UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

MARLUS CHAVES QUINTAS

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS PARA ENFRENTAMENTO DA REDUÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA ARMAZENADA, FRENTE A REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR GERAÇÕES HIDRELÉTRICAS.

CURITIBA
2021

MARLUS CHAVES QUINTAS

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS PARA ENFRENTAMENTO DA REDUÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA ARMAZENADA, FRENTE A REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR GERAÇÕES HIDRELÉTRICAS.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), do curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias (PECCA), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), como requisito parcial para obtenção do certificado de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ribeiro Júnior

CURITIBA

2021

RESUMO

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é um sistema de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, sobretudo na região Nordeste, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado. As usinas térmicas, em geral localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, desempenham papel estratégico relevante, pois contribuem para a segurança do SIN. Essas usinas são despachadas em função das condições hidrológicas vigentes, que nos últimos anos tem passado por processo de depleção. Este cenário tem provocando aumento da necessidade de despacho térmico e consequente repercussões no custo de geração. A partir da atual conjuntura de geração e da capacidade de despacho da matriz elétrica, este artigo discute as tendências das mudanças na matriz elétrica, com destaque para o crescimento das fontes eólica, solar e térmicas, a evolução da capacidade instalada e de armazenamento de energia hidráulica e os efeitos nos custos de geração, sendo este último com notório viés altista.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Interligado Nacional; Despacho térmico.

ABSTRACT

The Brazilian National Interconnected System (SIN) is a large system, with a predominance of hydroelectric plants and distributed in sixteen hydrographic basins in different regions of the country. In recent years, the installation of wind power plants, especially in the Northeast region, has shown strong growth, increasing the importance of this generation to supply the market. As thermal plants, which are generally required under the conditions of the main load centers, they play a relevant strategic role, as they contribute to the safety of the SIN. These plants are dispatched due to current hydrological conditions, which in recent years have gone through a depletion process. This scenario has caused an increase in the need for thermal dispatch and consequent repercussions on the cost of generation. Based on the current generation scenario and the dispatch capacity of the electrical matrix, this article discusses trends in changes in the electrical matrix, with emphasis on the growth of wind, solar and thermal sources, the evolution of installed capacity and energy storage hydraulics and the effects on generation costs, the latter with a notorious upward bias.

KEYWORDS: *Brazilian National Interconnected System; Thermal dispatch*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **3**
1.1 Justificativa **4**
1.2 Objetivos **4**
1.2.1 Objetivo Geral 4
1.2.2 Objetivos Específicos 4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **6**
2.1 Matriz Energética Elétrica Nacional **6**
2.2 Geração despachável **7**
2.3 Leilões de Energia **8**
2.4 Custos de geração e Energia Armazenada **10**
3 METODOLOGIA **12**
3.1 Matriz SWOT **13**
4 RESULTADOS **15**
5 CONCLUSÃO **16**
6 TRABALHOS FUTUROS **16**

1 INTRODUÇÃO

A geração elétrica do Brasil é constituída, quase em sua totalidade, por um sistema interligado do tipo hidro-térmico de grande porte, constituído de múltiplos players. Segundo os dados do Operador Nacional do Sistema (ONS, 05/2021), o Sistema Interligado Nacional (SIN) atingiu a marca de 171,2 GW de potência instalada e tem como fonte predominante a hidrelétrica, correspondendo a 108,6 GW, equivalente a 63,5% da potência instalada total.

Embora a fonte hidrelétrica ainda responda por quase dois terços da potência instalada do sistema, nos últimos quinze anos tem se observado uma contínua mudança na composição da matriz, sobretudo com o advento das tecnologias eólica e solar que, juntas, em 2006 somavam irrisórios 0,2 GW e hoje somam 23,4 GW de potência instalada, assumindo assim expressivos 13,6% do total da nossa matriz. Esse exponencial crescimento na participação da matriz elétrica contrasta com a diminuição da participação da fonte hidráulica, que no mesmo período, passou de 76,3% para atuais 63,5% (ONS, 2021). Apesar dessa redução ter sido compensada pelo crescimento das fonte solar e sobretudo eólica, que também são renováveis, o que é positivo do ponto de vista ambiental, observamos uma piora no aspecto da segurança do sistema, em função da consequente diminuição percentual da participação de fontes com alta despachabilidade na composição do SIN. Além do aspecto da segurança operacional do sistema, essa nova conjuntura na geração elétrica também gera significativas repercussões nos custos de geração e, consequentemente, nos custos da energia para os consumidores.

Diante do exposto, o presente estudo visa propor a análise de tendências para enfrentamento da redução da energia armazenada nos reservatórios de acumulação das usinas hidrelétricas, frente a redução da produção de energia elétrica por gerações hidrelétricas, em contrapartida de ampliação do sistema energético por meio de usinas termoelétricas e do aumento do despacho térmico.

1.1 Justificativa

A contínua mudança na composição da matriz energética elétrica brasileira, mais fortemente observada nos últimos 15 anos, sobretudo com grande inserção das fontes eólica e solar, que nesse intervalo partiram de praticamente nula para atuais 13,6% de participação, somadas à redução da participação da fonte hidráulica, que é altamente despachável, tem provocado alterações na composição de preços da energia, na segurança energética da matriz elétrica.

A redução da participação da fonte hidráulica, que ainda é predominante na matriz, mais especificamente de usinas hidrelétricas (UHE) que dispõem de reservatórios relevantes, associadas às mudanças climáticas, tem impactado negativamente nos níveis de energia armazenada (EAR), dando estímulo à contratação de novos empreendimentos termelétricos para preencher tal lacuna e, desse modo, equalizar a despachabilidade do sistema, que é a capacidade deste responder às variações momentâneas de carga. Embora as fontes eólica e solar venham crescendo exponencialmente neste período, estas pecam no quesito despachabilidade, o que torna ainda mais complexa a operação do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Portanto, a partir das contratações de novos empreendimentos, das tendências de mudanças na composição das fontes da matriz e seus reflexos na composição dos custos de geração, é possível identificar as tendências deste mercado, bem como seus pontos fortes, fraquezas, oportunidades e ameaças.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar tendências para enfrentamento da redução da energia elétrica armazenada, frente a redução da produção de energia elétrica por gerações hidrelétricas, em contrapartida de ampliação do sistema energético por meio de usinas termoelétricas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a tendência das mudanças na matriz elétrica, a partir dos leilões de energia e da participação das diferentes fontes e preços;
- Verificar o modelo atual em função do despacho térmico através da análise SWOT;
- Propor e validar o modelo utilizando tendências históricas do sistema analisado pela matriz SWOT , bem como as tendências do mercado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Matriz Energética Elétrica Nacional

Embora ainda predominantemente hidrelétrico, nos últimos quinze anos o SIN tem atravessado uma significativa mudança na composição de sua matriz de geração. De um lado, temos a contínua diminuição da participação da fonte hidráulica, que nos últimos 15 anos, passou de 84,36% para atuais 63,47%, de outro, temos a pujante inserção das tecnologias eólica e solar que, juntas, hoje somam 23,4 GW de potência instalada, assumindo assim expressivos 13,6% do total da nossa matriz (figura 1. ONS, 05/2021). A lacuna deixada pela fonte hidráulica no período foi essencialmente preenchida pelas fontes eólica, térmica e solar vistos na figura 2 (ONS, 05/2021).

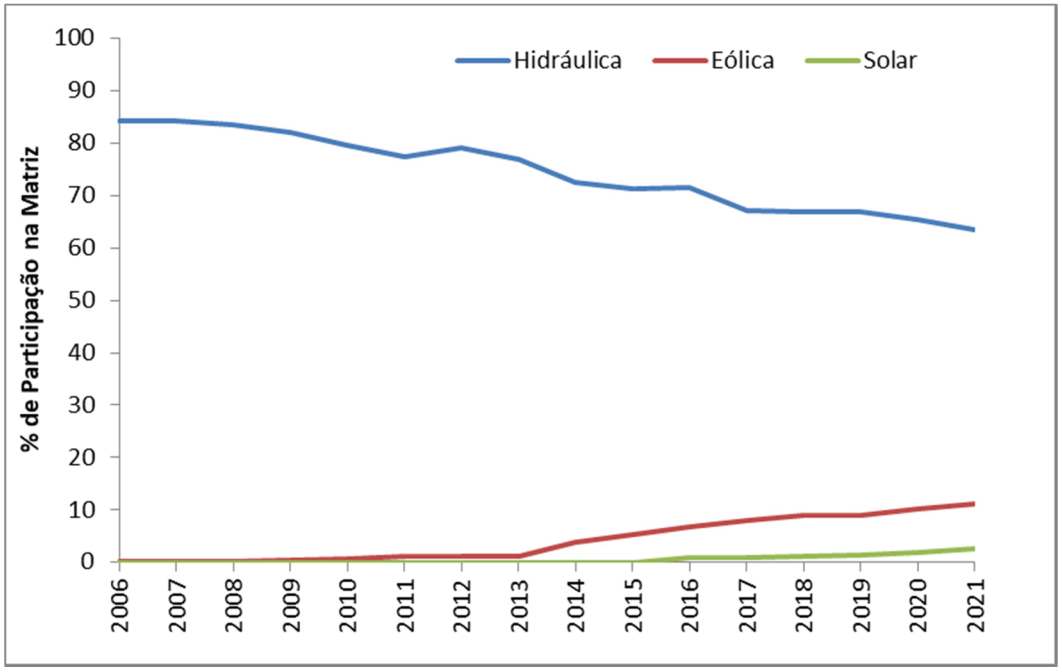

Figura 1 – Evolução da participação das fontes Hidráulica, Eólica e Solar na capacidade instalada do SIN (ONS, 05/2021).

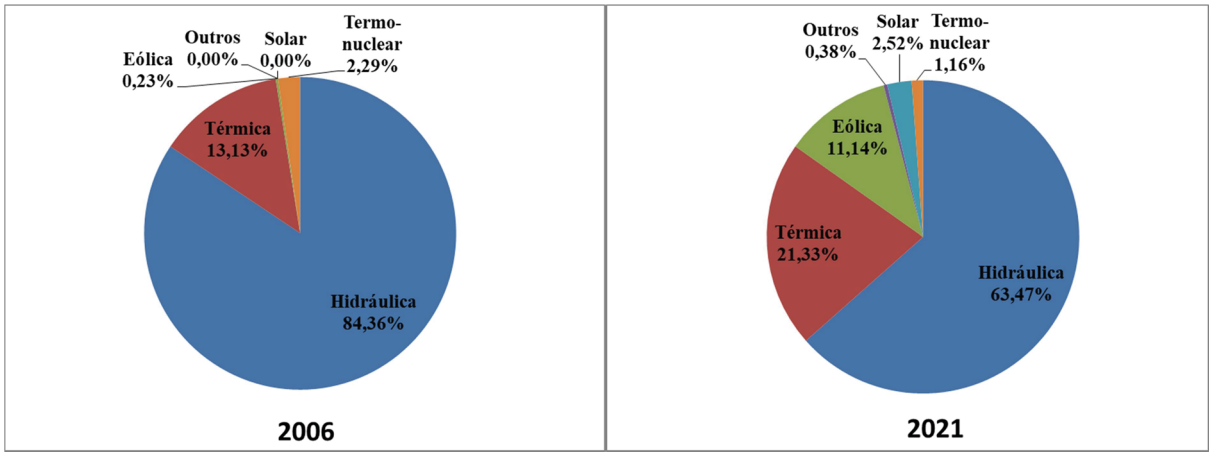

Figura 2 - Composição da matriz elétrica brasileira. a) histórico em 2006 e b) histórico em 2021(ONS, 05/2021).

2.2 Geração despachável

A geração despachável refere-se a fontes de eletricidade que podem ser despachadas sob demanda a pedido dos operadores da rede elétrica, de acordo com as necessidades do mercado. Os geradores despacháveis podem ajustar sua potência de acordo com um pedido (EIA, 2021). o que no caso da solar e sobretudo da eólica é bastante deficitária, ao contrário da fonte hidráulica e alguns tipos de térmicas (EMMERIK, STEINBERGER e AREDES, 2011). Essa despachabilidade se configura como importante instrumento de manobra, possibilitando o gerenciamento estratégico do SIN que, juntamente com a diversidade da matriz, garante o suprimento da carga, saciando a demanda através do despacho de energia da fonte mais barata que estiver disponível no momento enquanto poupa as mais caras, que estão escassas ou com previsão de escassez (ONS, 2021). O ONS também despacha usinas térmicas por ordem de mérito semanalmente para atendimento de energia. Essas usinas térmicas são aquelas que apresentam custo variável unitário (CVU) menor do que o custo marginal de operação (CMO) (ONS, 2021).

Entretanto, com a recente piora dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas, somadas a diminuição percentual de sua participação na matriz elétrica nacional, observamos um gradativo aumento no despacho térmico, inclusive aqueles que apresentam o CVU mais elevado daquelas usinas já despachadas ordinariamente, o que consequentemente reflete nos custos de geração elétrica (ONS, 2021).

2.3 Leilões de Energia

Os leilões são a forma de contratação de energia no Brasil. Por meio desse mecanismo, concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). O critério de menor tarifa é utilizado para definir os vencedores do certame, visando a eficiência na contratação de energia (CCEE, 2021).

Podemos encontrar lastro para o recente aumento do despacho térmico na maior contratação de energia nova dos últimos 15 anos, de fonte térmica, com garantia física nos leilões (figuras 3 e 4), totalizando 19,303 MW médios, 12,12% a mais que os 17.216 MW médios contratados em UHE. A Garantia Física uma importante métrica para a avaliação da confiabilidade do SIN. Ela está relacionada com as condições de fornecimento da usina à longo prazo, considerando o critério de não atendimento da carga. A Garantia Física de empreendimentos hidrelétricos e térmicos despachados pelo ONS é a máxima quantidade de energia que eles podem oferecer para o SIN dado um critério de proteção (EPE, 2018).

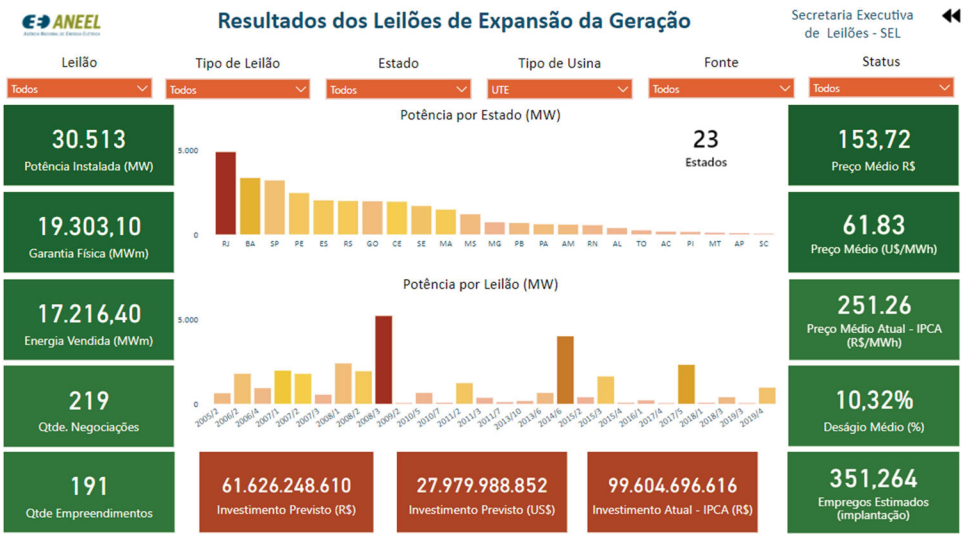

Figura 3. Resultado dos leilões de geração de UTE (ANEEL, 2021)

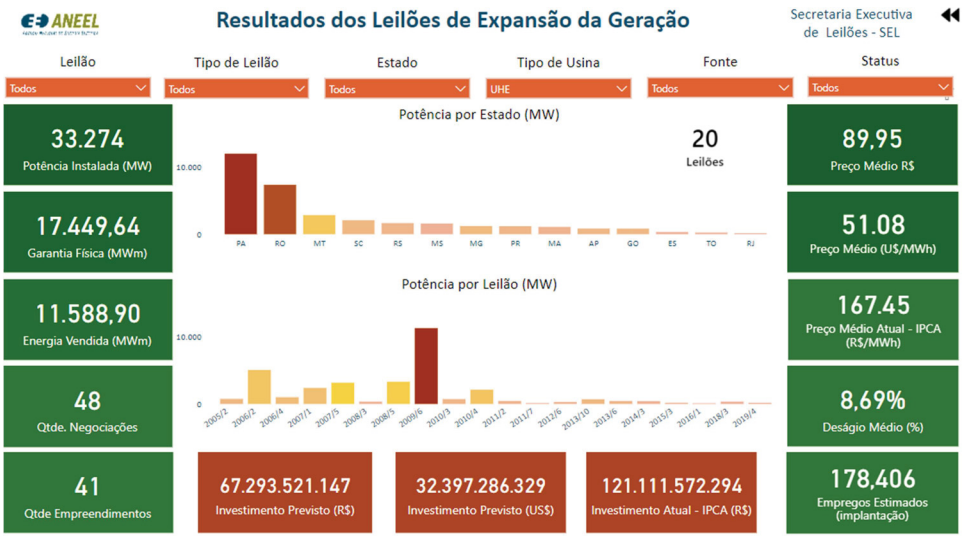

Figura 4. Resultado dos leilões de geração de UHE (ANEEL, 2021)

A partir de 2005, tivemos uma maior expansão percentual da fonte térmica, sendo contratados 30.513 MW médios oriundas de UTE, contra 33.274 MW médios de energia oriundas de UHE (figuras 3 e 4), que possui maior participação na composição da matriz de geração elétrica nacional, mas que não vem crescendo na mesma proporção que as demais fontes. Um dos efeitos dessas novas contratações foi a elevação a participação da fonte térmica de 13,13% para 21,33% da matriz (ONS, 2021). O incremento na contratação de UTE ganhou maior notoriedade nos últimos cinco anos, sobretudo em 2017 (Figura 5).

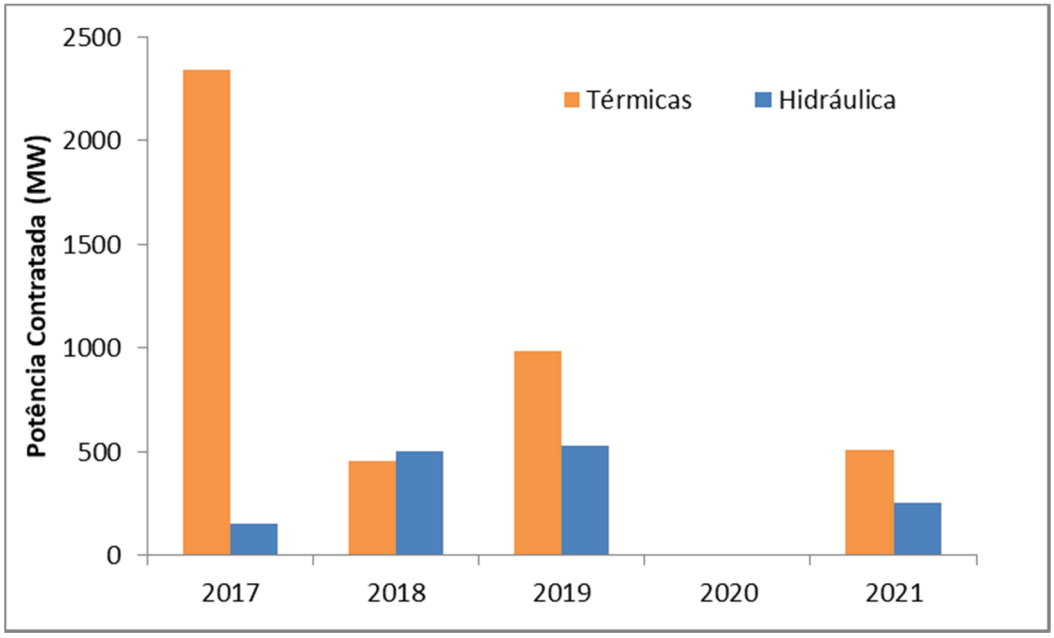

Figura 5. Resultado dos leilões de geração de UTE e UHE dos últimos cinco anos (ANEEL, 2021)

2.4 Custos de geração e Energia Armazenada

Outro efeito observado no período é o preço médio atual da energia contratada. No caso das UHE, temos um preço atual corrigido de R$ 167,45 por MWh enquanto que no caso das UTE esse valor é de R$ 251,26, uma considerável diferença de 50,05%. Consequentemente, o aumento do despacho térmico tem repercussões altistas nos custos globais de geração, sobretudo nos momentos de diminuição da energia acumulada dos reservatórios, resultado da sazonalidade do ciclo hidrológico das principais bacias. Essa repercussão é, sobretudo, mais sentida no Custo Marginal de Operação (CMO), que é o custo por unidade de energia produzida para atender a um acréscimo de carga no sistema (ANEEL, 2021). Para termos uma noção, no ano de 2021 Os valores médios semanais do Custo Marginal de Operação atingiram a marca de R$ 1.030,55 na segunda semana de julho, maior valor desde 2015, devido ao incremento significativo de despacho térmico. Também é notória a tendência de aumento no CMO desde 2005 (figura 6).

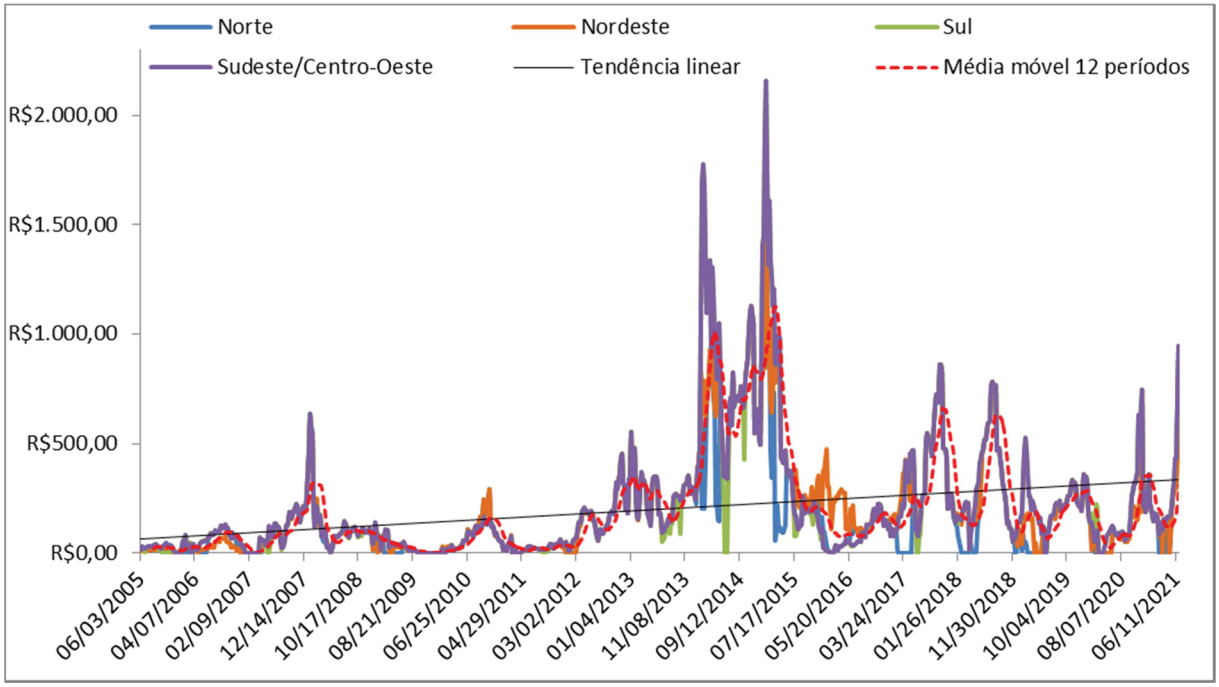

Figura 6. Custo Marginal de Operação de 2005 a 2021 (ONS, 2021)

Outra questão importante, também relaciona ao aumento dos custos marginais e a segurança energética do sistema, é contínua redução da energia armazenada no período, sobretudo a observada no subsistema Sudeste/Centro-Oeste (figura 7). Essa redução é resultado de alguns fatores, sendo dois os principais. O primeiro é um tímido aumento da

capacidade de armazenamento, efeito das restrições ambientais, técnicas, sociais e econômicas, que têm tornado cada vez mais difícil a construção de reservatórios com grande capacidade de regularização. A maioria das usinas recentes e previstas na expansão é a fio d'água. Isso resulta numa capacidade relativa de regularização cada vez menor, o que gera aumento tanto da incerteza como da sazonalidade hidrológica na produção de energia (figura 8), exigindo maior capacidade instalada do sistema complementar térmico (ZAMBON et al, 2015). O segundo está relaciono com o comportamento não estacionário das vazões afluentes das bacias de acumulação, resultado de fenômenos de ordem climática, como mudanças na precipitação ou evapotranspiração, ou não climática, como mudanças na cobertura da terra ou regulação direta do ciclo hidrológico (KUNDZEWICZ et al, 2015).

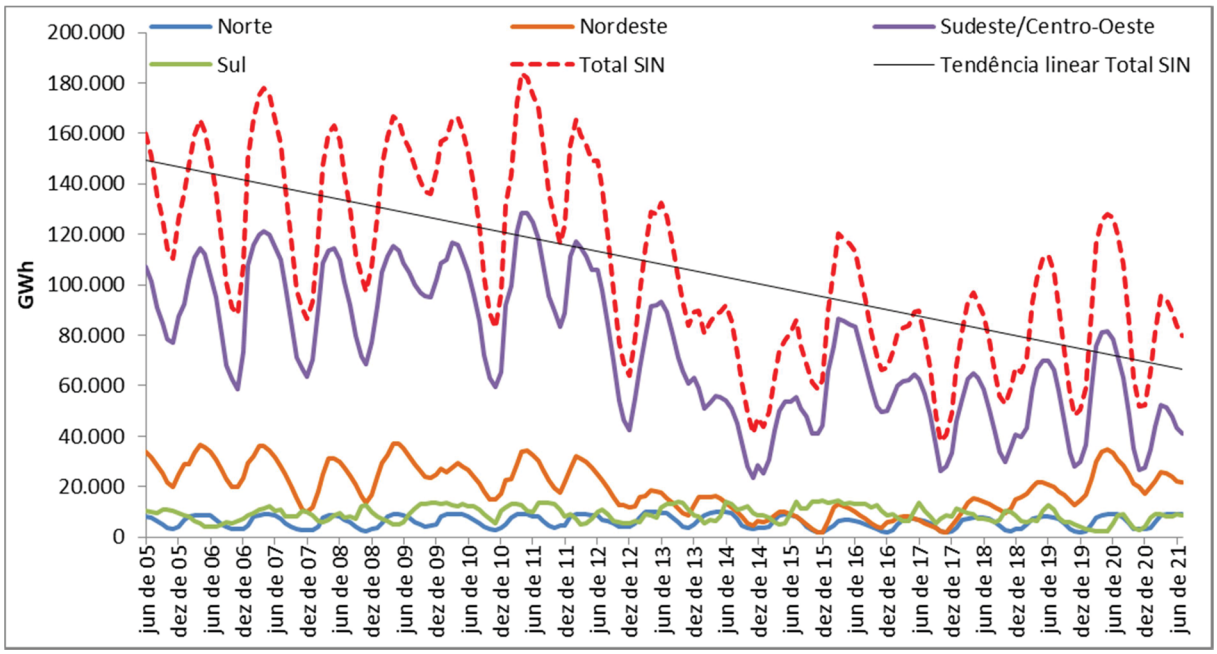

Figura 7. Energia Hidráulica Armazenada de 2005 a 2021 (ONS, 2021)

A figura 8 também mostra mais claramente o aumento da participação da geração térmica no cenário nacional nos últimos 15 anos. Segundo o ONS, nesse período a carga cresceu 53%, enquanto que a geração por fonte hidráulica se manteve praticamente estável e a geração térmica superou impressionantes 800% de crescimento. Esse fato coincide e contribui fortemente com o crescimento observado nos custos marginais de energia (figura 6).

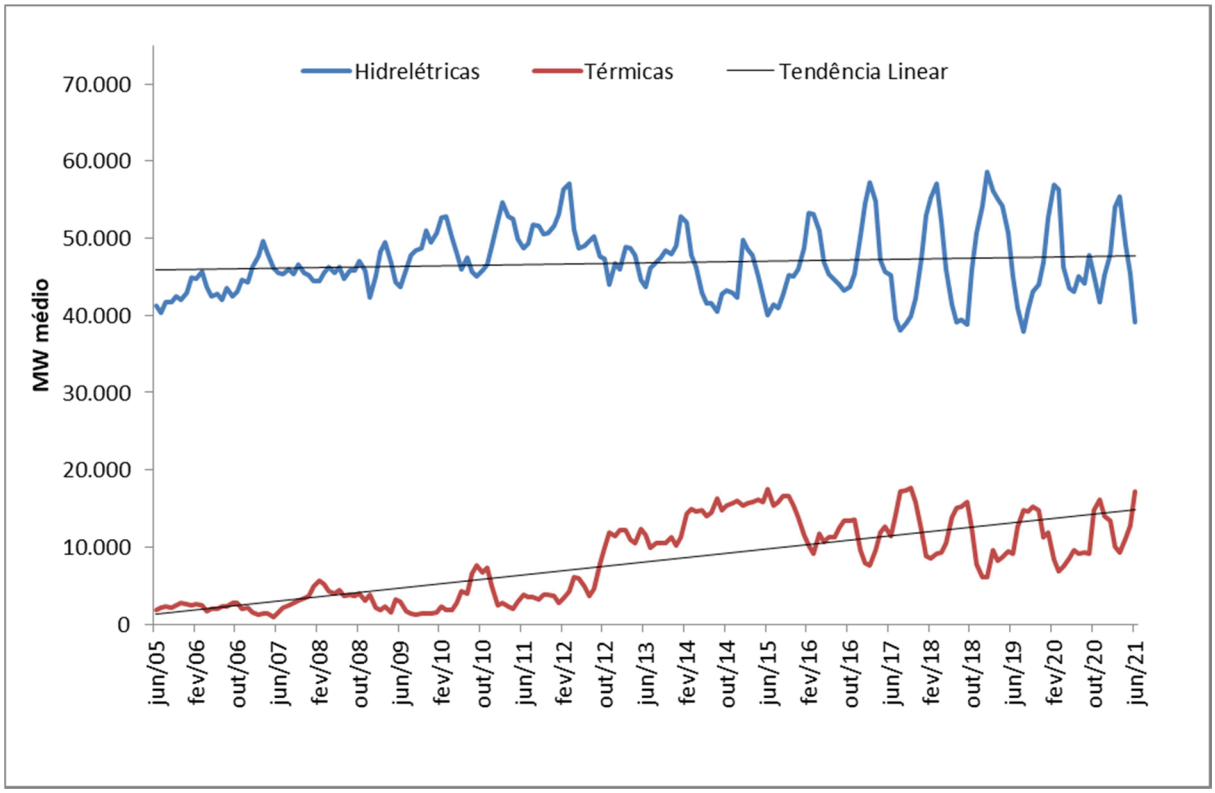

Figura 8. Comparativo de geração entre usinas hidrelétricas e térmicas 2005 a 2021 (ONS, 2021)

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta tem como função proporcionar uma maior compreensão do atual modelo de despacho energético, que cada vez mais tem dado espaço ao do tipo térmico. Os pontos preponderantes que norteiam a análise são os relacionados à energia armazenada, segurança energética, custo de geração e implicações ao meio ambiente. Serão confrontados os dados atuais de oferta e demanda de energia elétrica, bem como suas projeções futuras, associadas aos valores de custos envolvidos.

Para essa análise, visando uma noção mais ampla dessas repercussões, será utilizada a facilidade de visualização da análise SWOT, que busca elencar as características preponderantes do cenário a partir dos pontos estratégicos de análise escolhidos como foco. A simplicidade dessa matriz nos ajuda a observar, com maior facilidade, os pontos positivos e negativos do foco de estudos e, desse modo, construirmos uma visão mais clara a respeito da sua dinâmica e como ela repercute nos demais agentes constituintes.

3.1 Matriz SWOT

Análise ou Matriz SWOT é uma técnica de planejamento estratégico utilizada para auxiliar pessoas ou organizações a identificar forças, fraquezas, oportunidades, e ameaças relacionadas à competição em negócios ou planejamento de projeto. É uma ferramenta utilizada para realizar análise de cenários ou ambientes, como base para gestão e planejamento estratégico de uma corporação ou empresa. É um sistema simples para posicionar ou verificar a posição estratégica da empresa no ambiente em questão. O objetivo da matriz é cruzar oportunidades e ameaças dentro do ambiente externo das organizações e ter uma analise de pontos fortes e fracos. É utilizada como um indicador para demostrar a situação organizacional é assim desenvolver ações de melhorias (CHIAVENATO, 2003).

A partir do atual cenário de atendimento das demandas, no período 2021-2025, prevê-se um crescimento médio anual da carga de energia do SIN de 3,5% ao ano, significando uma expansão média anual nos cinco anos de 2.474 MW médios atingindo em 2025 uma carga de 79.204 MW médios no SIN (EPE, 2021). Esse crescimento, que deve ser equalizado principalmente com o aumento da participação de térmicas na matriz (EPE, 2021), em detrimento da fonte hidráulica, associadas à sazonalidade do ciclo hidrológico e à contínua depleção dos níveis de energia armazenada (figura 5). Essa característica de atendimento das cargas trás consigo características positivas e negativas, que geram efeitos para os agentes e consumidores em vários aspectos.

Através da montagem da matriz SWOT, podemos identificar os aspectos preponderantes do atual modelo de despacho de energia elétrica pelo ONS, no qual o despacho térmico cada vez mais tem ganhado participação e relevância (Tabela 1):

Strengths (forças)	• Possibilidade de fortalecimento da segurança energética, devido a geração térmica não ser vulnerável à sazonalidades, esta pode ser amplamente usada para economizar água nos reservatórios e, logo, diminuir o risco de escassez de energia, principalmente em baixas afluência futuras (PEGORETTI, 2019). • A economia de água nos reservatórios, através do despacho térmico, também auxilia na manutenção de níveis mais elevados destes, permitindo que as usinas hidrelétricas operem em maiores níveis de eficiência (ZAMBON et al, 2014)

Weaknesses (fraquezas)	• Elevado custo financeiro. A fonte térmica apresenta maior custo quando comparada a fonte hidráulica, provocando aumento de custos de geração quando despachada, sobretudo para as usinas que são contratadas de forma emergencial (ONS, 2021). • Elevado custo ambiental, sobretudo para as térmicas à combustíveis fósseis, relativos à emissão de CO, CO2, NOx e material particulado, uma vez que a emissão desses gases são proporcionais à quantidade de energia gerada (LOURENÇO, 2016).
Opportunities (oportunidades)	• Com o crescimento da participação das fontes eólica e solar na matriz elétrica, cresce também a necessidade de contratação de fontes despacháveis, para fins de balanceamento do sistema e garantia da segurança e confiabilidade energética (ZAMBON et al, 2014). • Nas últimas duas décadas, a baixa expansão da fonte hidráulica, associada à piora nas condições de energia acumulada nos reservatórios das hidrelétricas, que também tem cenário baixista para o curto e médio prazo, tende a aumentar a demanda pelo despacho térmico (ZAMBON et al, 2014).
Threats (ameaças)	• Para a situação de despachar as térmicas e manter os reservatórios cheios, haverá vertimento em algumas hidrelétricas, sobretudo aquelas existentes na região norte, quando somadas as condições de período chuvoso e limitações de transmissão de energia daquele submercado para os demais que, portanto, gera desperdício de potencial energético (PEGORETTI, 2019). • O aumento das exigências para mitigação das repercussões ambientais e a adoção de metas de emissões mais rígidas pode limitar ainda mais o uso de térmicas, principalmente aquelas movidas a combustíveis fósseis (LOURENÇO, 2016).

Tabela 1 – Matriz SWOT.

4 RESULTADOS

Uma das primeiras repercussões que podemos notar com o aumento da participação do despacho térmico, como visto nas fraquezas da matriz SWOT, é que, em proporção semelhante também cresceram os custos de geração, sobretudo o custos marginais, mesmo com a rápida expansão das fontes eólica e solar, que hoje apresentam os mais baixos custos de geração a partir dos dados de leilões de geração e por também contarem com incentivos fiscais. Outro custo importante que tem crescido juntamente com a expansão térmica é o custo ambiental, uma vez que o quantitativo de emissões de gases de efeito estufa e material particulado são diretamente proporcionais aos valores de geração térmica, principalmente nas usinas que utilizam combustíveis fósseis.

Outro efeito notório do rápido aumento da participação das fontes eólica e solar, associadas à contínua piora dos níveis de energia armazenada é o de estimular fortemente a contração de mais energia despachável, para fins de balanceamento do sistema, considerada uma oportunidade para o crescimento da fonte térmica, pela matriz SWOT. Inevitavelmente, a maior parte dessa energia contratada será de fonte térmica, que possui maior flexibilidade no quesito tempo, tanto para instalação quanto para inicio de operação. Desse modo, a inserção exponencial das fontes eólica e solar acaba reforçando um viés altista na contratação de mais energia térmica. Essa associação e crescimento das fontes eólica, solar e térmica, sobretudo nos momentos de bandeira tarifária vermelha e amarela, tem provocado aumento do vertimento em usinas hidrelétricas, sobretudo nas de fio d'água associadas a sistemas deficitários de transmissão de energia, gerando desperdício energético (ZAMBON et al, 2015), que corresponde a uma ameaça pela matriz SWOT.

Apesar do atual modelo de despacho elétrico atender as demandas existentes, os efeitos do predomínio de usinas a fio d'água na tímida expansão de hidrelétricas nas últimas duas décadas, sobretudo efeito do aumento da rigidez com as repercussões ambientais de projetos hidrelétricos, somadas a incerteza e sazonalidade hidrológica, que contribuíram para depleção significativa dos principais reservatórios de acumulação mostram a vulnerabilidade atual do sistema, tanto com a manutenção de custos extremamente elevados de despacho da geração térmica adicional como no risco de déficit para cenários hidrológicos mais secos, uma vez que o viés continua sendo de baixa para os níveis de energia armazenada, como visto na figura 5.

5 CONCLUSÃO

Nas últimas duas décadas, especialmente de 2005 em diante, os dados históricos do ONS mostram uma considerável tendência de substituição da fonte hidráulica para o despacho de energia elétrica, associado ao rápido crescimento da capacidade instalada das fontes eólica e solar. Essa lacuna de despacho energético foi quase que na mesma medida preenchida por usinas térmicas que, além de seu aumento de representatividade na matriz, tem contribuído fortemente na tendência de aumento dos custos de geração, principalmente dos custos marginais para geração adicional. A redução de participação de hidrelétricas na matriz associada a recente piora nos níveis de energia acumulada tem pressionado ainda mais o sistema, colocando em cheque a segurança energética e provocando aumentos tarifários para os consumidores. A tendência futura é tanto de continuidade de aumento do despacho térmico, uma vez que não são observados aumentos importantes de novas contratações de projetos hidrelétricos de grande porte, que contam com grandes reservatórios, quanto para os custos de operação, sobretudo os custos marginais, resultado da contínua piora dos níveis de energia armazenada, do aumento progressivo da carga e do aumento da participação de fontes não despacháveis na matriz e em detrimento da fonte hidráulica.

6 TRABALHOS FUTUROS

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, sugerimos:

- Análise de tendências de custos de geração para o despacho energético a partir de cenários baseados nas projeções de crescimento econômico;

- Análise das repercussões no despacho energético com a chegada de novas tecnologias como usinas hidrelétricas reversíveis e sistemas de armazenamento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) 2021. Disponível em: http://www.aneel.gov.br.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE) 2021. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afrLoop=94457978593852&_adf.ctrl-state=jo7goh0cn_2#!%40%40%3F_afrLoop%3D94457978593852%26_adf.ctrl-state%3Djo7goh0cn_6

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-305/topico-561/Boletim%20T%C3%A9cnico%201RQ25_VF.pdf

EMMERIK, E. L.; STEINBERGER, J. M.; AREDES, M. **Um Estudo Para Resolver A Variabilidade Da Geração Eólica Através Da Integração Em Larga Escala Com Gerção Hidráulica**. Revista Brasileira de Energia, v. 17, n. 1, p. 83-99. 1º sem. 2011.

LOURENÇO**,** T. M. F. **Emissão De Gases De Efeito Estufa Na Produção De Energia Elétrica Gerada Por Usinas Hidroelétricas, Eólicas E Termoelétricas No Brasil**. CEFET-MG, Belo Horizonte, 2016.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). **Sobre o ONS: Histórico da Operação: Capacidade Instalada de Geração.** Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx>. http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210722-ons-atualiza-cenario-das-condicoes-de-atendimento.aspx

PEGORETI, T. C. **Análise Do Suprimento Cooperativo De Energia Elétrica Da Região Nordeste Brasileira Com Base No Planejamento Decenal De Expansão Via Modelo De Otimização Do Planejamento Da Operação.** UNICAMP, Campinas, 2003.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) - **Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook** 2021. Disponível em: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf

ZAMBON, R. C. et al. **Flood Control and Energy Production on the Brazilian Hydrothermal System.** REGA – Revista de Gestão de Águas da América Latina, 11(1), 2014, pp. 89-96.

ZAMBON, R. C. et al. **Optimization of Large-Scale Hydrothermal System Operation**.

Journal of Water Resources Planning and Management, 138(2), 2012, pp. 135-43.