

Análise da Influência Regulatória no Contexto dos Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica na América do Sul

Renata R. Lautert*. Pedro de O. Bacin*. Robson P. Delavechia*.
Luciane N. Canha**. Daniel P. Bernardon**. Tiago Marchesan**.
Wagner S. Brignol*. Luciano L. Pfitscher***

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSM, Brasil

(e-mail: renata.lautert@ufsm.br, pedro.bacin@acad.ufsm.br, robson.porsch@acad.ufsm.br, wagner.brignol@gmail.com)

** Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência, UFSM, Brasil

(e-mail: lucianecanha@ufsm.br, dpbernardon@ufsm.br, tiago@ufsm.br)

***Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, UFSC, Brasil

(e-mail: luciano.pfitscher@ufsc.br)

Abstract: This paper presents the general aspects related to the regulation of electric energy storage, within the Brazilian and South America context. Furthermore, to delimit the range of contents associated with this theme, a contextualization on the subject will be described, along with an analysis focused on administrative issues and existing restrictions. In the search for the theoretical consolidation of the study and the regulatory influence in the context of energy storage, the aim is to illustrate certain works found in the literature, which are correlated with the research carried out in this article. The importance of dealing with the regulatory variable for energy storage is in the fact that future business models will be directly influenced by economic changes arising from it.

Resumo: Este trabalho visa apresentar os aspectos gerais relacionados à regulação do armazenamento de energia elétrica, dentro do contexto da América do Sul e brasileiro. Além disso, para balizar a gama de conteúdos associados a essa temática, será descrito uma contextualização sobre o assunto, juntamente com uma análise voltada para as questões administrativas e as restrições existentes. Na busca pela consolidação teórica do estudo e da influência regulatória no contexto do armazenamento de energia, visa-se ilustrar determinados trabalhos encontrados na literatura, os quais possuem correlação com a pesquisa realizada neste artigo. A importância em tratar da variável regulatória para o armazenamento de energia, encontra-se no fato de que os futuros modelos de negócios serão diretamente influenciados por mudanças econômicas oriundas dela.

Keywords: Energy Storage; South America; regulation analysis; distributed generation; business models.

Palavras-chaves: Armazenamento de energia; América do Sul; análise regulatória; geração distribuída; modelos de negócio.

1. INTRODUÇÃO

O percurso da energia elétrica compreende o caminho da geração até o consumo, porém, com o surgimento de novas tecnologias, a rede passou a ser chamada de inteligente, dando origem ao conceito de *smart grids* e criando assim uma nova perspectiva sobre a manipulação da energia. A rede inteligente traz consigo vários atributos, os quais são compostos pelas fontes de Geração Distribuída (GD) e todos os mecanismos de conversão, controle e armazenamento de energia elétrica, conferindo ao Sistema Elétrico de Potência (SEP) uma maior complexibilidade (Strasser et al., 2015).

Com o aumento da associação da GD ao SEP tradicional, verificaram-se modificações na estrutura de planejamento, expansão e operação dos sistemas de energia no mundo todo, o que repercutiu em novos elementos físicos em sua composição. Nesse cenário, as soluções mais promissoras incluem a expansão de Sistemas de Armazenamento de

Energia (SAE) associados ao conceito de *smart grids* (Strasser et al., 2015).

As aplicações de SAE podem ser divididas em três grandes grupos: em sistemas isolados (*off-grid*), atrás do medidor (*behind the meter* - BTM) e em frente ao medidor (*front of the meter* - FTM). Os benefícios desses sistemas englobam os setores de geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica, os quais podem oferecer serviços de regulação de frequência e tensão, resposta à demanda e gerenciamento de energia (Gomes et al., 2020). Todos eles necessitam de uma segurança regulatória para operar com qualidade e confiabilidade (Greener, 2021).

Nesse contexto, os reguladores possuem um papel chave para alinhar os interesses dos clientes com as distribuidoras de energia. Incentivos tarifários através de tarifas variantes no tempo, podem facilitar a gestão dos recursos energéticos distribuídos, ao mesmo tempo que levam à redução de custos

de operação no SEP. Além disso, os reguladores também podem cumprir o papel de investidores alternativos em novos modelos de negócios, admitindo e modelando a participação de agregadores, beneficiando tanto os requisitos de caráter técnico como operacional (Zinaman et al., 2020).

Dentre os desafios atribuídos aos operadores de sistemas de energia, no que diz respeito às questões técnicas e regulatórias, encontra-se a restrição da capacidade de GD a um teto máximo de sua capacidade total. Desta forma, isso tem estimulado o desenvolvimento de mercados e marcos regulatórios que impulsionem a inserção de SAE, com o intuito de mitigar ou até evitar tais restrições (Cleary et al., 2015).

No presente trabalho, é apresentado uma visão geral do contexto regulatório no que diz respeito aos SAE, abrangendo o âmbito da América do Sul e nacional, mediante questões administrativas, restrições existentes e trabalhos que abordam a temática em estudo. A importância em tratar da regulação de SAE, encontra-se contida no suporte aos modelos de negócios em desenvolvimento, os quais possuem potencial para efetuar mudanças econômicas e técnicas.

2. CONTEXTO REGULATÓRIO

O aumento na utilização de SAE depende da superação de alguns desafios que tendem a reter a aplicação de novas iniciativas. Dentre as barreiras a serem superadas, encontram-se iniciativas governamentais e privadas, projetos de incentivos, estruturas regulatórias robustas, além da disseminação de conhecimentos entre as diversas partes interessadas (IRENA, 2019).

Em relação aos SAE, um dos fatores de suma importância se encontra na estrutura regulatória no mercado de varejo. Mediante essa realidade, deve-se buscar maximizar os benefícios para os consumidores, enquanto se incentiva a flexibilidade pelo lado da demanda. Uma medida eficaz, trata-se das tarifas de tempo de uso, as quais são habilitadoras de resposta à demanda, permitindo que os consumidores ajustem seu consumo de energia elétrica para reduzir as contas de energia. Além disso, por meio delas, os consumidores podem observar os períodos de preços altos e baixos da eletricidade, o que permite decidir quando carregar as baterias (IRENA, 2019).

Os SAE também podem ser utilizados para beneficiar o faturamento líquido, principalmente quando acoplados a tecnologias de GD. A compensação de faturamento líquido é baseada no valor do quilowatt-hora (kWh) consumido ou injetado na rede, sendo que ela permite incentivar os prossumidores a fornecer energia armazenada para a rede quando a remuneração for alta ou armazenando-a durante intervalos de tempo de baixa demanda. Desse modo, a implementação de SAE atinge determinados requisitos em diferentes áreas. Perante esses fatores, vale destacar os níveis de mercado de varejo, atacado, sistemas de distribuição e transmissão, os quais devem ser observados conforme suas particularidades (IRENA, 2019).

No mercado de varejo, os pontos a serem analisados englobam:

- Definição de tarifas de tempo de uso e faturamento líquido para incentivar programas de resposta à demanda e maximizar os benefícios do armazenamento BTM para os consumidores;
- Previsões para permitir fontes de energia distribuída, incluindo ativos de armazenamento de energia BTM para fornecer serviços de rede;
- Definição de padrões técnicos e operacionais;
- Estabelecimento de taxas, incentivos, estruturas de avaliação e remuneração claras, justas e não discriminatórias.

Em relação ao mercado de atacado, os seguintes requisitos devem ser adotados:

- Permitir a participação de agregadores, além de recursos energéticos distribuídos nos mercados de eletricidade e de serviços auxiliares;
- Permitir recursos descentralizados para fornecer serviços às redes centrais e locais;
- Definir de forma clara os preços para orientar agregadores sobre a operação das baterias BTM.

Por fim, para os sistemas de transmissão e distribuição, os requisitos regulatórios envolvem:

- Permissões para que operadores de sistemas de transmissão e distribuição obtenham serviços de flexibilidade baseados no mercado de fontes de GD, incluindo BTM;
- Estabelecimento de mercados locais para os operadores do sistema de distribuição adquirirem serviços, a fim de evitar o congestionamento da rede e garantir a confiabilidade;
- Maior coordenação entre os operadores do sistema de distribuição e transmissão;
- A velocidade de inovação regulatória precisa estar alinhada com os modelos de negócios e de inovação tecnológica.

As regulamentações que regem a posse e operação de ativos em SAE representam uma fonte de contenção nos mercados de eletricidade. Outra questão importante é que o armazenamento pode fornecer serviços às redes de eletricidade, incluindo transmissão e distribuição, juntamente com flexibilidade e serviços de equilíbrio nos mercados de energia (IEA, 2020).

O desenvolvimento de tecnologias BTM precisa de estruturas regulatórias que encorajem a inovação e, nesse sentido, os mercados de varejo são favoráveis, diferentemente dos monopólios de energia. Estruturas regulatórias atualizadas facilitarão soluções de mercado eficientes e monopólios naturais bem regulamentados, representando um pré-requisito fundamental. Em geral, a regulamentação deve ser neutra em termos de tecnologia, evitar subsídios ocultos, distorções de mercado e ter uma distribuição justa dos custos. Esse mecanismo permitirá a utilização das soluções mais econômicas e tecnicamente eficientes (Sioshansi, 2020).

Sendo assim, as subseções seguintes apresentam os principais cenários vigentes na América do Sul e no âmbito brasileiro, ambos relacionados aos SAE. Além disso, também serão destacadas as principais estratégias regulatórias empregadas.

2.1 América do Sul

Argentina

A Argentina, em seu Plano Operativo 2020, através do núcleo socioprodutivo estratégico de armazenamento de energia, confirma o interesse em promover desenvolvimento tecnológico, acordos e compromissos entre instituições. Além disso, visa fomentar a execução de projetos de armazenamento de energia, com foco em hidrogênio, volante de inércia, supercapacitores e armazenamento térmico (Argentina, 2020).

Chile

No Chile, a discussão das questões regulatórias apresenta maior prioridade. Em 2016 foi publicada a Lei 20.936, cuja atualização ocorreu em 2017, na qual é estabelecido um novo sistema de transmissão elétrica e cria um organismo coordenador independente do SEP nacional. A partir desse ano, o Chile integrou bancos de baterias no seu antigo Sistema Interconectado do Grande Norte para o controle de frequência (Chile, 2017).

Os pormenores que a lei não abordou entraram em vigor no Regulamento de Coordenação e Operação do Sistema Elétrico Nacional através do Decreto Supremo (DS) 125 de 2019. Esta publicação distinguiu os SAE de centrais renováveis com capacidade de armazenamento, esta última entendida como centrais de energias renováveis BTM. O regulamento também indicou que os SAE podem ser integrados para a arbitragem de preços de energia, para a prestação de serviços complementares, ou como parte da infraestrutura de transmissão. Além disso, foi generalizado o conceito de custo de oportunidade da energia armazenada, antes restrito à água em reservatórios, e regulamentadas as exceções aos encargos que incidem sobre as retiradas para armazenamento (Chile, 2019).

Durante 2020 foram anunciados diversos projetos de centrais renováveis com baterias e a entrada em funcionamento do banco de baterias da central hidráulica Alfalfal, constituindo-se como Usina Virtual de Energia (*Virtual Power Plant* - VPP) para efeitos do seu funcionamento. O DS 125 permite que o titular de SAE, destinado à arbitragem de preços, solicitasse ao coordenador seu funcionamento centralizado, mas também lhe permite definir suas retiradas (Chile, 2019).

Os desafios atuais passam pelo reconhecimento da contribuição do armazenamento de energia para o SEP nacional. Em consonância com isso, o DS 42, publicado no final de 2020, modificou a regulamentação das transferências de energia. Ele indicou que a energia inicial das usinas renováveis deve reconhecer a capacidade daquelas que são temporárias em gestão de energia. Além disso, incluiu a consideração do componente de armazenamento para o cálculo da potência inicial das usinas hidrelétricas (Chile, 2020).

No plano de política energética do Chile para 2050, os SAE estão incluídos desde as projeções para 2035. Estes sistemas aparecem como uma opção futura, na medida que o avanço tecnológico facilite sua integração no sistema, com alternativas melhores e mais numerosas ao longo do tempo (Chile, 2016).

Colômbia

A Colômbia prepara uma regulamentação de forma a permitir a instalação de SAE para mitigar problemas na transmissão e distribuição, já constando com um SAE de grande porte (Cleary et al. 2015). A Comissão de Regulação de Energia e Gás (CREG) da Colômbia publicou em 2019 a Resolução 098, por meio da qual definiu os mecanismos para incorporar SAE no seu Sistema Interconectado Nacional. Esta resolução possibilitou a interessados que instalem SAE, utilizando baterias, com o propósito de mitigar inconveniências da falta ou insuficiência da rede de transmissão de energia (Colômbia, 2019).

A legislação existente promove a produção, armazenamento, distribuição e uso do hidrogênio para a prestação de serviço público de energia elétrica e armazenamento de energia. Os investimentos, equipamentos e maquinários para a produção, armazenamento, acondicionamento, distribuição, pesquisa e aproveitamento final do hidrogênio verde e azul, terão os benefícios de dedução do Imposto de Renda (IR), exclusão de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), isenção de tarifas e depreciação acelerada estabelecidos pela Lei 1.715 de 2014. O Fundo de Gestão de Energias Não Convencionais e Eficiente (FENOGE) poderá financiar e/ou executar projetos de produção, armazenamento, acondicionamento, distribuição, reeletrificação e aproveitamento de hidrogênio verde, com seus recursos ou por meio de recursos outorgados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) ou qualquer outra entidade (Chile, 2021).

Equador

No Equador, a lei orgânica do serviço público de energia elétrica de 2015 afirma que a modernização das redes elétricas deve considerar aspectos regulatórios, redes de transmissão e distribuição de energia, redes de comunicação, GD, SAE, medição inteligente, controle distribuído, gestão ativa da demanda e oportunidades de oferta de novos produtos e serviços. Estabelece-se o desenvolvimento de mecanismos de incentivo ao uso técnico e econômico dos recursos energéticos, em especial as renováveis, bem como a formulação de políticas de eficiência energética, favorecendo a proteção do meio ambiente (Equador, 2015).

Guiana

Não possui nenhuma regulação neste sentido. Entretanto, a Agência de Energia da Guiana (*Guyana Energy Agency* - GEA) visa garantir que energia confiável seja fornecida a todos no país dentro de uma estrutura econômica, ambiental e socialmente sustentável, com crescente consideração de fontes de energias renováveis (GEA, 2021).

Há recomendações políticas no setor elétrico abrangendo energias renováveis, em que estudos de viabilidade são elaborados para identificar as melhores oportunidades de suporte técnico e financeiro. Estes devem considerar pontos como as necessidades mais amplas do sistema de energia em termos de desenvolvimento da rede, mecanismos flexíveis e necessidades de SAE para as diferentes tecnologias de energia renovável, além de viabilidade ambiental e impacto social (Guiana, 2018).

Guiana Francesa

A França, em seu Programa Plurianual de Energia (PPE), ressalta a importância do desenvolvimento equilibrado de redes, armazenamento, transformação de energia e gestão da procura de energia, em particular para promover a produção local de energia, o desenvolvimento de redes inteligentes e autoprodução. Entretanto, na Guiana Francesa apenas é abordado a recente promoção de geração de energia através da biomassa (França, 2018).

Paraguai

Conforme o Plano Mestre de Geração do Paraguai, para o período de 2021 a 2040, elaborado pela Administração Nacional de Eletricidade, há previsão de construção de parques solares fotovoltaicos e bancos de baterias. Estes sistemas produzirão um corte no pico de demanda, principalmente ao meio-dia e à noite, melhorando significativamente o fator de carga e demanda do país. Para promover especialmente o desenvolvimento da região oeste ou do Chaco, o plano de obras inclui importantes parques fotovoltaicos nesta área. Ao mesmo tempo, para aliviar o pico de demanda do Sistema Interligado Nacional (SIN) ao meio-dia, vários projetos importantes deste âmbito serão construídos até 2040 no Paraguai (Paraguai, 2021).

O plano de obras previsto para bancos de baterias é de importância estratégica, pois permitirá otimizar a contratação de energia das centrais binacionais e das demais, bem como a redução dos custos de geração. Além disso, dependendo de sua localização, os SAE produzem um alívio significativo nas linhas de transmissão e subestações vizinhas. O plano mestre pretende implantar até o ano de 2040, bancos de baterias de íons de lítio em todas as regiões do Paraguai, sendo quatorze dimensionados em 100 MW-400 MWh e um de 200 MW-800 MWh (Paraguai, 2021).

Peru

No Peru não há leis específicas relacionadas aos SAE, apesar de haver discussões em relação à inserção de baterias para auxiliar na regulação de frequência primária. Além disso, há um DS relacionado à infraestrutura de carregamento para mobilidade elétrica. O DS nº 22 de 2020 aprova disposições sobre o fornecimento de energia elétrica e infraestrutura de carregamento para mobilidade elétrica, abordando o sistema de carregamento para estas baterias, exclusivamente. O serviço deste carregamento é de caráter comercial, realizado em condições competitivas, acessível ao público e prestado a nível nacional, através da infraestrutura de recarga. Neste

decreto é estabelecido que o serviço de carregamento da bateria é realizado por pessoa física ou jurídica, demonstrando que a infraestrutura de recarga cumpre os atuais requisitos técnicos e de segurança, garantindo a interoperabilidade. Este serviço pode ser prestado como complementar em postos de combustíveis, estabelecimentos de serviços, entre outros (Peru, 2020).

Uruguai

No Uruguai, o Decreto Nº 310/017 de 2017, referente à Política Nacional sobre Mudanças Climáticas, estabelece como uma linha de ação, a promoção de estratégias que permitam manter a participação das energias renováveis na matriz energética e elétrica, nomeadamente através da incorporação de SAE na gestão das fontes variáveis de energia. O Decreto nº 27/020 de 2020, trata da autorização de assinantes conectados à rede de distribuição de baixa tensão para gerar energia elétrica com instalação de baterias, as quais operam em paralelo e que não injetam energia na rede da distribuidora (URSEA, 2019).

O Uruguai possui uma estratégia de desenvolvimento nacional que inclui a incorporação de energias renováveis não gerenciáveis ou variáveis, representando uma alternativa mais viável a médio e longo prazo, com o desafio de desenvolver soluções que mitiguem a variabilidade. As tecnologias identificadas para o médio prazo (2025) estão nesta linha e visam incorporar armazenamento em baterias, centrais de bombeamento e turbinas, gestão da demanda, além de mobilidade elétrica (Uruguai, 2019). Nesse contexto, as seguintes tendências tecnológicas foram listadas:

- Armazenamento de calor em sistemas de Energia Solar Fotovoltaica (ESF) com concentradores;
- Dispositivo de armazenamento de energia de volante de inércia composto de polímero reforçado com fibra vertical em sistemas eólicos;
- Armazenamento para fornecer serviços de rede no sistema de distribuição;
- Planejamento de múltiplos SAE no sistema de distribuição.

2.2 Brasil

Em sistemas *off-grid*, os SAE estão presentes em alguns projetos desenvolvidos pelo governo. Destes, vale destacar o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), Luz para Todos (sem número expressivo) e Mais Luz para a Amazônia, desenvolvido em comunidades ribeirinhas, indígenas e quilombolas (Greener, 2021).

Em 2016, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) abriu a chamada de P&D Estratégico 21/2016, que teve como objetivo o desenvolvimento de projetos para avaliação e inserção de SAE no Setor Elétrico Brasileiro (SEB), de forma integrada e sustentável, além de criar condições para o desenvolvimento de base tecnológica, propriedade intelectual e infraestrutura de produção nacional. As propostas

contemplaram diversas tecnologias de SAE, como baterias de íon de lítio, chumbo-ácido, hidrogênio, usinas reversíveis e estocagem de ar comprimido em cavernas de sal (ANEEL, 2017). Um dos projetos aprovados nesta chamada da ANEEL foi executado em Uberlândia, juntamente com uma usina fotovoltaica de 1,26 MVA e capacidade de armazenamento de 1,36 MWh, constituído por baterias de lítio da BYD Brasil (BYD, 2021).

Um dos projetos aprovados na chamada da ANEEL contempla a substituição de geradores a diesel por SAE, representando uma alternativa sustentável para sistemas isolados e áreas remotas, como em Fernando de Noronha. O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2030 (Brasil, 2030) avalia esta possibilidade economicamente com dados de 15 consumidores e conclui que não há viabilidade para este tipo de investimentos ocorrer no Brasil, de acordo com os resultados obtidos. No PDE 2031, foi realizada uma comparação com a solução tradicional a diesel para o atendimento no horário de ponta (diesel), e concluiu-se que não há viabilidade econômica para o investimento em baterias no horizonte decenal (Brasil, 2021).

Quanto ao uso de baterias em sistemas isolados, entende-se não haver barreiras regulatórias e comerciais. Isto, visto que as soluções de suprimento contratadas por meio de leilão podem contemplar projetos híbridos, inclusive com armazenamento (EPE, 2019).

Com relação ao BTM, algumas aplicações já são possíveis, e sua viabilidade vem sendo estudada pelos agentes. Um exemplo é o seu uso como *backup*, para redução da demanda máxima e consumo no horário de ponta, em substituição aos geradores a diesel, que poderiam ser implantados com a regulação atual. A opção da tarifa branca também abre uma possibilidade, mas pelo fato de ser opcional, não cria grande margem para ganho com as baterias. O uso conjunto com sistemas de GD, para incremento do autoconsumo, não traz vantagens econômicas no modelo atual, mas pode passar a se tornar uma alternativa interessante a depender de políticas públicas e incentivos (EPE, 2019).

Uma possibilidade é a utilização de armazenamento como ativo de transmissão ou distribuição, em situações de SAE em FTM. Esse uso pode ser interessante para a postergação de investimentos em infraestrutura, como aumento de capacidade de linhas ou construção de subestações para atender regiões com demandas específicas. Um exemplo são regiões turísticas ou com pouca capacidade de atender somente a ponta de consumo, mas com pouco crescimento da carga total, uma vez que a bateria tem menor custo de implantação e baixo prazo de conclusão. Nesses casos, além da postergação de investimentos, as baterias também ajudam a atingir metas dos indicadores coletivos de continuidade, como Duração Equivalente de Interrupção (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção (FEC) por unidade consumidora (EPE, 2019).

Em relação a quesitos homologatórios, um dos focos dos SAE no Brasil, encontra-se no armazenamento potencial em usinas hidrelétricas reversíveis. Na Agenda Regulatória 2022/2023 da ANEEL, a Atividade “Adequações regulatórias para inserção de sistemas de armazenamento, incluindo usinas

reversíveis, no Sistema Interligado Nacional” se encontra no tema de geração e é indicado como ordinário. No primeiro semestre de 2022 ocorrerá consulta pública para análise de impacto regulatório, enquanto no segundo semestre de 2022 há previsão de ocorrer consulta pública para minuta de Resolução Normativa (RN) e reunião pública ordinária (ANEEL, 2022). É prevista a homologação desse item através da Tomada de Subsídios nº 11/2020 publicada pela ANEEL, referente à SAE. O objetivo da agência neste processo é a elaboração de uma proposta regulatória para a inserção de SAE no SEB.

Quanto à legislação, em janeiro de 2022 entrou em vigor a Lei nº 14.300, que instituiu o marco regulatório da GD no Brasil, incluindo o armazenamento de energia. Nesta Lei, há o destaque do armazenamento como técnica para guardar a energia elétrica que foi produzida, para mais tarde ser utilizada em alguma operação útil (Brasil, 2022). Ainda nesta lei, fontes despacháveis são definidas, englobando as hidrelétricas, cogeração qualificada, biomassa, biogás e fontes de geração de ESF com baterias. Conforme o texto, o montante de energia despachada aos consumidores finais pode apresentar capacidade de modulação de geração através do armazenamento em baterias, em pelo menos 20% da capacidade de geração mensal da central geradora, podendo ser despachados através de um controlador local ou remoto. O armazenamento é igualmente citado na definição de microrrede: consiste na integração de vários recursos de GD, SAE e cargas em sistema de distribuição secundário, capaz de operar conectado a uma rede principal e de forma isolada (Brasil, 2022).

No Brasil a energia injetada na rede é compensada, gerando créditos aos prosumidores, e assim não pode ser comercializada. Entretanto, a partir da publicação desta Lei, há possibilidade da concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica promover chamadas públicas para credenciamento de interessados em comercializar os excedentes de energia gerada provenientes de GD, nas suas áreas de concessão, para posterior compra destes excedentes de energia, na forma de regulamentação na ANEEL (Brasil, 2022). Assim, haveria a possibilidade da venda da energia excedente acumulada em um armazenador, conforme for estabelecido pela concessionária e regulamentado pela ANEEL.

Ainda em Brasil (2022), consta que a concessionária de distribuição de energia elétrica poderá contratar serviços ancilares junto a microgeradores e minigeradores distribuídos, através de fontes despacháveis ou não, para beneficiar suas redes ou microrredes de distribuição, remunerando estes serviços conforme regulação da ANEEL. Este ponto representa outra possibilidade na utilização de SAE a fim de garantir o funcionamento do SEP como um todo, com determinado grau de qualidade, segurança e confiabilidade. Atualmente, os serviços ancilares são prestados por agentes de transmissão e geração contratados em leilões, a prestação destes serviços não é remunerada explicitamente, de acordo com as RNs da ANEEL (EPE, 2019).

3. AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS NA AMÉRICA DO SUL

Na América do Sul, determinados países já observam os cenários da atualidade e consideram a implantação de SAE. Desse modo, eles já estudam a melhor maneira de inserir os SAE em sua matriz (EPE, 2019). Quanto à geração de energia, na maioria dos países da América do Sul, a geração hidrelétrica apresenta maior representatividade em capacidade instalada. Em geral, usinas termoeletricas igualmente possuem elevada participação na geração de energia elétrica (Prado et al., 2019).

Em Prado et al. (2019), são estudadas opções resilientes e flexíveis para os sistemas de potência dos seguintes países da América do Sul: Argentina, Brasil, Chile e Colômbia. As inovações de mercado e tecnologia vem reduzindo os custos de GD e SAE, e este avanço pode, em determinados momentos, ultrapassar a capacidade institucional e política, porém, igualmente podem dar uma orientação eficaz em direção aos avanços possíveis de ocorrer, de forma a desenvolver e harmonizar o sistema. Em relação aos SAE, os reservatórios de hidrelétricas possuem maior representatividade, embora sejam sazonais. Usinas reversíveis se mostram uma alternativa a contribuir com o armazenamento. Outro ponto abordado reside no armazenamento subterrâneo de gás natural, que pode ser explorado na Argentina. É necessário o desenvolvimento de uma variedade de opções de SAE para melhorar a flexibilidade, acessibilidade e resiliência no setor elétrico.

A América do Sul é uma conhecida fonte de reservas de lítio, com elevado potencial de exploração. As maiores reservas do mundo estão concentradas nos desertos entre Bolívia, Argentina e Chile (região conhecida como triângulo do lítio). Recentemente, foram descobertas reservas no Peru, fato este que tem alavancado até mesmo princípios de guerras comerciais entre estes países e países desenvolvedores de tecnologias dependentes de lítio (painéis fotovoltaicos e carros elétricos), sendo a China a maior importadora de lítio da região (Ugarteche & León, 2019). Em razão disso, a América do Sul pode explorar alianças estratégicas para um mercado sustentável e bem fundamentado, relacionado a baterias, painéis fotovoltaicos e carros elétricos, o que automaticamente possibilitaria o emprego de armazenamento BTM em seus SEPs (UN Environment Programme, 2019).

3.1 Ações regulatórias e planejamento energético

A Tabela 1 apresenta um quadro resumo das ações que vêm sendo adotadas nos doze países da América do Sul na questão de regulação e planejamento energético, conforme apresentado no item 2.1. No próximo subitem são apresentados exemplos de estudos de caso para alguns dos países da América do Sul que possuem ações nesse contexto.

3.2 Exemplos de estudos na literatura

Eller e Gauntlett (2017) apresentam um empreendimento de SAE que foi a segunda instalação desse tipo em grande escala implementada no Chile, integrado a uma usina de carvão de 544 MW. Foram inúmeros os benefícios para toda a região

com o desenvolvimento deste projeto. Além do investimento na região e da criação de empregos, este sistema melhorou a confiabilidade geral da rede elétrica e diminuiu tanto os preços no atacado quanto as tarifas de eletricidade no varejo. Por utilizar armazenamento, ao permitir que usinas a carvão funcionem com maiores níveis de eficiência, menos combustível é necessário para gerar uma determinada quantidade de eletricidade, reduzindo os custos marginais de geração. Essa economia pode permitir que a planta ofereça preços mais baixos nos mercados atacadistas, reduzindo os preços médios na região. Além disso, a regulação de frequência de resposta rápida e mais precisa fornecida pelos SAE, permitiu que uma quantidade maior de energia renovável fosse adicionada na região sem comprometer a estabilidade da rede.

Tabela 1. Ações regulatórias ou de planejamento energético relacionados aos SAE na América do Sul

País	Ações
Argentina	Plano Operativo 2020
Bolívia	Não há
Brasil	Lei 14.300 de 2022
Chile	Lei 20.936/2016, DS 125 e DS 42
Colômbia	Resolução CREG 098 de 2019; Lei 2099 de 2021
Equador	Lei Orgânica do Serviço Público de Energia Elétrica 2015
Guiana	Não há
Guiana Francesa	Não há
Paraguai	Plano Mestre de Geração 2021-2040
Peru	DS 22/2020
Suriname	Não há
Uruguai	Decretos 310/017 e 27/020
Venezuela	Não há

O estudo de caso realizado por Pupo-Roncallo et al. (2021), analisa cenários de desenvolvimento energético na Colômbia, incluindo os SAE e energias renováveis, considerando cenários futuros, custos de implementação e recursos disponíveis. Um dos cenários sugere maior penetração de energia eólica e ESF na matriz energética colombiana em conjunto com SAE que poderiam ser tecnicamente alcançáveis até 2030. O principal objetivo do estudo foi sugerir alternativas para reduzir o excesso crítico de produção de energia através de fontes não renováveis. Considera-se que o armazenamento de energia desempenha um papel mais significativo em sistemas de energia com elevada inserção de ESF, principalmente devido à natureza desta, que só está disponível durante períodos de luz solar e não podem gerar energia continuamente ao longo do tempo.

O estudo apresentado em Gonzalez-Garcia et al. (2016), demonstra a capacidade de contribuição dos SAE para o acesso a serviços de energia no Peru. A discussão central do trabalho é de avaliar modelos de negócio, tecnologias de abastecimento, envolvimento da comunidade e planejamento, regulamentação e condução de processos de provimento de energia para a população. Na pesquisa, considera-se que a utilização de fontes renováveis de energia (mais baratas e

sustentáveis), em conjunto com SAE, podem ter um importante papel para a democratização de energia elétrica no país, ponto que também é destacado no DS 22/2020.

No Brasil, a pesquisa de Goulart e Sperandio (2021) propõe um novo agente institucional de armazenamento de energia para o SEB, realizando uma análise econômica-regulatória. Foram estruturados os cenários para simulações de modelagem baseada em agentes para a geração, transmissão e distribuição de energia. Com o avanço desta pesquisa, espera-se desvendar as interrelações econômicas e regulatórias emergentes para o SEB.

4. DISCUSSÕES

Dentre os países da América do Sul, Bolívia, Guiana, Guiana Francesa, Suriname e Venezuela, não apresentam regulação ou planejamento referente aos SAE. Devido a questões particulares de cada local, estes sistemas ainda não se tornaram prioridade e não constam nos planejamentos nacionais.

Países como Argentina, Equador, Peru e Uruguai já sinalizam interesse em SAE, reconhecendo sua importância. Entretanto, não apresentam regulação ou propostas concretas para este setor. O Brasil vem desenvolvendo lentamente a regulação nesta área específica e possui alguns projetos de SAE implantados.

Por outro lado, Chile e Paraguai se destacam na América do Sul. O Chile tem avançado na questão de SAE, investindo nesta tecnologia desde 2017. Além disso, esses sistemas fazem parte de seu planejamento energético no horizonte de 2050. Já o Paraguai, possui um planejamento detalhado quanto às futuras instalações de SAE aliados a sistemas fotovoltaicos, até 2040.

Em locais onde há uma regulação consolidada, os setores elétricos são mais estruturados, possibilitando a atuação de um agente armazenador de energia. Desta maneira, as expectativas de todas as partes interessadas são atendidas (Goulart e Sperandio, 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O contínuo desenvolvimento das *smart grids* em conjunto com o crescente número de dispositivos e recursos instalados na rede, apresenta aos reguladores uma necessidade de investimentos em novos modelos de negócios, admitindo e modelando a participação de agregadores. Neste cenário, uma das soluções mais promissoras são os SAE, pois estes colaboram para mitigar as restrições da capacidade de GD, não expondo a rede a um risco de colapso por restrições de carregamento, tensão ou estabilidade.

Desta forma, para que todo o processo técnico e operacional seja desenvolvido e consolidado, torna-se necessário um estímulo do mercado e de um marco regulatório que impulse a inserção dos SAE, os quais podem mitigar ou até evitar tais restrições. Nesse cenário, pode-se observar que diversos países apresentam políticas operantes para estes sistemas. Há uma mobilização crescente nesta direção de vários países em desenvolvimento, o que comprova a importância dos esforços regulatórios direcionados aos SAE. No Brasil, aguarda-se pelas publicações de normas e políticas

públicas que incentivem as implementações de SAE, pois há apenas iniciativas pontuais até o momento.

A literatura concernente ao assunto, por mais técnica que seja em sua abordagem sobre os SAE, demonstra nos vários estudos em desenvolvimento o impacto de variáveis regulatórias atreladas aos atributos nas metodologias de pesquisa. Logo, o resultado coletado pelos novos modelos de negócios, os quais terão influência direta em múltiplas atividades econômicas, serão determinados por uma base regulatória sólida que apresente condições suficientes para maturação dos SAE.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte técnico e financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Geração Distribuída (INCT-GD) da Universidade Federal de Santa Maria (CNPq processo nº 465640/2014-1, CAPES processo nº 23038.000776/2017-54 e FAPERGS nº 17/2551-0000517-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. (2017). *Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência aprova 23 propostas da chamada de P&D sobre armazenamento de energia.*
- ANEEL. (2022). *Agência Nacional de Energia Elétrica. Agenda regulatória 2022-2023.*
- Argentina. (2020). *Plan operativo—Núcleo Socio-Productivo Estratégico: Almacenamiento de energía 2020 - Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva*. Presidencia de la Nación - Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - Secretaría de Planeamiento y Políticas.
- Brasil. (2021). *Micro e minigeração distribuída & baterias—Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. MME/EPE.
- Brasil. (2022). Lei Nº 14.300, de 6 de Janeiro de 2022, nº. 14.300, Subchefia para Assuntos Jurídicos.
- Brasil. (2030). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2030* (p. 453). MME/EPE.
- BYD. (2021). *Sistema de armazenamento de energia opera com usina fotovoltaica.*
- Chile. (2016). *Energía 2050: Política Energética de Chile. Comité Consultivo de Energía*. Ministerio de Energía.
- Chile. (2017). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Ley 20936.*
- Chile. (2019). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Decreto 125*. Ministerio de Energía.
- Chile. (2020). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Decreto 42*. Ministerio de Energía.
- Cleary, B., Duffy, A., O'Connor, A., Conlon, M., & Fthenakis, V. (2015). Assessing the Economic Benefits of Compressed Air Energy Storage for Mitigating Wind Curtailment. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(3), 1021–1028. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2014.2376698>
- Colômbia. (2019). *Resolución Nº. 098 de 2019*. Ministério de Minas y Energía - Comisión de Regulación de Energía y Gas.

- Colômbia. (2021). *Ley N.º. 2099 de 10 Jul 2021*, (Testimony of Colômbia).
- Eller, A., & Gauntlett, D. (2017). *Energy Storage Trends and Opportunities in Emerging Markets* (Chile).
- EPE. (2019). Sistemas de Armazenamento em Baterias: Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento. In *Empresa De Pesquisa Energética* (p. 36). Ministério de Minas e Energia.
- Equador. (2015). *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*, Órgano del Gobierno del Ecuador (Testimony of Equador).
- França. (2018). *Programmation pluriannuelle de l'énergie—Stratégie Française Pour L'Énergie et le Climat*.
- GEA. (2021). *Taking Account of Energy Efficiency in Procurement* (Guiana). Guyana Energy Agency.
- Gomes, I. S. F., Perez, Y., & Suomalainen, E. (2020). Coupling small batteries and PV generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 126, 109835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109835>
- Gonzalez-Garcia, A., Amatya, R., Stoner, R., & Perez-Arriaga, I. (2016). *Evaluation of universal access to modern energy services in Peru* (Peru). 63.
- Goulart, D. D., & Sperandio, M. (2021). Proposta de um Novo Agente Institucional de Armazenamento de Energia. *Proceedings of the 13th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC 2021)*. <https://doi.org/10.53316/sepoc2021.060>
- Greener. (2021). *Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento—Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras*.
- Guiana. (2018). *Policy Recommendations, Financial Mechanism & Implementation—Volume 1—Green State Development Strategy—Vision 2040*.
- IEA. (2020). *Energy Storage*. <https://www.iea.org/reports/energy-storage>
- IRENA. (2019). *Innovation Landscape Brief: Behind-The-Meter Batteries*. International Renewable Energy Agency.
- Paraguai. (2021). *Plan Maestro de Generación 2021-2040*. ANDE - Administración Nacional de Electricidad.
- Peru. (2020). *Decreto Supremo N.º. 022-2020-EM - Decreto Supremo que aprueba disposiciones sobre la infraestructura de carga y abastecimiento de energía eléctrica para la movilidad eléctrica* (Testimony of Peru).
- Prado, J. C. do, Logan, J. S., & Flores-Espino, F. (2019). *Options for Resilient and Flexible Power Systems in Select South American Economies* (NREL/TP-6A50-75431, 1577969;. <https://doi.org/10.2172/1577969>
- Pupo-Roncillo, O., Campillo, J., Ingham, D., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2021). The role of energy storage and cross-border interconnections for increasing the flexibility of future power systems: The case of Colombia. *Smart Energy*, 2, 100016. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100016>
- Sioshansi, F. (2020). Behind and beyond the meter: Digitalization, aggregation, optimization, monetization. In *Behind and Beyond the Meter: Digitalization, Aggregation, Optimization, Monetization* (p. 460). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00808-4>
- Strasser, T., Andren, F., Kathan, J., Cecati, C., Buccella, C., Siano, P., Leitao, P., Zhabelova, G., Vyatkin, V., Vrba, P., & Marik, V. (2015). A Review of Architectures and Concepts for Intelligence in Future Electric Energy Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(4), 2424–2438. <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2361486>
- Ugarteche, O., & León, C. de. (2019). El papel del litio en la guerra comercial. In *OBELA*. <http://www.obela.org/analisis/el-papel-del-litio-en-la-guerra-comercial>
- UN Environment Programme. (2019). *The Opportunity, Cost and Benefits of the Coupled Decarbonization of the Power and Transport Sectors in Latin America and the Caribbean* (pp. 249–249). United Nations Environment Programme.
- URSEA. (2019). *Energía Eléctrica* (Uruguai). Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua.
- Uruguai. (2019). *Presente y Futuro de las Energías Renovables* (Uruguai). Hacia una Estrategia Nacional de Desarrollo - Uruguay 2050.
- Zinaman, O., Bowen, T., & Aznar, A. (2020). An overview of behind-the-meter solar-plus-storage regulatory design: Approaches and case studies to inform international applications (Report no. NREL/TP-7A40-75283). *NREL Report, March*, 1–76.