nos capítulos 3 e 4 apontam para oportunidades de evolução e disseminação dos sistemas residenciais de armazenamento de energia principalmente pelo interesse em gerenciamento da demanda, redução tarifária ou confiabilidade no suprimento, associação a fontes renováveis de geração intermitente de energia e sistemas *off-grid*. Também, isso pode ser impulsionado futuramente pela possibilidade de remuneração por serviços ancilares. Além disso, se reconhece que esse desenvolvimento deve ser puxado, sobretudo, por aplicações em veículos elétricos. Quanto aos principais desafios a serem superados, nota-se o elevado custo destes sistemas como uma barreira importante, bem como a lenta evolução das regulações e um design de mercado que dificulta a entrada destes agentes. Também, o impacto ambiental da produção destas tecnologias ainda é alto e as estratégias de descarte e reciclagem necessitam ser aprimoradas e amadurecidas. No que se refere às baterias de íon-lítio, soma-se a isso preocupações quanto à segurança, devido a acidentes relacionados ao superaquecimento dos sistemas. Dentre os desafios e oportunidades identificados para o desenvolvimento dos sistemas de armazenamento de energia no Brasil, elaborou-se a matriz SWOT apresentada na Tabela 12. Foram considerados fatores internos aqueles que dizem respeito propriamente aos sistemas residenciais para armazenamento de energia, sendo os fatores externos aqueles que incidem direta ou indiretamente nestes.

Tabela 12 – Matriz SWOT

FATORES INTERNOS			
FORÇAS	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidade para o SEP - Flexibilidade, conforto e economia para o usuário final -Gerenciamento da demanda 	<ul style="list-style-type: none"> -Segurança -Alto custo da tecnologia -Baixa vida útil -Danos ambientais no ciclo produtivo e pós vida útil 	FRAQUEZAS
OPORTUNIDADES	<ul style="list-style-type: none"> -Crescimento de REDs -Gerenciamento da demanda -Novos modelos de negócios -Parcerias estratégicas -Associação em serviços ancilares 	<ul style="list-style-type: none"> -Vácuos regulatórios -Descarte e reciclagem -Aprimoramento da rede elétrica -Limitação dos mercados tradicionais 	BARREIRAS
FATORES EXTERNOS			

Fonte: Elaboração Própria.

5.2 ITENS DE AÇÃO

De modo a direcionar o desenvolvimento dos sistemas de armazenamento residencial de energia, esta sessão indica alguns itens de ação a serem praticados a curto (2020-2030), médio (2030-2040) e longo prazo (2040-2050), para a consolidação de uma visão de sistemas residenciais de armazenamento de energia integrados a rede elétrica possibilitando flexibilidade e segurança energética dentro de um contexto de desenvolvimento sustentável. Esta proposta se baseia nas direções apresentadas na subseção 5.1, bem como nos estudos analisados no capítulo 4. Uma abordagem gráfica desta proposta está disponível em <http://bit.ly/roadmapgrafico>

Entende-se que estes esforços dependem de alguns atores em especial, os quais serão apontados como segue:

- (G) Governos e entidades reguladoras
- (I) Indústria e empresas
- (F) Instituições financeiras
- (C) Concessionárias e agentes do SEP
- (P) Instituições de pesquisa e Universidades

Os itens propostos estão também foram identificados de acordo com os eixos temáticos no qual o trabalho foi estruturado, a fim de orientar prioridades (abordadas no item 5.4). Além disso, foram associados indicadores, os quais se propõe acompanhar para verificar a evolução destas ações.

(G) (C) (I) (P) Compartilhar as lições aprendidas para apoiar o desenvolvimento a longo prazo. (Eixo: Parcerias estratégicas) - Indicador: Projetos em cooperação; Congressos e eventos específicos sobre o tema.

(C) (I) Explorar novos modelos de negócios para superar a barreira dos altos custos iniciais de soluções inovadoras e eficientes de armazenamento de energia. (Eixo: Parcerias estratégicas) - Indicador: Expansão do mercado; Evolução da viabilidade econômica.

(G) (C) (2020-2030) Regulamentar a instalação de sistemas de armazenamento conectados a rede elétrica. (Eixo: Regulações) - Indicador: Regulação publicada.

(G) (2020-2030) Regulamentar a comercialização do excedente de geração da micro e minigeração. (Eixo: Regulação) Indicador: Regulação publicada.

(G) (C) (2020-2030) Eliminar distorções de preços implementando esquemas de preços por tempo de uso e demanda. (Eixo: Regulações) - Indicador: Regulação tarifária.

(G) (2020-2030) Divulgação de cadastro de empresas, fornecedores e serviços associados a *smart grids*, contemplando sistemas de armazenamento de energia. (Eixo: Parcerias Estratégicas) - Indicador: Acesso a cadastro ou similar.

(G) (P) (C) (2020-2030) Desenvolvimento de um plano de readequação da infraestrutura, buscando identificar principais gargalos para a transição à *smart grids*, dentre o que a disseminação de sistemas de armazenamento residencial de energia. (Eixo: Tecnologias) – Indicador: Desenvolvimento do estudo.

(G) (P) (2020-2030) Capacitação e acreditação de laboratórios de testes e ensaios para sistemas de armazenamento de energia. (Eixo: Regulação/Tecnologias) – Indicador: Número de laboratórios creditados.

(G) (2020-2030) Definir o armazenamento de energia como classe de ativo independente. (Eixo: Regulações) – Indicador: Regulações publicadas.

(G) (2020-2030) Apoio governamental ao uso de armazenamento de energia em comunidades remotas e fora da rede. (Eixo: Tecnologias/Aplicações) – Indicador: Regulações publicadas; número de projetos.

(G) (C) (2020-2030) Criar cadeias de valor locais em comunidades remotas. (Eixo: Parcerias Estratégicas) – Indicador: número de projetos.

(P) (C) (I) (G) (2020 - 2030) Apoiar projetos de demonstração direcionados para tecnologias de armazenamento de energia mais maduras, mas ainda não amplamente implantadas, para documentar as classificações de desempenho e segurança do sistema em diversas aplicações. (Eixo: Tecnologias/Parcerias Estratégicas) – Indicador: número de projetos.

(G) (P) (I) (C) (2020-2030) Apoiar investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia em estágio inicial, incluindo sistemas que incorporam o uso de armazenamento de energia elétrica e térmica (híbridos) para maximizar o uso de recursos e melhorar a eficiência. (Eixo: Tecnologias) - Indicador: número de projetos; editais de financiamento.

(P) (G) (2020-2030) Estabelecer cooperação internacional e nacional em dados para promover a pesquisa, monitorar o progresso e avaliar os gargalos em pesquisa e desenvolvimento. (Eixo: Parcerias Estratégicas) Indicador: número de projetos com vínculo internacional.

(G) (P) (2020-2030) Análise completa em apoio a avaliações regionais para quantificar o valor do armazenamento de energia em regiões específicas e mercados de energia e promover o desenvolvimento e a adoção de ferramentas dedicadas à avaliação de propostas de projetos de armazenamento de energia. (Eixo: Tecnologias) – Indicador: Análises publicadas; ferramentas desenvolvidas;

(F) (G) (I) (2020-2030) Incentivar o cofinanciamento de tecnologias de geração de eletricidade distribuída com armazenamento integrado. (Eixo: Regulações) – Indicador: número de instalações; políticas de incentivo.

(P) (G) (C) (2020-2030) Desenvolver programas aprimorados de treinamento da força de trabalho com conteúdo referente às tecnologias de armazenamento de energia. (Eixo: Tecnologia) – Indicador: Programas implementados.

(G) (C) (2020-2030) Desenvolver e implementar programas para a utilização da capacidade distribuída de armazenamento de energia do lado da demanda, como aquecedores de água residenciais com temporizadores e recursos de controle remoto para mudar a demanda dos períodos de pico para fora de pico. (Eixo: Regulações/Tecnologias) – Indicador: programas desenvolvidos; sistemas instalados.

(C) (G) (2020-2030) Implementar campanhas de conscientização do consumidor para aumentar a utilização da capacidade distribuída de armazenamento de energia do lado da

demanda. (Eixo: Parcerias Estratégicas) - Indicador: programas desenvolvidos; sistemas instalados.

(C) (P) (2020-2030) Compilar um conjunto de dados abrangentes sobre o comportamento da produção de geração renovável com altos níveis de granularidade para permitir a avaliação em uma ampla gama de aplicações de tecnologia de armazenamento de energia ao longo do ano. (Eixo: Tecnologias) – Indicador: Acesso aos dados.

(P) (I) (2020-2030) Melhorar os elementos do conjunto da bateria para melhorar a confiabilidade e o desempenho do sistema. (Eixo: Tecnologias) – Indicador: Projetos de P&D.

(F) (C) (2020-2030) Simplificar o processo de financiamento para novos sistemas de armazenamento, com diretrizes claras sobre os requisitos de documentação. (Eixo: Parcerias Estratégicas) – Indicador: evolução do número de sistemas instalados.

(G) (2020-2030) Definir padrões para desenvolver rotulagem de desempenho de sistemas de armazenamento de energia. (Eixo: Regulações) – Indicador: definição de padrões de desempenho.

(G) (I) (P) (2020 – 2030) Incentivos especiais para produção de armazenadores de energia em território nacional. (Eixo: Tecnologias) – Indicador: número de empreendimentos.

(G) (P) (2020-2030) Definir padrões de produção, segurança, descarte e reciclagem (Eixo: Regulações) – Indicador: definição dos padrões.

(P) (I) (2020-2030) Mapear as cadeias de suprimentos de minerais-chave dos sistemas de armazenamento de energia. (Eixo: Ciclo de Vida) – Indicador: divulgação de estudos.

(G) (2020-2030) Exigir que os impactos nos direitos humanos na cadeia produtiva sejam identificados, prevenidos e tratados, e que os direitos do trabalhador, incluindo saúde, igualdade e não discriminação, sejam protegidos e executados legalmente. (Eixo: Regulações/Ciclo de Vida) – Indicador: Publicação de legislação; Publicação de relatórios; Fiscalização.

(I) (2020-2030) Divulgar informações sobre estratégias para prevenir, identificar e abordar violações de direitos humanos e riscos ambientais na cadeia produtiva. (Eixo: Ciclo de Vida) – Indicador: publicação de relatórios.

(G) (I) (2020-2030) Criar sistema de rastreamento de produtos de armazenamento de energia. (Eixo: Ciclo de Vida/Parcerias Estratégicas) – Indicador: criação do banco de dados.

(G) (2020-2030) Definir regulações que responsabilizem as empresas pelo recolhimento e reciclagem. (Eixo: Ciclo de Vida) – Indicador: publicação de regulação.

(P) (I) (G) (2020-2030) Buscar parcerias tecnológicas para manufatura de células. (Eixo: Tecnologias/Parcerias Estratégicas). Indicador: Produção nacional.

(G) (I) (2020-2030) Articular estratégias para o desenvolvimento da indústria nacional no setor de armazenamento. (Eixo: Tecnologias). Indicador: Produção nacional.

(I) (2020-2030) Desenvolver logística de rastreamento, recolhimento e reciclagem dos produtos de armazenamento de energia. (Eixo: Ciclo de Vida) – Indicador: Porcentagem de recolhimento e reciclagem.

(I) (G) (2020 – 2030) Estender incentivos vinculados a energias renováveis aos sistemas de armazenamento de energia. (Eixo: Parcerias Estratégicas/Regulações) – Indicador: evolução no número de instalações.

(G) (2030-2040) Desenvolver mercados e ambientes regulatórios que permitam o pagamento por serviços e o empilhamento de benefícios para sistemas de armazenamento de energia. (Eixo: Regulações) – Indicador: Regulações publicadas.

(G) (C) (2030-2040) Inclusão de tecnologias de armazenamento de energia como opções para o fornecimento de serviços de energia (Eixo: Regulações) – Indicador: publicação da regulação.

(C) (2030-2040) Simplificar o processo de localização e permissão para novos projetos de armazenamento de energia. (Eixo: Regulações) – Indicadores: Evolução do número de instalações conectadas a rede.

(G) (P) (2030-2040) Estabelecer um conjunto abrangente de padrões internacionais de maneira que permita revisões incrementais à medida que as tecnologias de armazenamento de energia amadurecem. (Eixo: Regulações/Parcerias Estratégicas) – Indicador: Padrões definidos.

(G) (2030-2040) Implementar programas de teste para documentar a segurança e o desempenho das tecnologias de armazenamento de energia, com base nos padrões e protocolos publicados. (Eixo: Regulações) – Indicador: programas implementados.

(P) (C) (2030-2040) Melhorar o gerenciamento e operação dos sistemas de bateria distribuídos. (Eixo: Tecnologia) – Indicador: Projetos P&D.

(P) (I) (2020-2030) Aprimorar o processo de beneficiamento de lítio em território nacional para atingir grau de pureza para aplicações em armazenamento de energia. (Eixo: Tecnologia/Ciclo de Vida) – Indicador: Produção nacional de lítio com pureza adequada para aplicação em armazenadores de energia.

(P) (C) (G) (2030-2040) Promover esforços de pesquisa e desenvolvimento focados na otimização da integração de tecnologias de armazenamento de energia no sistema de energia. (Eixo: Tecnologias) – Indicador: Projetos de P&D.

(I) (G) (C) (P) (2020-2030-2040-2050) Apoio ao desenvolvimento contínuo de tecnologias e aplicações por meio de programas de pesquisa e desenvolvimento financiados pelo governo e iniciativa privada. (Eixo: Tecnologias/Parcerias Estratégicas) – Indicador: Editais lançados.

(P) (2020-2030-2040-2050) Avaliar e disseminar amplamente o aprendizado e a experiência de instalações estabelecidas. (Eixo: Parcerias Estratégicas) – Indicador: Projetos desenvolvidos; Momentos de compartilhamento; Estratégias de difusão.

(G) (C) (2040 - 2050) Incentivar a modernização das instalações de armazenamento existentes para melhorar a eficiência e a flexibilidade. (Eixo: Tecnologias) - Indicador: Programas implementados.

5.3 MARCOS E METAS

Com base nas ações propostas para o desenvolvimento de sistemas residenciais de armazenamento de energia, propõem-se os seguintes marcos e metas a serem alcançados:

2020 – 2030: Regularização de sistemas de armazenamento de energia conectados na rede; evolução no número de sistemas instalados; implementação de programas de gerenciamento de demanda; modelo de tarifação por tempo de uso e demanda; produção de lítio para aplicação em sistemas de armazenamento de energia em território nacional; produção de sistemas de armazenamento de energia em território nacional; creditação de laboratórios para certificações de armazenadores; regulação para recolhimento e reciclagem de sistemas de armazenamento; definição de padrões e protocolos de segurança e desempenho das tecnologias de armazenamento de energia;

2030 – 2040: definição de agentes de armazenamento como ativos independentes; regularização para prestação de serviços ancilares; alinhamento de padrões internacionais de segurança e desempenho.

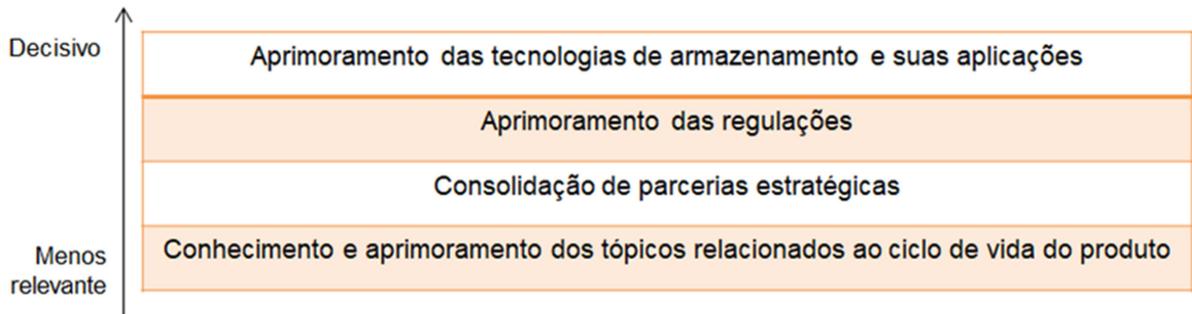
2040 – 2050: expansão de sistemas de armazenamento; atualização dos sistemas existentes; domínio da cadeia produtiva;

5.4 PRIORIDADES

As diversas mudanças que precedem a inserção e expansão da utilização de sistemas residenciais de armazenamento no setor elétrico brasileiro necessitam tempo e um custo certamente elevado para se consolidarem, também porque requerem um esforço em diversas frentes. Sobretudo em um cenário de austeridade econômica, é importante a definição de prioridades dentro deste grande leque de ações necessárias para alcançar as perspectivas de desenvolvimento desejadas, de modo a garantir que os limitados recursos sejam investidos às ações de maior impacto no curto prazo e a criação de bases de melhorias de longo prazo. (IEA, 2014)

Frente a possibilidade de restrições ou limitações na aplicação do roteiro proposto, buscou-se definir prioridades de ação tomando-se como base a relevância dos tópicos abordados para o desenvolvimento dos sistemas de armazenamento de energia no Brasil. Neste sentido, o questionário aplicado apontou para a classificação apresentada na Figura 57.

Figura 57 – Ranking de prioridades



Fonte: Elaboração própria.

5.5 CICLOS DE REVISÃO

Sugere-se que este processo de roadmap seja mantido vivo pela atuação do Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência, verificando e atualizando os indicadores propostos anualmente e dedicando-se a uma atualização mais aprofundada em um horizonte de três anos após sua publicação – ou quando a evolução do contexto e/ou os indicadores apontarem esta necessidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por certo que o armazenamento de energia desempenha um papel crucial para o desenvolvimento de diversos setores e ganha particular relevância no que diz respeito ao avanço da geração distribuída e a exploração de fontes renováveis intermitentes na busca por uma matriz energética mais sustentável, uma vez que estes sistemas viabilizam o fornecimento de energia de forma segura e confiável. Quanto aos sistemas residenciais, a possibilidade de gerenciamento da demanda e de ganhos quanto a confiabilidade, qualidade de energia e resiliência mostram-se como perspectivas interessantes aos usuários finais. Além disso, podem ainda contribuir no fornecimento de serviços ancilares, oferecendo benefícios ao SEP como um todo e sendo remunerados para isso, o que favoreceria a captação de vários fluxos de valor e favoreceria a viabilidade destes sistemas. Entretanto, em nível de Brasil, estes sistemas se encontram em um momento inicial no sentido de inserção e difusão – tanto pelo custo ainda alto quanto porque até o momento não há regulamentação que possibilite a conexão destes sistemas a rede elétrica, restringindo seu uso a aplicações fora da rede. De todo modo, a escalada global de desenvolvimento neste campo e dos esforços para a consolidação de uma rede mais inteligente e flexível, bem como a expansão dos sistemas de geração de energia a partir da fonte solar em residências no Brasil, tende a impulsionar este avanço nos próximos anos. Destaca-se a importância de visualizar a gestão e o armazenamento de energia na residência de forma integrada, com atenção para as possibilidades tidas nos processos que envolvem energia térmica.

Observa-se que as recentes alterações (ainda em tramitação) na legislação que trata do sistema de compensação de créditos da micro e minigeração distribuída tendem a desacelerar a expansão destes sistemas, que vinham numa crescente ascensão – e, conseqüentemente, também afetar a perspectiva dos sistemas de armazenamento, já que, de modo geral, a evolução deste mercado se dá sobretudo a associado a geração própria. Entretanto, estas modificações tornam mais vantajosa a utilização da energia no próprio local, podendo futuramente favorecer a adoção de sistemas de armazenamento para esta condição. Além disso, alterações tarifárias tendem a ocorrer e direcionar para a aplicação de tarifas binômias e para modelos tarifários por tempo de uso, o que também torna mais interessantes as aplicações de armazenamento (com o pressuposto de que a inserção destes sistemas seja regulamentada).

Quanto as tecnologias de armazenamento, há um domínio das tipologias de íon-lítio, que tem evoluído na curva de maturidade bem como experimentado importante redução de

preço, tendendo a consolidar sua predominância nas aplicações de armazenamento residencial de energia. Também, este é um caminho bastante provável dado o interesse de retorno de investimento aplicado no desenvolvimento desta tecnologia, ao menos nos próximos anos. Entretanto, as diversas barreiras, sobretudo quanto as questões sociais e ambientais associadas a produção destes equipamentos, podem forçar mudanças futuras ainda no horizonte deste trabalho - ainda que, de modo geral, mesmo dada a gravidade no cenário climático e ambiental, o mercado tenda a adotar aquela que se mostrar mais lucrativa financeiramente. Também, há outras tecnologias em desenvolvimento que podem apresentar-se como alternativas mais interessantes ambiental, técnica e financeiramente. Há diversos modelos de negócio que podem ser explorados neste contexto, tanto na comercialização destas tecnologias quanto pelos serviços que elas podem oferecer - e a difusão e amadurecimento destes elementos na rede provavelmente motivará o surgimento de novos negócios, hoje impossíveis.

No que se refere a cadeia produtiva, bem como ao recolhimento e reciclagem pós vida útil, tem-se ainda pouco domínio das tecnologias e processos, cabendo investimentos em pesquisa, desenvolvimento, produção e parcerias estratégicas para viabilizar a evolução desta área no país, entendendo este desenvolvimento como uma possibilidade de soberania nacional e articulando estratégias que evitem condenar o país as mazelas ambientais e sociais da exploração. É complexo o desafio de mapear e acompanhar todos os pontos da rede extensa e global da cadeia produtiva de escala industrial, envolve inúmeros atores, forças políticas e de mercado que se inter-relacionam e tem efeitos difíceis de mensurar, mas o cumprimento desta tarefa é imperativo para a consolidação de um desenvolvimento que seja de fato sustentável a longo prazo.

Do ponto de vista da elaboração deste roadmap, buscou-se acessar e considerar as diversas visões sobre o tema, ainda que este processo possa ser potencializado nos ciclos de revisão e nos trabalhos futuros. Frisa-se a dificuldade de encontrar informações sobre o tema no contexto brasileiro, bem como que vincule todos os diferentes atores e empresas da cadeia de suprimentos. Além disso, há o grande desafio de mobilizar pessoas (no engajamento para o seu desenvolvimento, na implementação da proposta, bem como para manter o processo vivo), sobretudo por este ser o pontapé inicial deste estudo. De todo modo, a rota proposta busca conduzir ações que viabilizem este desenvolvimento de forma segura e contribua para o amadurecimento deste debate no país. Naturalmente horizontes distantes, como o trabalhado, implicam uma grande dificuldade porque lidam com cenários mais difíceis de visualizar e abarcam ainda mais incertezas que os horizontes próximos. De todo modo, frisa-se a

importância de considerar este horizonte amplo na articulação de ações e na consideração dos impactos e desdobramentos que o presente trará.

Reconhece-se ainda que muitas perspectivas não foram contempladas no roteiro elaborado, tanto pelas limitações da metodologia aplicada, quanto pela dificuldade em vincular estas questões na proposta que se desenhou. Mas deve-se ponderar que em um ambiente econômico globalizado onde a dimensão real da exploração ambiental e humana é muitas vezes subvertida em valores de commodities e invisibilizada, a violência e a disputa sobre os territórios tomam uma proporção mórbida, mas não contabilizada, de modo que a habilidade dos centros hegemônicos em exportar suas crises às regiões periféricas tem resultado em um acúmulo de crises energéticas, migratórias, econômicas e ambientais. Reconhecer que esta conjuntura é parte da dinâmica de acumulação infinita pela exploração dos sujeitos e do planeta para além dos seus finitos limites - e, portanto, desde aí inaceitável em uma perspectiva de desenvolvimento sustentável, qualidade de vida e justiça social -, tem favorecido a compreensão da saturação deste modelo e da necessidade de se criar novos caminhos. Nisto, a questão energética é central, tanto porque foi o que permitiu que a expansão das economias se dessem na velocidade e modo com que ocorreram, tanto porque este ciclo de abundância está notoriamente esgotado e exigindo alternativas capazes de promover as necessidades que a vida com qualidade requer sem as limitações das estruturas (de gestão, produção e organização) anteriores. Visões baseadas no conceito de bem viver, modelos de economia circular, propostas de um desenvolvimento alicerçado no decrescimento e/ou na promoção da permacultura podem ser caminhos possíveis.

Em um contexto em que os sistemas de armazenamento no âmbito dos REDs estão inseridos com intenção de viabilizar um desenvolvimento sustentável, é imprescindível debater os seus impactos com coerência e responsabilidade. A sustentabilidade em uma dimensão real, não como um produto de consumo, mas como esta cadeia indissociável que precisa transpor o meio ambiente para ser efetiva, passa com obrigatoriedade por compreender a necessidade de reinventarmos nossas organizações e nossas relações de trabalho, produção e consumo em uma perspectiva cooperativa e solidária. Visto que os processos históricos e o avanço tecnológico são extremamente (e cada vez mais) dinâmicos, é uma tarefa desafiadora pensar contextos que sejam seguros para não inviabilizar as estruturas a longo prazo, mas também flexíveis o suficiente para suportar e acompanhar esta realidade. Esta não é uma tarefa fácil, tampouco de via única, mas é imprescindível e urgente. Este trabalho se propõe a apoiar os primeiros passos.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

A partir do trabalho desenvolvido nesta dissertação, pretende-se a elaboração de um documento textual mais sucinto, de modo a buscar facilitar a exposição do *roadmap* e potencializar sua compreensão e difusão. Além disso, também são pertinentes adequações no projeto gráfico (atualmente desenvolvido na ferramenta Miro), visando aprimorar a apresentação do estudo.

Também, quer-se desenvolver workshops de discussão nas oportunidades de atualização e expansão previstas nos ciclos de revisão.

6.2 PUBLICAÇÕES

CECI, B. R.; BERNARDON, D. P.; CANHA, L. N.; SANTANA, T. **Technology Roadmap Storage: Energy Storage Perspectives**. IEEE Xplore Digital Library. 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2018, Glasgow – Scotland. DOI 10.1109/UPEC.2018.8541846

CECI, B. R.; BERNARDON, D. P.; CANHA, L. N.; SANTANA, T.; NADAL, Z. L. **Roadmap in Residential Energy Storage Systems**. IEEE Xplore Digital Library. 2019 IEEE PES Innovative Smart Technologies Conference – Latin America (ISGT Latin America), 2019, Gramado – Brasil. DOI 10.1109/ISGT-LA.2019.8895364

7 REFERÊNCIAS

ABSOLAR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA. Infográfico ABSOLAR. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 03 dez. 2019.

ACOSTA, H. **O bem viver – uma oportunidade para imaginar outros mundos**. Brasil: Elefante & Autonomia Literária, 2016. 264 p.

AMNESTY INTERNATIONAL. **This is what we die for: human rights abuses in the Democratic Republic of the Congo power the global trade in cobalto**. United Kingdom: Amnesty International Ltd, 2016. 92 p.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Dados**. 2019. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em 11 dez 2019.

_____. **Portaria nº 465, de 12 de dezembro de 2019**. Brasília, 2019. 2019a. 1p.

_____. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 003/2019-SRD/SGT/SRM/SRG/SCG/SMA/ANEEL: Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012**. Brasília, 2019. 2019b. 74 p.

_____. **Nota Técnica nº 0078/2019-SRD/SGT/SRM/SRG/SCG/SMA**. Brasília, 2019. 2019c. 22 p.

_____. **Minuta provisória de Resolução Normativa: Altera as Resoluções Normativas nº 482, de 17 de abril de 2012 e nº 414, de 9 de setembro de 2010, e aprova revisão do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST**. Brasília, 2019. 2019d. 19 p.

_____. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL: Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012**. Brasília, 2018. 60 p.

_____. **Portaria nº 514, de 27 de dezembro de 2018**. Brasília, 2018. 2018a. 1p.

_____. **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, 2010. 293 p.

_____. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**. Brasília, 2012. 4 p.

_____. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015: Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST**. Diário Oficial da União nº 230, Brasília, DF, 24 nov. 2015. Seção 1, pág. 45.

_____. **Resolução Normativa nº 733, de 06 de setembro de 2016:** Estabelece as condições para a aplicação da modalidade tarifária horária branca. Diário Oficial da União nº 175, Brasília, DF, 06 set. 2016. Seção 1, pág. 96.

_____. **Resolução Normativa nº 800 de 19 de dezembro de 2017:** Regulamentação da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE – Decreto nº 9022/2017. Brasília, 2017. 21 p.

_____. **Folder Institucional.** Brasília: ANEEL, 2012. 33 p. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/folder_intitucional_ANEEL_2012.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.

_____. **Retrospectiva 2018.** Brasília: ANEEL, 2019. 84 p.

APS. AMERICAN PHYSICAL SOCIETY. **Integrating Renewable Electricity on the Grid.** 2011 [Online]. Disponível em: <<https://www.aps.org/policy/reports/popareports/upload/integratingelec.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

BNDES. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Credenciamento de Equipamentos – Consulta Produto. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Galerias/Convivencia/Credenciamento_de_Equipamento/conteudo.html>. Acesso em: 10 dez. 2019.

BOOMBERG NEF. **A behind scenes take lithim ion battery prices.** Março, 2019. [Online] Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Nota Conjunta SEI nº 4/2019/SECAP-SDI/FAZENDA-SEPEC/ME:** Contribuição à Consulta Pública ANEEL nº 25, de 2019, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que visa alterar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Dezembro, 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas>> Acesso em: 03 jan. 2020.

BRAY, O. H.; GARCIA, M. L. **Technology roadmapping: the integration of strategic planning for competitiveness.** Innovation in Technology Management. The Key to Global Leadership. PICMET '97. Portland: PICMET, 1998. DOI: 10.1109/PICMET.1997.653238

CASTRO, N.; FALCÃO, D. M.; MOSZKOWICZ, M. **A Difusão de Recursos Energéticos Distribuídos.** Agência Canal Energia. Rio de Janeiro, 01 de outubro de 2018. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/13_castro190.pdf>. Acesso em: 21 maio 2019.

CCEE. CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA. **Coletânea de Legislação - Setor Elétrico Brasileiro.** São Paulo, 2009. 964 p.

_____. **Setor Elétrico.** São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico>. Acesso em: 13 maio 2019.

CDDPH. CONSELHO DE DEFESA DOS DIREITOS DA PESSOA HUMANA. **Relatório Final. Comissão Especial “Atingidos por Barragens” Resoluções nºs 26/06, 31/06, 01/07, 02/07, 05/07.** Brasília, 2010. 102 p.

CEBALLOS, G. et al. **Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction.** Science Advances. Vol. 1, n 5, jun. 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1400253

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Prospecção Tecnológica em Energia.** Brasília: CGEE, 2005, 141 p.

CHEN, H.; BAKER, S.; BANNER, S.; BERNER, A.; LIU, J. **PJM integrates energy storage.** IEEE Power&energy, vol. 15, p. 59-67. September/October 2017. DOI 10.1109/MPE.2017.2708861.

COELHO, G. M.; SANTOS, D. M.; SANTOS, M. M.; FELLOWS FILHO, L. **Caminhos para o desenvolvimento em prospecção tecnológica: Technology Roadmapping um olhar sobre formatos e processos.** Parcerias Estratégicas, Brasília, v. 21, p. 199-234, 2005.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Avaliação do potencial do lítio no Brasil: área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais.** Belo Horizonte: CPRM, 2016. 274 p.

DELGADO, F.; STIER, K.; CAMPOS, C. **América do sul no cerne da geopolítica dos renováveis: o caso do lítio.** [S.l]: FGV Energia - Boletim Energético, 2018.

DEPARTMENT OF THE INTERIOR. **Federal Register Volume 83,** Issue 97. 2018. Disponível em: <<https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2018-05-18/pdf/FR-2018-05-18.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2019.

DOE. UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. U.S. **Global Energy Storage Database.** 2017. Office of Electricity & Energy Reliability [Online]. Available at <http://www.energystorageexchange.org/projects>

EL LITORAL. El futuro en el triángulo de lítio. **El Litoral,** Santa Fe, 14 nov. 2016. Disponível em: <https://www.ellitoral.com/index.php/id_um/139075-el-futuro-en-el-triangulo-de-litio-celulares-autos-y-mucho-mas>. Acesso em 4 jul. 2019.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.** Brasília: MME/EPE, 2019. 382 p.

_____. **Balço Energético Nacional 2019: Ano base 2018.** Rio de Janeiro: EPE, 2019b. 292 p.

_____. **Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético.** Nota de Discussão. Julho 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

_____. **Modelo de Mercado da Micro e Minigeração Distribuída (4MD): Metodologia – Versão PDE 2027.** Nota técnica EPE 028/2018. Novembro de 2018. 2018a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>> Acesso em: 18 dez. 2018.

GARCIA, M. L. BRAY, O. H.; **Fundamentals of technology roadmapping.** Sandia National Laboratories, 1997. 55 p. Disponível em: <<https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/1997/970665.pdf>>. Acesso em: 27 mar. de 2019.

GWEC. GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global wind report 2018**. Publicação Online. 2019. 63 p. Disponível em: < <https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2019.

HOLMGREN, D. **Permaculture Principles and Pathways Beyond Sustainability**. Hepburn, Australia: Holmgren Services, 2002. 320p.

HU, X.; ZOU, C.; ZHANG, C.; LI, Y. **Technological developments in batteries**. IEEE Power&energy, vol. 15, p. 20-31. September/October 2017. DOI 10.1109/MPE.2017.2708812.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology roadmap: energy storage**. OECD, IEA, 2014b. [Online] Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyStorage.pdf>> Acesso em: 21 jul. 2018.

_____. **Energy Storage, Tracking Clean Energy Progress**. OECD, IEA, 2019. [Online] Disponível em:<<https://www.iea.org/reports/tracking-energy-integration/energy-storage>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

_____. **Energy Technology Roadmaps: a guide to development and implementation**. OECD, IEA, 2014. 2014b Disponível em: < <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapAguidetodevelopmentandimplementation.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global warming of 1.5 °C**. 2019. Disponível em:<<https://www.ipcc.ch/sr15/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030**. Setembro, 2017. [Online]. Disponível em:< <https://www.irena.org/publications>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

_____. **Rethinking energy 2017**. 2017b. [Online] Disponível em:< <http://www.irena.org/documentdownloads/publications>> Acesso em: 20 nov. 2018.

_____. **Renewables and electricity storage - a technology roadmap for REmap 2030**. Junho, 2015. [Online] Disponível em: <<https://www.irena.org/documentdownloads/publications>>. Acesso em: 13 maio 2018.

_____. **Battery storage for renewables: market status and technology outlook**. Janeiro, 2015. 2015a. [Online] Disponível em:< <https://www.irena.org/documentdownloads/publications>>. Acesso em: 13 maio 2018.

LI, Y.; LU, J. **Metal-air batteries: will they be the future electrochemical storage energy device of choice?**. ACS Energy Letters, vol. 2, p. 1370-1377. American Chemical Society: United States, May/2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsendergylett.7b00119>

LIU, W.; AGUSDINATA, D. B.; MYINT, S. W. **Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile**. International journal of applied earth observation and geoinformation, vol 80, p. 145-156. Elsevier: August/2019. DOI 10.1016/j.jag.2019.04.016

LUZ, A. B.(Ed.); LINS, F. A. F.(Ed). **Rochas & minerais Industriais: usos e especificações**. 2.Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p.

MELO, F. D. C. **Instalador de sistemas fotovoltaicos**. Brasília: MME/GIZ, 2018. 71 p.

MME. BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Mineração 2030** (PNM – 2030) Brasília: MME, 2010.

MOLLISON, B.; HOLMGREN, D. **Permacultura Um**. Tasmânia, Australia: Transworld Publishers Pty. Ltd., 1978. 130p.

MOLLISON B.; SLAY R. M. (1991). **Introduction to permaculture**. Tasmania, Australia: Tagari Publications, 1991. 202p.

MORDOR INTELLIGENCE. **Residential energy storage systems market - growth, trends, and forecast (2019 - 2024)**. Jun. 2018. 108 p.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Consultoria Legislativa. Brasília: 2017. 46 p.

ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **Banco de Dados**. 2019. Disponível em: < <http://www.ons.org.br/>>. Acesso em 14 de ago. 2019.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2017. 88 p.

PHAAL, R.; FARRUKH, C.J.P; PROBERT, D.R. **Characterisation of technology roadmaps: purpose and format**. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET '01), Portland, 29th July - 2nd August 2001, pp. 367-374.

_____. **Roadmapping for Strategy and innovation: Aligning technology and markets in a dynamic world**. UK: Cambridge University – Institute of Manufacturing, 2010. 240 p.

_____. **Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution**. Technological Forecasting and Social Change, v. 71, p. 5-26, 2004.

PHAAL, R.; MILES, I. **Practice on roadmapping**. Prague: UNIDO Training Programme on Technology Foresight, 2008. 38 p.

Quanta Technology. **Feasibility Study for Large Scale Energy Storage Systems in Brazil, Colombia and Mexico**. 2016.

RAWORTH, K. **Economia Donut: uma alternativa ao crescimento a qualquer custo**. Tradução George Schlesinger. Rio de Janeiro: Zahar, 2019. 368 p.

REUTERS. **A Water Fight in Chile's Atacama raises Questions over Lithium Mining**. October 2018. [Online] Disponível em:< <https://www.reuters.com/article/us-chilelithium-insight/a-water-fight-in-chiles-atacama-raises-questions-over-lithiummining-idUSKCN1MS1L8>>. Acesso em: 23 ago. 2019.

SEEG. SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris.** 2018. [Online] Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf>> Acesso em: 22 jul. 2019.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development.** New York: 2015. 41 p.

USGS. **Lithium Statistics and Information.** Mineral Commodity Summaries – 2019. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/nmic/lithium-statistics-and-information>>. Acesso em: 7 out. 2019.

WEC. WORLD ENERGY COUNCIL. **Energy Storage Monitor: Latest trends in energy storage - 2019.** Publicação Online. 2019. 33 p. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/ESM_Final_Report_05-Nov-2019.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2019.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO (1ª RODADA)

O questionário proposto, intitulado “Sistemas Residenciais para Armazenamento de Energia” e apresentado na sequência, foi enviado e respondido de forma online por meio da ferramenta de formulários do Google e pode ser acessado pelo seguinte endereço: <https://forms.gle/h7aeR121rDnUegvz8>

Sistemas de armazenamento de energia desempenham um papel crucial para a expansão de fontes renováveis intermitentes na busca por uma matriz energética mais sustentável, uma vez que viabilizam que essa evolução ocorra de forma segura e confiável. Neste contexto e com especial atenção à ascensão das conexões residenciais de geração distribuída observado nos últimos anos no Brasil, entende-se que a investigação acerca de sistemas residenciais para armazenamento de energia é imprescindível para impulsionar este avanço, sendo o Roadmap Tecnológico um instrumento que favorece a visão abrangente necessária para compreender esta conjuntura e nortear esse desenvolvimento.

Neste sentido, este questionário objetiva a entender a trajetória e tendências dos sistemas residenciais de armazenamento de energia e é parte do desenvolvimento de um Roadmap sobre o tema, proposto pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) juntamente com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e inserido no projeto estratégico PD-2866-0462/2016 – “BATERIAS DE PEQUENO PORTE RESIDENCIAL INTEGRADAS AO CONCEITO DE HEM E GLD”, que atende a chamada 21/2016 da ANEEL, “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”.

O emprego deste instrumento visa determinar os aspectos técnicos, legais, organizacionais e barreiras de mercado que se encontram no cenário de implementação destes sistemas e o desenho de perspectivas para o futuro. O questionário leva cerca de 15 minutos para ser respondido e deve ser iniciado e finalizado em uma só vez.

Desde já agradecemos sua disponibilidade em colaborar com este trabalho.

Cordialmente,

Eng. Tiago Santana - Gerente

Profª. Luciane Neves Canha - Coordenadora do Projeto PD-2866-0462/2016

IDENTIFICAÇÃO

1. Nome Completo (opcional)

2. Instituição/Empresa onde atua

3. Cargo/Atividade que desenvolve

4. Tempo de Experiência na função (em anos)

5. No que se refere aos sistemas residenciais para armazenamento de energia, sua instituição/empresa atua e/ou prospecta atuar em que áreas?

	2020	2030	2040	2050
<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Industrialização//Produção</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Comercialização</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Instalação</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Reciclagem/Processamento Final</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Serviços Relacionados</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Regulação</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Desenvolvimento de Políticas Setoriais</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Fiscalização</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Outra</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Caso tenha marcado a opção “outra”, por favor, comente sobre:

TECNOLOGIAS

1. Quanto ao desenvolvimento de sistemas para armazenamento residencial de energia, qual(is) devem ser a(s) tecnologia(s) priorizada(s)?

	2020	2030	2040	2050
Íon-Lítio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sódio-Enxofre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chumbo-Ácido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fluxo Reverso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sódio-Níquel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outra	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Não sei informar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Caso tenha marcado a opção “outra”, por favor, comente sobre:

2. Quanto a vida útil destes sistemas, qual a perspectiva de durabilidade média dessas tecnologias? Considere a tipologia que você julga expoente.

	2020	2030	2040	2050
Inferior a 5 anos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
De 5 a 7 anos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
De 7 a 10 anos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
De 10 a 15 anos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
De 15 a 20 anos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Superior a 20 anos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Não sei informar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários:

3. Quais as principais perspectivas de uso para essas tecnologias no sistema elétrico de potência brasileiro (geração, transmissão, distribuição) e serviços ancilares?

	2020	2030	2040	2050
Arbitragem/Deslocar Picos de Demanda	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regulação de Frequência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suporte de Tensão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva Girante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Controle do Fator de Potência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capacidade Firme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resposta Rápida em Frequência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva Girante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capacidade Black-start	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Postergação de Melhorias na Rede	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alívio de Congestão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<i>Redução de Perdas</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Melhora na Qualidade de Energia</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Confiabilidade e Resiliência</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Gerenciamento da Demanda</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Precificação em Tempo Real e Tempo de Uso</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Outras</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Caso tenha marcado a opção “Outras”, por favor, comente sobre:

4. *Quais as principais perspectivas de uso para essas tecnologias pelo usuário final?*

	2020	2030	2040	2050
<i>Arbitragem/Deslocar Picos de Demanda</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Regulação de Frequência</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Suporte de Tensão</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Reserva Girante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Controle do Fator de Potência</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Capacidade Firme</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Resposta Rápida em Frequência</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Reserva Girante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Capacidade Black-start</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Postergação de Melhorias na Rede</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Alívio de Congestão</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Redução de Perdas</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Melhora na Qualidade de Energia</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Confiabilidade e Resiliência</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Gerenciamento da Demanda</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Precificação em Tempo Real e Tempo de Uso</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Outras</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Caso tenha marcado a opção “Outras”, por favor, comente sobre:

5. *No que se refere a outras tecnologias associadas a evolução dos sistemas residenciais de armazenamento de energia, qual(is) deve(m) ser a(s) principal(is) tecnologia(s) de interesse?*

	2020	2030	2040	2050
<i>Medidores</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Controladores de Carga</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Inversores</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Veículos Elétricos</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Outras</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Não sei informar

Caso tenha marcado a opção “Outras”, por favor, comente sobre:

6. Qual a relevância do aprimoramento das tecnologias de armazenamento e suas aplicações para o avanço de sistemas residenciais de armazenamento de energia?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pouco Relevante	<input type="checkbox"/>	Decisivo									

REGULAMENTAÇÃO

7. Quanto as normas técnicas, os sistemas brasileiros para armazenamento residencial de energia atendem a que padrões?

	2020	2030	2040	2050
Padrões nacionais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Padrões internacionais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Padrões nacionais e internacionais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Não sei informar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Caso as tecnologias que você tem conhecimento atualmente já atendam a padrões internacionais e/ou nacionais, por favor, cite quais as normas atendidas:

8. Qual a perspectiva para regulação nacional para sistemas on grid que possuam recurso para armazenamento de energia?

	2020	2030	2040	2050
Inexistente/Não regulado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regulamentada para uso pelo SEP (geração, transmissão e/ou distribuição)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regulamentada para uso em serviços ancilares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Não sei informar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários:

9. Qual a relevância do aprimoramento das regulamentações para o avanço de sistemas residenciais de armazenamento de energia?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pouco Relevante	<input type="checkbox"/>	Decisivo									

CICLO DE VIDA DO PRODUTO

10. Qual o grau de maturidade do processo de extração de materiais para produção de sistemas de armazenamento de energia? Considere a tecnologia que você julga expoente.

	2020	2030	2040	2050
Desconhecido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<i>Parcialmente conhecido</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Estabelecido</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Consolidado</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários:

11. Qual o grau de maturidade do processo de industrialização/produção de sistemas de armazenamento de energia? Considere a tecnologia que você julga expoente.

	2020	2030	2040	2050
<i>Desconhecido</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Parcialmente conhecido</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Estabelecido</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Consolidado</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários:

12. Qual o grau de maturidade da logística de recolhimento e processo de reciclagem/processamento final de sistemas de armazenamento de energia? Considere a tecnologia que você julga expoente.

	2020	2030	2040	2050
<i>Não estabelecido</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Incipiente (reciclagem inferior a 30%)</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Em desenvolvimento (reciclagem de 30 a 60%)</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Estabelecido (reciclagem de 60 a 90%)</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Consolidado (reciclagem superior a 90%)</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários:

13. Qual a relevância do conhecimento e aprimoramento dos tópicos relacionados ao ciclo de vida do produto para o avanço de sistemas residenciais de armazenamento de energia?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Pouco Relevante</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Decisivo</i>									

PARCERIAS ESTRATÉGICAS

14. Em que etapas há participação nacional na cadeia de produção, consumo e processamento final de tecnologias de armazenamento residencial de energia?

	2020	2030	2040	2050
<i>Extração de matérias primas</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<i>Beneficiamento de materiais</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Industrialização</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Comercialização</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Reciclagem/Processamento Final</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários:

15. *Qual o grau de atuação da sua instituição/empresa junto a entidades setoriais (ANEEL, CCEE, entre outras)?*

	2020	2030	2040	2050
<i>Inexistente</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Pouco atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Intermediária</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Muito atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Em caso de algum grau de atuação junto a entidades setoriais, por favor, comente quais:

16. *Qual o grau de atuação da sua instituição/empresa junto a Universidades e Institutos de Pesquisa e Desenvolvimento?*

	2020	2030	2040	2050
<i>Inexistente</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Pouco atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Intermediária</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Muito atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Em caso de algum grau de atuação junto a Universidades e Institutos de Pesquisa e Desenvolvimento, por favor, comente quais:

17. *Qual a relação da sua instituição/empresa junto a fornecedores e comercializadores de produtos para armazenamento residencial de energia?*

	2020	2030	2040	2050
<i>Inexistente</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Pouco atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Intermediária</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Muito atuante</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Não sei informar</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Em caso de haver alguma relação com fornecedores e comercializadores, por favor, comente quais os principais agentes com quem sua instituição/empresa se relaciona e de que modo (compra, venda, fiscalização, etc):

18. *Qual a relevância da consolidação de Parcerias Estratégicas para o avanço de sistemas residenciais de armazenamento de energia?*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Pouco Relevante</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Decisivo</i>									

DESAFIOS/OBSTÁCULOS

19. *Quais os principais desafios/obstáculos que devem ser superados para o avanço dos sistemas de armazenamento residencial?*

OPORTUNIDADES

20. *Quais as principais oportunidades que podem favorecer o avanço dos sistemas de armazenamento residencial?*

AGRADECEMOS SUA COLABORAÇÃO!

Além das questões solicitadas, você também pode deixar outras contribuições que julgar pertinentes para este trabalho:

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO (2ª RODADA)

O presente questionário foi enviado e respondido de forma online por meio da ferramenta de formulários do Google e pode ser acessado pelo seguinte endereço: <https://forms.gle/8BF9W8vGYHxZY4ER7>

Agradecemos por contribuir com nosso estudo respondendo ao questionário "Sistemas Residenciais para Armazenamento de Energia".

Neste trabalho estamos utilizando a técnica Delphi, um método que explora a experiência coletiva em um processo iterativo que objetiva a obtenção de consenso entre os respondentes. Nesta aplicação, isto é utilizado visando desenhar cenários para 2020, 2030, 2040 e 2050, de modo a posteriormente traçar as rotas de desenvolvimento necessárias para se atingir estas perspectivas. Neste sentido, enquanto na primeira rodada cada participante respondeu de forma individual aos tópicos abordados, nesta segunda etapa estes mesmos respondentes terão acesso as respostas dos demais participantes, podendo concordar ou confrontar estas perspectivas. O questionário leva cerca de 10 minutos para ser respondido e deve ser iniciado e finalizado em uma só vez.

Sua colaboração é muito importante para o sucesso desta pesquisa.

Cordialmente,

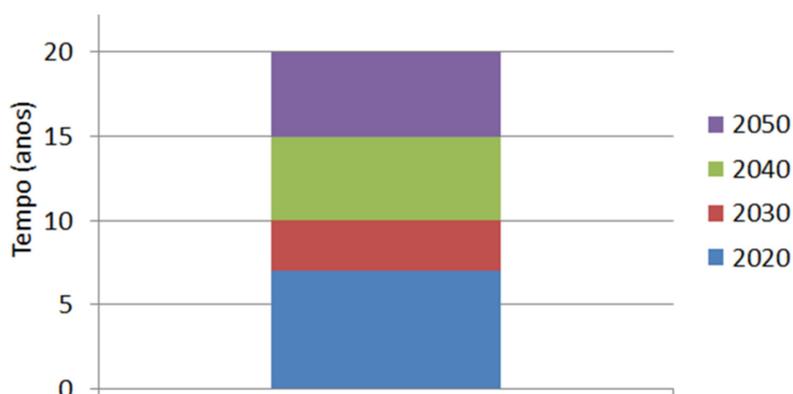
Eng. Tiago Santana - Gerente

Profª. Luciane Neves Canha - Coordenadora do Projeto PD-2866-0462/2016

TECNOLOGIAS

1/11. Para a pergunta "Quanto ao desenvolvimento de sistemas para armazenamento residencial de energia, qual(is) devem ser a(s) tecnologia(s) priorizada(s)?", a maioria dos participantes assinalou tecnologias de íon-lítio para os quatro cenários (2020, 2030, 2040 e 2050). Caso você discorde desta perspectiva, por favor, comente este tópico.

2/11. Quanto a vida útil destes sistemas, apontou-se que a perspectiva de durabilidade dessas tecnologias em 2020 será de até 7 anos, de 7 a 10 anos em 2030, de 10 a 15 anos em 2040 e podendo alcançar 20 anos em 2050. Caso você discorde desta perspectiva, por favor, comente este tópico.



3/11. Quanto as principais perspectivas de uso para as tecnologias de armazenamento residencial de energia, seja pelos usuários finais, seja pelo sistema elétrico de potência brasileiro (geração, transmissão, distribuição) e serviços ancilares, as respostas obtidas

apontaram para os cenários apresentados na tabela abaixo. Caso você discorde desta perspectiva, por favor, comente este tópico.

■ Usos pelo Usuário Final

■ Usos pelo SEP (geração, transmissão, distribuição) e Serviços Ancilares

Aplicação/finalidade	2020	2030	2040	2050
Arbitragem/Deslocar picos de demanda	✓	✓	✓	✓
Regulação de Frequência			✓	✓
Suporte de Tensão		✓	✓	✓
Controle do Fator de Potência			✓	✓
Capacidade Black-Start			✓	✓
Postergação de Melhorias na Rede			✓	✓
Alívio de Congestão			✓	✓
Redução de Perdas		✓	✓	✓
Melhora na Qualidade de Energia	✓	✓	✓	✓
Confiabilidade e Resiliência	✓	✓	✓	✓
Gerenciamento da Demanda	✓	✓	✓	✓
Precificação em Tempo Real e Tempo de Uso	✓	✓	✓	✓

Você também pode contribuir com outros comentários que julgar pertinentes ao que diz respeito as tecnologias de armazenamento residencial de energia.

REGULAMENTAÇÃO

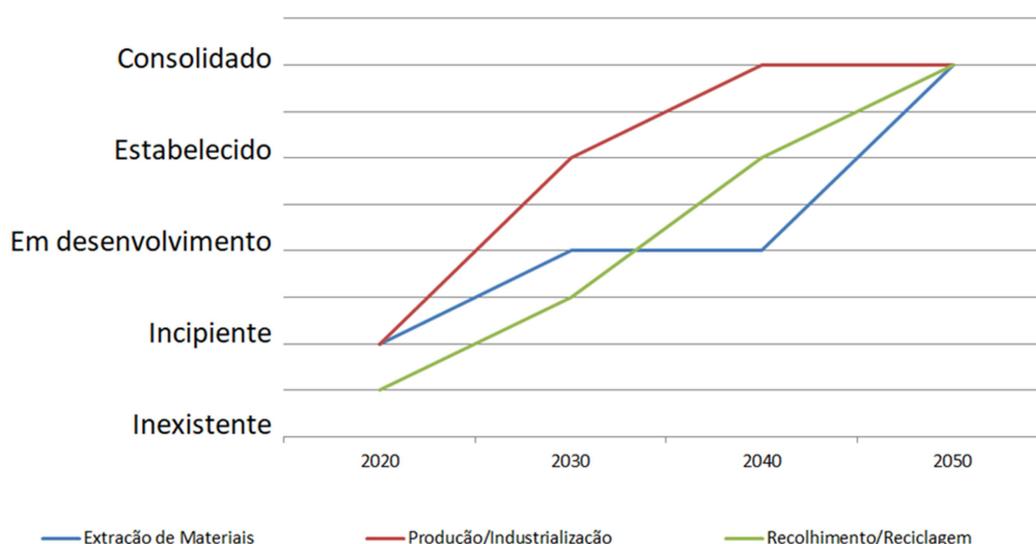
4/11. Quanto a perspectiva para regulação nacional para sistemas on grid que possuam recurso para armazenamento de energia, a maioria das respostas indicaram que isto estará regulado para uso pelo SEP (geração, transmissão e distribuição) e usuários finais em 2020, ao passo que em 2030 também para uso em serviços ancilares. Se você discorda desta perspectiva, por favor, comente este tópico.

5/11. Quanto as normas técnicas para sistemas brasileiros de armazenamento residencial de energia, as respostas apontaram que estes atenderão a padrões nacionais em 2020 e a padrões nacionais e internacionais em 2030. Se você discorda desta perspectiva, por favor, comente este tópico.

Você também pode contribuir com outros comentários que julgar pertinentes no que diz respeito a regulamentação de tecnologias de armazenamento residencial de energia e seus usos.

CICLO DE VIDA DO PRODUTO

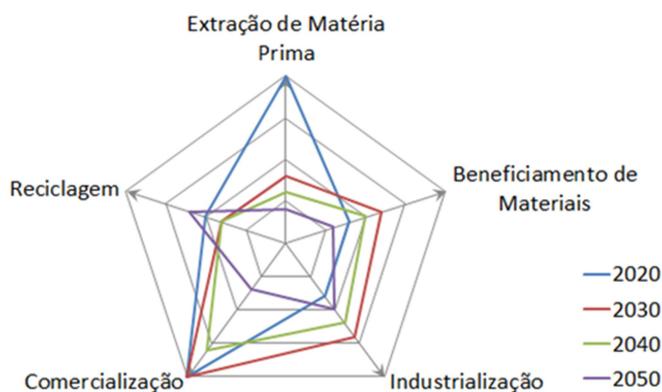
6/11. Quanto ao ciclo de vida do produto, no que se refere a maturidade dos processos de extração de materiais, produção/industrialização e recolhimento/reciclagem de sistemas de armazenamento de energia no Brasil, as respostas obtidas desenharam a evolução apresentada na figura abaixo. (Observa-se que no caso da reciclagem tem-se a seguinte compreensão: Incipiente: reciclagem inferior a 30%; Em desenvolvimento: reciclagem de 30-60%; Estabelecido: reciclagem de 60-90%; Consolidado: Reciclagem superior a 90%). Caso você discorde desta perspectiva, por favor, comente este tópico.



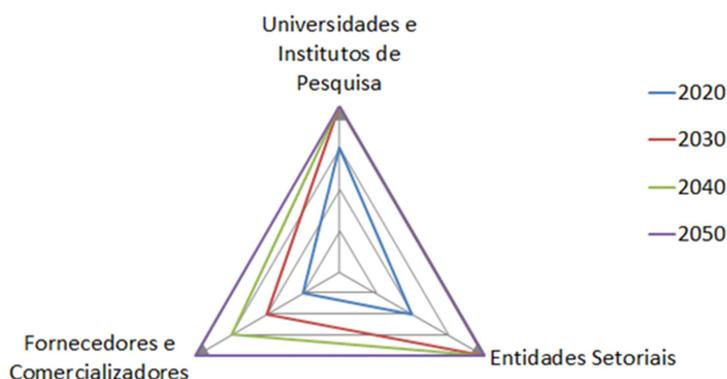
Você também pode contribuir com outros comentários que julgar pertinentes a respeito do ciclo de vida dos sistemas de armazenamento residencial de energia.

PARCERIAS ESTRATÉGICAS

7/11. Quanto a participação nacional na cadeia de produção, consumo e processamento final de tecnologias de armazenamento residencial de energia, as respostas obtidas indicaram os cenários apresentados na figura abaixo. Caso você discorde desta perspectiva, por favor, comente este tópico.



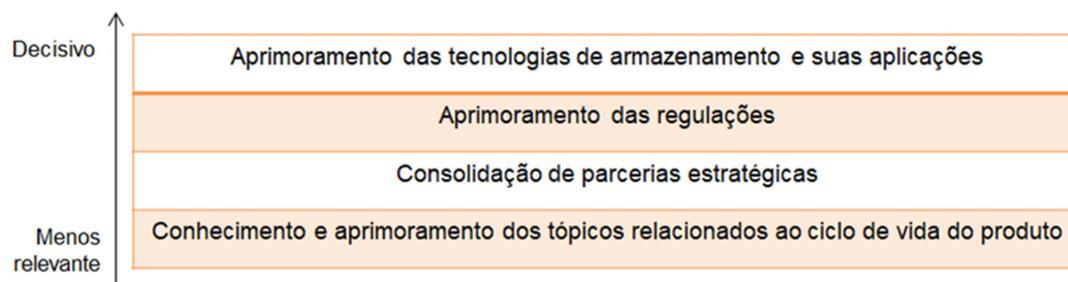
8/11. Quanto ao grau de atuação em parcerias estratégicas relacionadas a sistemas de armazenamento de energia no Brasil, as respostas obtidas indicaram as interações apresentadas na figura abaixo. Caso você discorde desta perspectiva, por favor, comente este tópico.



Você também pode contribuir com outros comentários que julgar pertinentes a respeito da atuação em parcerias estratégicas.

RELEVÂNCIA DOS TÓPICOS ABORDADOS

9/11. A definição da relevância dos tópicos abordados para a evolução dos sistemas de armazenamento residencial de energia no Brasil apontou para classificação apontada abaixo. Caso você discorde desta classificação, por favor, comente este tópico.



DESAFIOS/OBSTÁCULOS

10/11. Quanto aos principais desafios/obstáculos que devem ser superados para o avanço dos sistemas residenciais de armazenamento de energia no Brasil, se destacaram os seguintes itens. Marque aquele(s) que você considera prioritário(s) (máximo 3).

- Vida útil
- Custo/Preço
- Regulação/Normalização
- Eficiência
- Autonomia
- Desenvolvimento da indústria nacional
- Modelos de Negócio
- Desenvolvimento de Políticas de Incentivo
- Descarte e reciclagem
- Novas tecnologias e materiais

Você também pode contribuir com outros comentários que julgar pertinentes a respeito dos desafios/obstáculos que devem ser superados para o avanço dos sistemas residenciais de armazenamento de energia.

OPORTUNIDADES

11/11. Quanto as principais oportunidades que podem favorecer o avanço dos sistemas residenciais de armazenamento de energia no Brasil, se destacaram os seguintes itens. Marque aquele(s) que você considera mais relevante(s) (máximo 3).

- Possibilidade de arbitragem
- Possibilidade de tarifação em tempo real
- Compartilhamento de sistemas de armazenamento
- Possibilidade de venda de serviços ancilares
- Associação a sistemas de geração, sobretudo fotovoltaica
- Avanço da mobilidade elétrica
- Custo elevado da tarifa de energia elétrica
- Possibilidade de vender energia elétrica para a rede

Você também pode contribuir com outros comentários que julgar pertinentes a respeito das oportunidades que podem favorecer o avanço dos sistemas residenciais de armazenamento de energia.

AGRADECEMOS SUA COLABORAÇÃO!

Além das questões solicitadas, você também pode deixar outras contribuições para este trabalho:

APÊNDICE C – FONTES DE CONSULTA PARA REVISÕES

Abaixo, segue uma relação de algumas possíveis fontes de consulta como sugestão para as futuras revisões/atualizações deste trabalho.

Fonte	Possíveis buscas relacionadas
ABAQUE - Associação Brasileira de Armazenamento e Qualidade de Energia	Relatórios, notas técnicas e infográficos sobre armazenamento de energia no Brasil.
ABGD – Associação Brasileira de Geração Distribuída	Relatórios e notas técnicas sobre geração distribuída no Brasil
ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica	Relatórios, notas técnicas e infográficos sobre energia solar fotovoltaica, bem como sobre sistemas de armazenamento para associação a isto, além de dados e análises sobre o ambiente da geração distribuída de modo geral.
ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica	Legislações aprovadas e/ou atualizadas referentes a geração distribuída, aos sistemas de armazenamento de energia e as revisões tarifárias; quantidade de instalações e incremento de potência de geração residencial cadastradas, editais e chamadas públicas para projetos relacionados relacionados.
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social/ Agência Especial de Financiamento Industrial – FINAME	Linhas de financiamento e investimentos relacionados a sistemas de armazenamento; Número de fabricantes de baterias e elementos complementares aos sistemas de armazenamento residencial cadastrados;
Bloomberg NEF	Análises econômicas e relatórios sobre evolução dos sistemas de armazenamento (sobretudo baterias).
DOE – (United States) Department Of Energy	Dados globais para panorama da geração e armazenamento de energia e informações sobre tecnologias.
EPE – Empresa de Pesquisa Energética	Relatórios (Balanço Energético Anual, Plano Decenal de Expansão de Energia, entre outros) e notas técnicas.
IEA – International Energy Agency	Roadmaps (e remaps) de tecnologias de armazenamento.
IEEE Power and Energy Magazine/IEEE Xplore	Artigos sobre tecnologias de armazenamento, estudos de caso de sistemas instalados, novas tecnologias, entre outros.
IRENA - <i>International Renewable Energy Agency</i>	Relatórios sobre tecnologias de armazenamento e aplicações, estudos de prospecção e relatórios de custos das tecnologias de armazenamento.
Quanta Technology	Estudos de mercado para os sistemas de armazenamento de energia.