

GERENCIAMENTO EFICIENTE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: DESAFIOS PARA REDUÇÃO DO CORTE DE GERAÇÃO DE ENERGIA DAS FONTES RENOVÁVEIS

Renata Lautert Yang¹
Luciane Neves Canha²
Gerson Maximo Tiepolo¹
Jair Urbanetz Júnior¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná

²Universidade Federal de Santa Maria

DOI: 10.47168/rbe.v26i1.562

Recebido em: 11.07.2020

Aceito em: 18.08.2020

RESUMO

O aumento da responsabilidade ambiental tem conduzido a ações sustentáveis mundialmente, inclusive no Brasil. Neste sentido, há uma tendência no aumento de fontes renováveis na geração de eletricidade, com o intuito de descarbonizar a matriz elétrica. Um dos desafios está na crescente participação de fontes intermitentes na matriz elétrica, representadas pela geração eólica e solar. Estas fontes apresentam previsibilidade limitada na geração de energia ao longo do tempo, dependendo de condições meteorológicas locais. A energia renovável gerada pode ter que ser reduzida para manter o equilíbrio entre carga e geração. Deste modo, uma prática comum adotada globalmente é o corte na geração de energia renovável. Esta ação é chamada de *curtailment*. Este artigo abordará este tema, analisando seus motivos e expondo algumas soluções propostas na literatura. No Brasil, o corte na geração de eletricidade é mais frequente em hidrelétricas. Entre os desafios para a redução deste corte, estão o investimento na expansão da rede de transmissão, o gerenciamento eficiente do despacho de energia e sistemas de armazenamento. Portanto, com o aumento da capacidade instalada em usinas eólica e solar, estudar e analisar estratégias a fim de reduzir o *curtailment* mostram-se extremamente relevantes, de forma que haja um maior aproveitamento da energia gerada através de fontes renováveis, contribuindo com a segurança da rede.

Palavras-chave: Sistema elétrico de potência, Geração de energia, Energia renovável variável, Corte, Gerenciamento.

ABSTRACT

The increase in environmental responsibility has led to sustainable actions worldwide, including in Brazil. In this sense, there is a trend in the increase of renewable sources in the generation of electricity, in order to decarbonize the electric matrix. One of the challenges is the growing participation of intermittent sources, represented by wind and solar generation. These sources have limited predictability in timescale power generation, depending on local weather conditions. The renewable energy generated may have to be reduced to maintain a balance between load and generation. Thus, a common practice adopted globally is to reduce the generation of renewable energy. This action is called curtailment. This article will present this topic, analyzing its reasons and exposing some solutions proposed in the literature. In Brazil, the curtailment in electricity generation is more frequent in hydroelectric plants. Among the challenges to reduce curtailment are investment in expanding the transmission grid, efficient management of energy dispatch and storage systems. Thus, when analyzing the national context, it is clear that reducing the curtailment of solar and wind energy is an important strategy for maintaining hydraulic and fossil fuel reserves, contributing to the safety of grid operation. Therefore, the reduction of curtailment must be inserted in the planning studies of the operation, so the system could have a greater use of the energy generated through renewable sources.

Keywords: Electric power system, Power generation, Variable renewable energy, Curtailment, Management.

1. INTRODUÇÃO

Na década de 2020 o Brasil possui o desafio de promover a expansão da oferta de energia elétrica de forma que sustente a retomada do crescimento econômico nacional. Esta expansão deve ocorrer de modo seguro, preservando o acesso à energia a preços competitivos, além de cumprir os objetivos e metas ambientais. Assim, o planejamento energético brasileiro é elaborado de maneira a otimizar a ampliação da oferta de energia de forma sustentável, priorizando energias renováveis. O gerenciamento eficiente da produção de energia constitui um conjunto de ações complexas e desafiadoras (BRASIL, 2020).

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) consiste no conjunto de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. A operação do SEP tem como principal objetivo manter o sistema operando adequadamente, sem sobrecarregar seus componentes e atendendo a todos os requisitos de continuidade, qualidade de energia e economia. A estabilidade do SEP, dada condição operacional inicial, está na sua capa-

cidade de recuperar um estado de equilíbrio operacional após ser submetido a um distúrbio, fazendo com que praticamente todo o sistema permaneça intacto (KUNDUR et al., 2004).

Um dos desafios para suprir a demanda de energia de forma segura está na crescente participação de fontes intermitentes na matriz elétrica, representadas pela geração eólica e solar. Estas fontes apresentam previsibilidade limitada na geração de energia elétrica ao longo do tempo, dependendo de condições meteorológicas locais, como velocidade do vento e irradiância solar. A fonte de geração de energia hidráulica igualmente se enquadra neste cenário, pois depende do nível de seu reservatório, sendo diretamente proporcional ao índice pluviométrico de um determinado período (MIRANDA et al., 2017; LI et al., 2015; LIU et al., 2018).

Portanto, o montante da geração de energia renovável no SEP é incerto. A energia renovável gerada pode ter que ser reduzida para manter o equilíbrio entre carga e geração. Deste modo, uma prática comum adotada globalmente é a redução na geração de energia renovável, ou seja, a usina gera menos que sua capacidade nominal. Esta ação é chamada de *curtailment* (corte, em inglês). (LI et al., 2015).

Assim, este artigo fará uma breve revisão bibliográfica sobre o tema, analisando os motivos destes cortes e as algumas ocorrências. Além disso, serão expostas soluções propostas na literatura, com o objetivo de reduzir este corte na geração de energia proveniente de fontes renováveis.

2. CURTAILMENT

O *curtailment* consiste em uma redução na produção de um gerador, geralmente de forma involuntária, dados os recursos disponíveis. O corte na geração de eletricidade tem sido uma ocorrência comum no setor de energia elétrica e pode ocorrer por vários motivos (REN21, 2020). O *curtailment* ocorre principalmente como consequência de restrições na rede de distribuição e transmissão, como falta de acesso à transmissão ou congestionamento da rede, além de ser uma medida de precaução para garantir a estabilidade do sistema quando existe um alto risco de geração de energia através de determinada fonte. Ele diminui os benefícios ambientais das energias renováveis e aumenta seus custos (JACOBSEN; SCHRÖDER, 2012).

Esta prática adotada globalmente ocorre principalmente devido ao aumento das usinas de energia renovável variável (VRE, do inglês *Variable Renewable Energy*), as quais são eólica, solar e hídrica. A Figura 1 apresenta as ocorrências e formas mais usuais de *curtailment* no mundo. Conforme a Figura 1, o corte na geração destas três VRE

concomitantes ocorre em países como EUA, Canadá, China e Japão. Na Europa, o corte mais frequente está na geração eólica, enquanto no Brasil o curtailment é mais utilizado nas hidrelétricas (LI et al., 2015). No ano de 2020, o corte de geração de energia renováveis tem ocorrido em maior escala nos EUA devido à redução na demanda de energia, provocada pela pandemia do coronavírus, que levou o fechamento de diversos estabelecimentos, por ordens do governo (GTM, 2020).

O Brasil apresenta um planejamento energético bem estruturado e na última década foi o país da América do Sul que instalou mais fontes de energia renováveis, desconsiderando hidrelétricas. O crescimento de VRE no Brasil pode ser observado na Figura 2, que abrange apenas as fontes eólica e solar. Percebe-se que estas fontes vêm ganhando representatividade no cenário nacional, principalmente a geração de energia eólica. A energia solar aparece com valor expressivo a partir do ano de 2017. A maior parte da capacidade instalada do VRE está localizada na região nordeste, o que exige uma provisão adicional de flexibilidade a curto prazo nessa região. As fontes de VRE devem continuar aumentando sua participação na matriz elétrica brasileira, à medida que os custos dos sistemas eólico e solar continuam a diminuir (PRADO et al., 2019). Diversas usinas já foram contratadas em leilões e devem entrar em operação nos próximos anos. Até 2029 estima-se que o aumento percentual de sua capacidade instalada na matriz elétrica brasileira seja superior a 10% (BRASIL, 2020). As Figuras 1 e 2 foram adaptadas de Li et al. (2015).

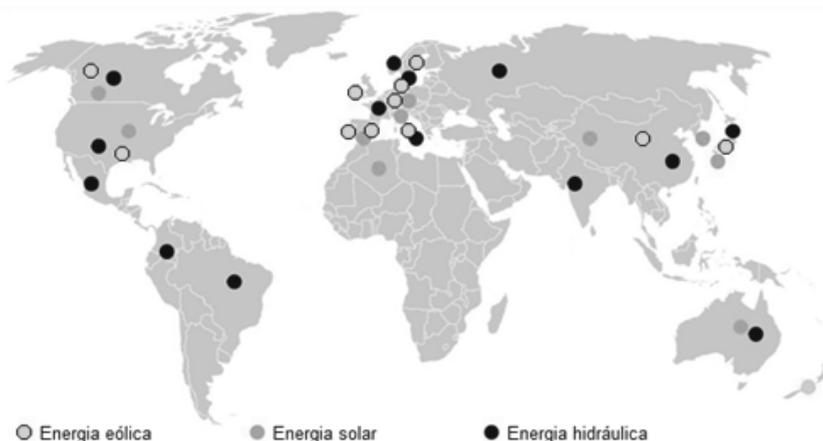


Figura 1 – Ocorrência de curtailment de energias solar, eólica e hídrica no mundo

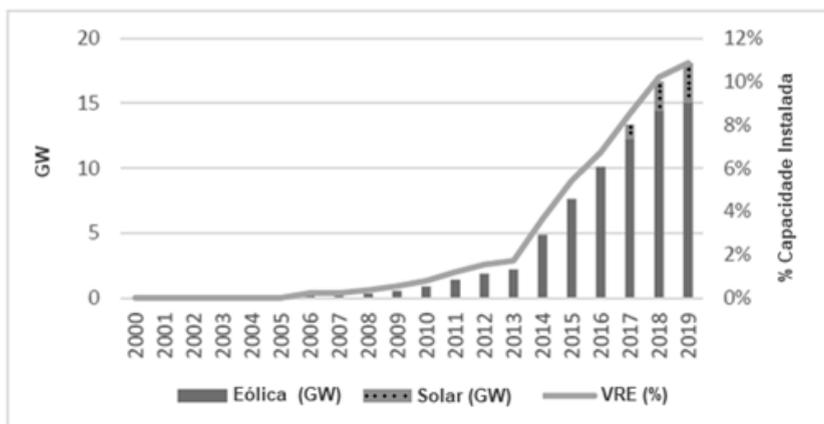


Figura 2 – Evolução da capacidade instalada de VRE no Brasil

Assim, com a crescente capacidade instalada de VRE, o corte nestas fontes surge como uma consequência para manter a estabilidade do sistema, por conduzir a uma operação mais flexível, além de reduzir o congestionamento da rede de transmissão (COTIA et al., 2019). Entretanto, o *curtailment* de VRE deve ser evitado, é preciso que estas fontes sejam melhor aproveitadas, como alternativa à geração de energia através de combustíveis fósseis, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa (LI et al., 2015).

3. DESAFIOS PARA REDUÇÃO DE CURTAILMENT

Frente ao exposto, soluções podem ser adotadas a fim de minimizar o *curtailment* no SEP. Algumas delas serão analisadas neste artigo, de forma a melhor compreender estas alternativas desafiadoras à redução de geração de energia através de VRE.

3.1 Expansão da rede de transmissão

O excesso da oferta de energia provenientes de determinadas fontes pode acarretar a um congestionamento nas linhas de transmissão, pois há falta de infraestrutura em alguns locais. Como este é um fator que leva ao *curtailment* em certas regiões, a expansão da geração de eletricidade deve conduzir a um investimento em redes de distribuição concomitantemente (GUNNAASANKARAAN et al., 2013).

A expansão da capacidade de transmissão existente poderia permitir ao país maior flexibilidade e troca de energia entre as regiões. Desta maneira, seria possível explorar melhor as complementaridades regionais existentes, além dos efeitos opostos de eventos climáticos em diferentes regiões, como períodos de seca e chuva. Assim, o uso de VRE seria maximizado, podendo transmitir energia de áreas remotas para os principais centros de consumo, evitando o corte (PRADO et al, 2019).

A expansão da rede de transmissão envolve um investimento elevado, porém mostra-se uma ação necessária a fim de garantir a operação do SEP com capacidade adequada nas linhas. Este investimento em instalações de transmissão são custos de longo prazo (contabilizados em anos), enquanto as perdas sofridas devido à falta desta rede são custos de curto prazo (quantificadas em horas). Portanto, deve-se analisar o custo deste projeto e comparar com a perda cumulativa desta energia cortada em um determinado espaço de tempo, verificando a viabilidade desta solução (GUNNAASANKARAAN et al., 2013).

No Brasil, os leilões de energia nova e leilões de transmissão são planejados em conjunto para a expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN). Há um planejamento realizado para estes investimentos, até 2029. Entretanto, em 2020, devido à pandemia do coronavírus, houve uma mudança de hábitos de consumo e demanda de energia, a qual reduziu consideravelmente em relação ao ano de 2019. Este fato levou à postergação destes leilões que estavam previstos para ocorrerem no ano de 2020 (MME, 2020).

3.2 Gerenciamento eficiente do despacho de energia

Outra medida que pode ser tomada com o intuito de reduzir o *curtailment* encontra-se no gerenciamento no despacho de energia nas redes de transmissão, em que são priorizados os fluxos de potência de fontes renováveis de energia com menores custos, conforme uma lista de classificação (LI et al., 2015).

Há diversos estudos em andamento com o objetivo de otimizar a política operacional do SEP e minimizar o *curtailment*, uma delas está no despacho por ordem de mérito, conforme a energia de menor custo. A prioridade no despacho da geração através de fontes renováveis pode manter a operação segura do sistema. Ela pode ser realizada por meio de um agendamento e uma ordem de classificação (LI et al., 2015).

No Brasil, as rampas de geração provenientes principalmente de usinas eólicas representam um desafio no controle do sistema, desta

forma esta energia tem prioridade, seguida pela hidráulica. As usinas termelétricas são utilizadas para modular o SEP (BRASIL, 2020).

Neste contexto de crescimento de VRE na matriz elétrica e gerenciamento do despacho de energia, o Reino Unido lançou um programa piloto de medição inteligente no final de 2019 para consumidores que possuem geração distribuída. Os clientes inscritos nele foram pagos para utilizar eletricidade durante o período de geração excedente de VRE e foram compensados por contribuir com o balanceamento da rede. A utilização de diversas tecnologias, como inteligência artificial, vem sendo empregadas no SEP, otimizando o despacho de energia e aumentando a confiabilidade do sistema (REN21, 2020).

Em relação ao Brasil, no Plano Decenal de Energia (PDE) 2029, há estudos sobre resposta à demanda, podendo ser classificada em resposta a preço e resposta por incentivo. A resposta à demanda baseada em incentivos, que foi considerada no PDE, oferece aos consumidores incentivos financeiros para redução da demanda em momentos críticos para o sistema. São produtos despacháveis, os quais são acionados através de uma ordem de despacho do operador e já foi empregado em um projeto-piloto realizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). A resposta à demanda atua aumentando a segurança do sistema em situações críticas, como seu custo fixo é menor que de uma nova usina, ela se torna mais viável economicamente (BRASIL, 2020).

No PDE 2029, além da resposta à demanda, a modernização/repotencialização das usinas hidrelétricas aparece como uma alternativa em estudo para suprimento da potência. Esta modernização compreende no aumento da capacidade de modulação de potência no recurso hidráulico, quando ele estiver disponível, considerando o limite de potência por altura de queda dos reservatórios. Por essa tecnologia não possuir custo variável de operação, o despacho esperado no atendimento aos momentos de maior requisito é elevado (BRASIL, 2020).

No gerenciamento eficiente da produção de energia elétrica, melhorar a flexibilidade do SEP é essencial para o avanço da integração de VRE. A flexibilidade é importante para garantir serviços ininterruptos, enquanto gerencia mudanças na oferta e demanda, permitindo condições operacionais seguras e minimiza interrupções na geração ou na transmissão, reduzindo o curtailment (REN21, 2020).

Portanto, determinar o despacho de energia das plantas geradoras a fim de garantir o equilíbrio entre geração e carga representa um dos desafios do SEP no Brasil (COTIA et al., 2019). E esta consiste em uma das ações que deve ser aprimorada a fim de reduzir o corte de geração de energia das fontes renováveis.

3.3 Armazenamento de energia

Dentre as alternativas para reduzir o *curtailment*, está o uso de dispositivos de armazenamento de energia, pois eles compensam os níveis de intermitência e podem levar a um uso mais eficiente de fontes de energia renováveis, evitando a interrupção da geração de eletricidade em sistemas intermitentes (DENHOLM et al., 2010). Há diversos sistemas de armazenamento de energia que podem diminuir este corte na geração de energia, e ele pode ser realizado de algumas maneiras (DENHOLM, 2012). Uma delas reside na flexibilidade inerente da rede através do sistema de armazenamento de energia, que pode atuar para reduzir as restrições mínimas de geração, fornecendo reservas operacionais.

Além disso, uma alternativa que vem sendo estudada é a possibilidade da implantação de usinas hidrelétricas reversíveis no Brasil. O PDE 2029 traz o estudo da possibilidade de considerar esta forma de armazenamento em larga escala no SIN como uma tendência de operação futura, em que este recurso pode reduzir os custos de operação durante os picos de demanda (BRASIL, 2020).

As baterias geralmente fornecem resposta rápida e apresentam potencial para serem empregadas no gerenciamento de energia, esta solução vem sendo discutida em diversas aplicações (DENHOLM et al., 2010). O uso de baterias, apesar de ser uma solução factível, quando empregada em larga escala, não se mostra viável economicamente (BRASIL, 2020).

Para que sistemas de armazenamento desempenhem um papel fundamental na redução do *curtailment*, é necessário que haja uma redução no seu custo, contínuo desenvolvimento desta tecnologia, regulamentação e programas de incentivos para sua implantação. O sistema de armazenamento pode atuar como uma carga flexível, um gerador e até como uma alternativa à transmissão. Portanto, este sistema fornece uma alternativa interessante para aumentar a flexibilidade da rede e reduzir o corte de VRE. Contudo, existem limitações nestas tecnologias, como o armazenamento de energia em larga escala por diversas horas ou dias, além de um investimento elevado (DENHOLM, 2012).

Assim, esta alternativa merece atenção e um estudo mais amplo para sua inserção. Uma opção seria implementar na forma centralizada, com a instalação de grandes armazenadores próximos a usinas intermitentes e de linhas de transmissão. Outra maneira para implementar esta saída estaria no modo descentralizado, em que poderiam haver incentivos governamentais para consumidores que possuem geração distribuída ou carro elétrico. Por exemplo, usuários que gerem energia a partir de fontes intermitentes, como energia solar, ao inves-

tirem em acumuladores poderiam receber subsídios ou uma compensação diferenciada da energia injetada, principalmente no horário de ponta ou de pico de demanda.

4. CONCLUSÕES

As energias renováveis podem servir como uma alternativa ambiental para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, os quais emitem gases do efeito estufa. Com o aumento na capacidade instalada de fontes renováveis, diversos problemas no SEP apareceram, resultando no corte de energia.

Entre os diversos desafios existentes que podem ser empregados para reduzir o *curtailment*, nesta pesquisa foram abordadas as seguintes soluções: expansão da rede de transmissão, gerenciamento eficiente do despacho de energia e armazenamento de energia. Cada uma apresenta certa complexidade e desafios característicos para mitigar o problema do corte de geração de energia das fontes renováveis. Apesar das dificuldades em cada caso, é necessário o planejamento, investimento e tomadas de decisões acertadas que contribuam com o fornecimento de uma energia cada vez mais acessível, sustentável, confiável e flexível aos usuários finais.

Portanto, ao analisar o contexto nacional, percebe-se que reduzir o *curtailment* das energias solar e eólica é uma estratégia importante para manter as reservas hidráulicas e de combustíveis fósseis, contribuindo para a segurança da operação do SEP. Assim, a redução do *curtailment* deve ser ampliada nos estudos de planejamento da operação, de forma que haja um maior aproveitamento da energia gerada através de fontes renováveis.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq PQ 1-D 310761/2018-2, CNPq processo 465640/2014-1, CAPES processo n°. 23038.000776/2017-54 e FAPERGS 17/2551-0000517-1.

Agradecimentos também ao financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Os autores agradecem a UTFPR pelo apoio e infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa e a COPEL-Distribuição pelo apoio e financiamento dos recursos para realização deste projeto de P&D “ANEEL PD 2866-0464/2017 - Metodologia Para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por Fontes Incentivadas”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COTIA, B. P., BORGES, C. L., DINIZ, A. L. Optimization of wind power generation to minimize operation costs in the daily scheduling of hydro-thermal systems, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 113, 539-548, 2019.

DENHOLM, P. Energy storage to reduce renewable energy curtailment, 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 1-4, 2012.

DENHOLM, P., ELA, E., KIRBY, B., MILLIGAN, M. The role of energy storage with renewable electricity generation, Technical report NREL/TP-6A2-47187, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Plano decenal de expansão de energia 2029, Ministério de Minas e Energia – Empresa de Pesquisa Energética, 2020.

GREEN TECH MEDIA - GTM. California Renewables Curtailments Surge as Coronavirus Cuts Energy Demand, 2020.

GUNNAASANKARAAN, H., VISWANATH, A., MAHATA, K., GOEL, L. Transmission planning by minimizing curtailment of market transactions, *Electric power systems research*, 101, 1-8, 2013.

JACOBSEN, H. K., SCHRÖDER, S. T. Curtailment of renewable generation: Economic optimality and incentives, *Energy Policy*, 49, 663-675, 2012.

KUNDUR, P., PASERBA, J., AJJARAPU, V., ANDERSSON, G., BOSE, A., CANIZARES, C., HATZIARGYRIOU, N., HILL, D., STANKOVIC, A., TAYLOR, C., VAN CUTSEM, T., VITTAL, V. Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions, *IEEE transactions on Power Systems*, 19(3), 1387-1401, 2004.

LI, C., SHI, H., CAO, Y., WANG, J., KUANG, Y., TAN, Y., WEI, J. Comprehensive review of renewable energy curtailment and avoidance: a specific example in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1067-1079, 2015.

LIU, B., LIAO, S., CHENG, C., CHEN, F., LI, W. Hydropower curtailment in Yunnan Province, southwestern China: Constraint analysis and suggestions, *Renewable Energy*, 121, 700-711, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul. de 2020.

MIRANDA, R., SORIA, R., SCHAEFFER, R., SZKLO, A., SAPORTA, L. Contributions to the analysis of “Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil” [Energy 100 (2016) 401–415], Energy, 118, 1198-1209, 2017.

PRADO, J. C., LOGAN, J., FLORES-ESPINO, F. Options for resilient and flexible power systems in select south American economies, Technical report NREL/TP-6A50-75431, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2019.

REN21. Renewables 2020 – Global status report, 2020.