



Rio de Janeiro, 10 de dezembro de 2024

Ao

**Ministério de Minas e Energia**

**Assunto:** Consulta Pública MME Nº 179/2024: contribuições ao PDE 2034.

A Wärtsilä do Brasil LTDA, inscrita no CNPJ sob o número 36.176.600/0001-52, com sede na Rua São Bento, 18, 17º andar, município do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, apresenta a esse Ministério de Minas e Energia (MME) sua contribuição à Consulta Pública MME Nº 179/2024, nos termos da Portaria GM/MME Nº822, de 8 de novembro de 2024, cujo objeto é o Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 – PDE 2034.

Com sede na Finlândia e 190 anos de história, a Wärtsilä é uma empresa líder global em tecnologias inovadoras e soluções de ciclo de vida para os mercados de transporte marítimo e de energia. A Wärtsilä Energy ajuda clientes na descarbonização, desenvolvendo tecnologias líderes de mercado, abrangendo usinas termelétricas balanceadoras (que provêm confiabilidade por meio de atributos de capacidade e flexibilidade) habilitadas a uso de combustíveis do futuro; soluções híbridas; armazenamento de energia e tecnologia de otimização, incluindo a plataforma de gestão de energia GEMS. No mundo, a Wärtsilä Energy conta com 79 GW de capacidade instalada de motogeradores, e com cerca de 3,5 GW/7 GWh de baterias instaladas ou em fase de instalação. Está presente no Brasil desde 1990 e tem 2,7 GW de potência instalada em 31 usinas termelétricas.

A Wärtsilä reconhece os aprimoramentos apresentados no estudo de expansão da geração de energia elétrica no PDE 2034, especialmente, a análise da flexibilidade operativa no horizonte decenal e a inclusão do cenário de sensibilidade, alternativo à política energética de expansão das termelétricas inflexíveis a gás natural oriundas da Lei de desestatização da Eletrobras (Lei Nº14.182/2021). Estes assuntos apresentam importância central no planejamento eletroenergético, com alto impacto financeiro aos consumidores, além de impacto em emissões de gases de efeito estufa e na confiabilidade da operação do sistema elétrico no futuro.

Nos tópicos a seguir, são apresentados comentários em relação à sensibilidade sobre a contratação compulsória de UTE inflexível e contribuições à análise de flexibilidade operativa no horizonte decenal. Reconhecemos o importante alerta apresentado no Plano Decenal quanto aos custos impostos aos consumidores de eletricidade e os custos ambientais em termos de emissões de gases de efeito estufa, caso as termelétricas inflexíveis previstas na Lei Nº14.182/2021 venham a ser contratadas. Em benefício dos consumidores e do meio ambiente, apoiamos a revogação desta política energética.

No que diz respeito às análises de flexibilidade, realizamos estudos complementares aos apresentados no PDE 2034 e identificamos probabilidades de déficits de flexibilidade em escala mensal de até 5% para rampas de uma hora, com profundidade de déficit de até 26 GW em 2034. Tais resultados apontam para a necessidade de avaliações mais aprofundadas e detalhadas sobre as necessidades de flexibilidade da matriz elétrica no horizonte decenal, incluindo o uso de ferramentas computacionais de simulação da operação do sistema.

Com relação aos recursos de flexibilidade, consideramos ser necessária a quantificação das rampas hidrelétricas diárias considerando as restrições socioambientais, incluindo os múltiplos usos da água. Quanto às termelétricas, entendemos que as rampas horárias das usinas flexíveis estão subestimadas no Plano Decenal, tendo em vista as capacidades de rampa de termelétricas de ciclo simples sob o ponto de vista tecnológico. Contudo, esta flexibilidade somente estará disponível ao sistema caso haja sinais econômicos aos agentes geradores.

Não podemos deixar de agradecer ao MME e, especialmente, à EPE pela abertura ao diálogo técnico e pela transparência na apresentação dos trabalhos.

## 1. Sensibilidade sobre a contratação compulsória de UTE inflexível

No tópico 3.12, “Sensibilidade sobre a contratação compulsória de UTE inflexível” no Capítulo 3 do PDE 2034, é apresentado o resultado da otimização da expansão da geração sem a política energética da contratação das termelétricas inflexíveis, estabelecida na Lei de desestatização da Eletrobras (Lei Nº14.182/2021). Os resultados comparativos entre o cenário de Referência e de Sensibilidade mostram que a implementação desta política poderá incorrer em custos adicionais de R\$15 bilhões de reais aos consumidores de eletricidade ao longo do horizonte decenal e 67% mais emissões de gases de efeito estufa de todo o setor elétrico, em relação à expansão ótima no cenário de Sensibilidade.

Além dos aspectos levantados no Plano, é importante acrescentar o potencial risco de exposição dos consumidores de eletricidade à volatilidade dos preços internacionais de combustíveis, caso os custos associados ao gás inflexível sejam indexados a preços internacionais, conforme estabelecido na Portaria MME Nº42/2007. Dado que a geração inflexível não é sujeita ao despacho por ordem de mérito, o risco dos custos dos combustíveis é alocado ao consumidor, que tem obrigatoriedade de pagamento pela geração, que por sua vez deverá ser compulsória.

Calcula-se que o montante de energia associado à geração inflexível das termelétricas da Lei de desestatização da Eletrobras poderá ser de cerca de 5 GW médio no total. Caso os custos dos combustíveis sejam indexados a preços internacionais, como o Brent, o Henry Hub ou o JKM, eventuais choques de preços internacionais, a exemplo do ocorrido no período 2021-2022 em função da guerra entre Rússia e Ucrânia, aumentarão ainda mais o custo final ao consumidor.

Quanto a este assunto, a Wäertsilä reconhece o importante alerta apresentado no Plano Decenal e é a favor da revogação desta política energética, materializada no Art. 1º, §1º, da Lei Nº 14.182/2021, em benefício dos consumidores de eletricidade e do meio ambiente.

## 2. Análise da Flexibilidade Operativa no Horizonte Decenal

O PDE 2034, apresenta no capítulo 3, “Geração Centralizada de Energia Elétrica”, o tópico de “Análise da Flexibilidade Operativa no Horizonte Decenal”. Resumidamente, são apresentadas as rampas de quatro horas consecutivas de carga líquida, bem como os recursos flexíveis com rampas de uma e de quatro horas consecutivas para hidrelétrica e termelétrica despacháveis, até o ano de 2034. Estas informações permitem uma análise de balanço de oferta e demanda de flexibilidade para as rampas de 4 horas. O documento apresenta duas métricas de avaliação de flexibilidade, denominadas “Expectativa de Insuficiência de Recursos de Rampa” (EIRR) e “Expectativa de Déficit de Flexibilidade” (EDF). Tais métricas quantificam a probabilidade de ocorrência de déficit de flexibilidade e a profundidade do déficit, caso ocorra. Estima-se no estudo que os riscos associados à insuficiência de recursos de flexibilidade para atendimento ao sistema elétrico terão probabilidades negligenciáveis, inferiores a 1% ao longo do horizonte, com profundidade de déficit inferior a 2% da demanda total nas rampas horárias.

Com base nos dados disponibilizados na Consulta Pública Nº179/2024 e com resultados históricos da carga, disponibilizados pelo ONS, a Wäertsilä realizou análises complementares às apresentadas no PDE 2034 com o objetivo de verificar balanços de oferta e demanda por flexibilidade em rampas horárias e em rampas diárias. A seguir são apresentadas as premissas e

resultados do estudo. Por fim, são apresentadas sugestões de aprimoramentos ao planejamento energético, no que diz respeito às análises de flexibilidade operativa no horizonte decenal.

## Premissas

Neste exercício, é avaliada a demanda e a oferta de flexibilidade para o ano de 2034, com dois cenários alternativos para a matriz elétrica, os cenários de Referência e de Sensibilidade, apresentados no PDE 2034. Para a carga global considera-se a demanda anual de 2034, apresentada no PDE (Figura 3-7, Projeções de Demanda do Cenário de Referência). O perfil de carga horária é proporcional ao histórico de 2023, a partir de resultados da operação disponibilizados pelo ONS<sup>1</sup>, ajustado para a demanda anual de 2034. Desta forma, são obtidas as 8.760 horas de carga do ano. Esta abordagem foi adotada em função da ausência de informação do perfil anual completo da carga para 2034 no PDE. O que se verifica no plano é a carga horária de eletricidade apenas nos dias de ponta de cada mês, conforme Figura 1. A título de validação da premissa do perfil de carga adotado neste trabalho, é realizada uma comparação desta abordagem com o perfil de carga horária do no PDE 2034 nos dias de ponta de cada mês. O resultado da comparação é apresentado na Figura 2.

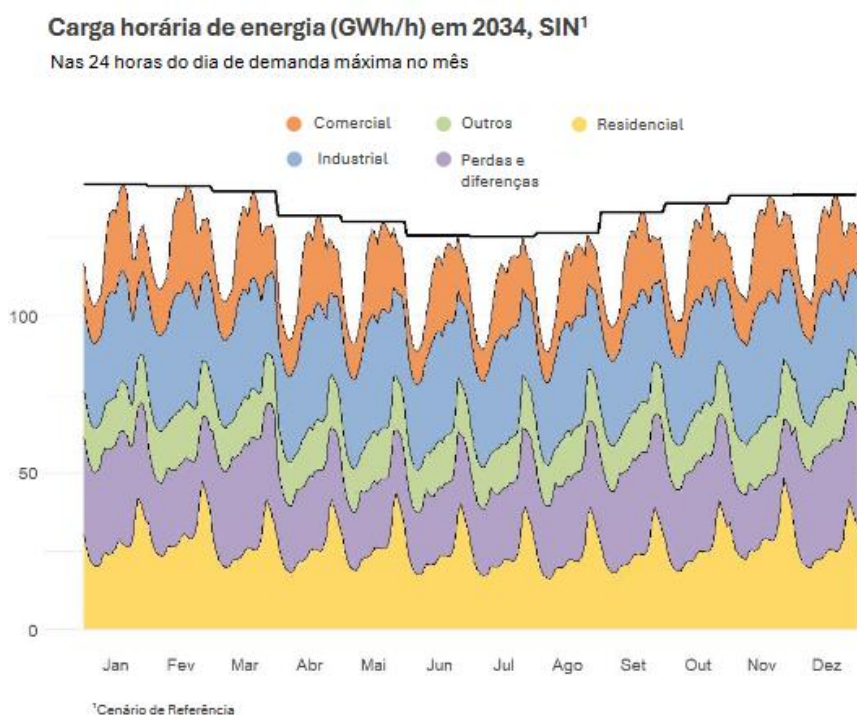


Figura 1 – Curva de carga horária nos dias de ponta por mês em 2034 adotado no PDE 2034. Fonte: PDE 2034.

<sup>1</sup> ONS, 2024. Dados Abertos. [Curva de Carga Horária](#).

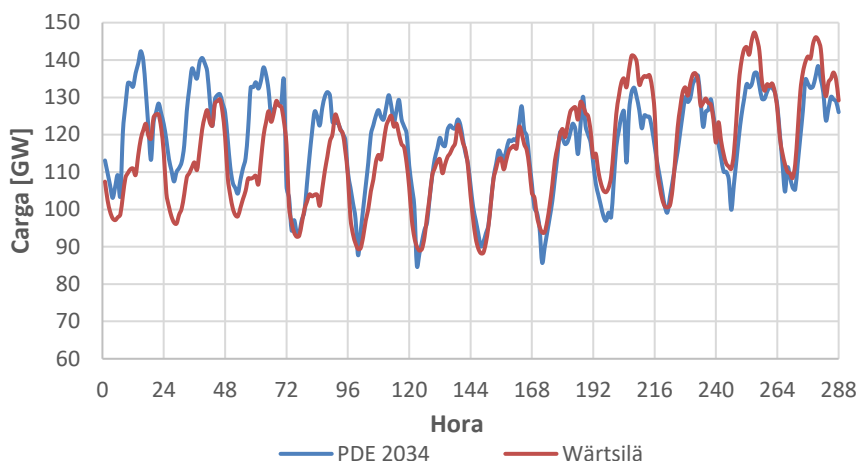


Figura 2 – Comparação entre as curvas de carga horária para os dias de ponta de cada mês de 2034 adotadas neste estudo e no PDE 2034.

Na Figura 2, apesar de os perfis adotados no PDE não estarem totalmente aderentes ao adotado neste trabalho, a diferença no somatório da carga é inferior a 2%, indicando que os perfis se equilibram entre si ao longo do ano.

Para o cálculo da carga líquida duas abordagens são possíveis. A primeira, apresentada no PDE 2034 desconta a geração renovável eólica e fotovoltaica da carga global, conforme Equação 1. A segunda, adotada no PEN 2024, elaborado pelo ONS, desconta da carga, adicionalmente, toda a geração inflexível, incluindo termelétricas e hidrelétricas, conforme Equação 2. Esta abordagem permite identificar a carga que deverá ser atendida pelos recursos despacháveis, bem como as necessidades de corte da oferta quando a geração não despachável supera a carga. Em geral, as duas abordagens de carga líquida acima mencionadas não apresentam diferenças de resultados de demanda de rampa, exceto nos casos de carga negativa.

- **Carga Líquida:**

$$Carga\ Líquida_1 = Carga\ Global - Geração\ Renovável_{EOL,UFV} \quad Equação\ 1$$

- **Carga a ser atendida por recursos despacháveis:**

$$Carga\ Líquida_2 = Carga\ Líquida_1 - Geração\ inflex_{UTE,UHE} \quad Equação\ 2$$

Conforme se pode observar na figura 3, as rampas da carga líquida 1 e 2 são, geralmente, as mesmas. Isto porque a inflexibilidade das termelétricas e hidrelétricas tende a ter perfil praticamente constante na escala intradiária. A diferença entre as rampas ocorre apenas no domingo, pois a carga líquida 2 fica negativa ao longo do dia. Logo, a rampa de carga que se observará na realidade, não será a partir de 20.000 MW negativo, mas partirá do zero. No caso da carga líquida 1, a rampa será maior do que a carga líquida 2 no domingo, pois não é computado o corte da geração inflexível. Em outras palavras, a abordagem de carga líquida 2 evita sobrestimar a demanda por flexibilidade. Por esta razão, adota-se neste estudo a análise de demanda com base na carga líquida 2, aquela a ser atendida por recursos despacháveis.

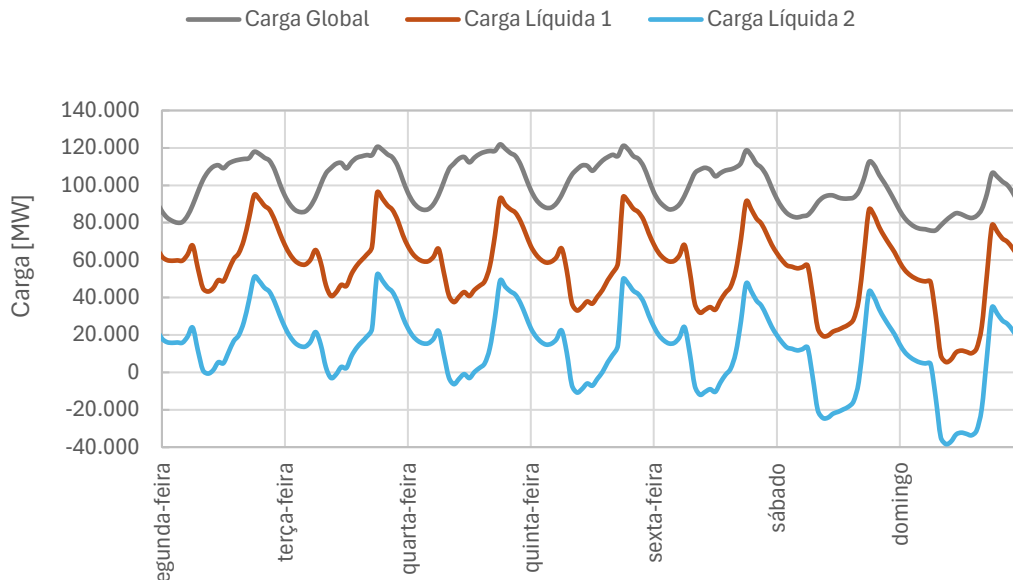


Figura 3 – Exemplo de perfil de carga global, carga líquida 1 e carga líquida 2.

No que diz respeito à geração renovável, adota-se as seguintes abordagens:

- **Eólica:** perfil de geração horária equivalente à média ponderada entre as regiões Nordeste (91%) e Sul (9%) no ano de 2017, apresentados pela EPE para o PDE 2034<sup>2</sup>. O fator de capacidade anual para a geração centralizada é considerado 43%, conforme Cenário de Referência.
- **Solar:** perfil de geração horária equivalente à média entre as regiões Nordeste e Sudeste no ano de 2017, apresentados pela EPE para o PDE 2034. O fator de capacidade anual para a geração centralizada é considerado 24% e, para a geração distribuída, 15%, conforme Cenário de Referência.

Com relação à geração inflexível, adota-se para as hidrelétricas o perfil mensal de geração hidráulica mínima apresentada pelo ONS no PEN 2024, ajustada para a expansão do PDE 2034. No caso das termelétricas, adota-se a geração inflexível das usinas a biomassa, carvão, nuclear e gás natural, além da inflexibilidade das termelétricas inflexíveis da Lei da Eletrobras na expansão indicativa do Cenário de Referência.

No caso da oferta de flexibilidade, os valores adotados para a rampa horária são equivalentes ao somatório das rampas de hidrelétricas e de termelétricas flexíveis em 2034, apresentadas no PDE 2034 (Figuras 3-46 e 3-47 do Plano). As rampas de uma hora variam entre 18 GW e 21,5 GW, a depender do mês. As rampas de quatro horas totais apresentam valores entre 56 GW e 64 GW.

Na Figura 3-47 do PDE (Evolução dos potenciais de rampas de geração termelétrica considerando a expansão indicativa), identifica-se no fim do horizonte decenal a oferta total de rampa flexível de uma hora em torno de 4.500 MW. Contudo, na expansão indicativa no cenário de Referência, há um total de 7.495 MW de termelétricas a gás flexível. Do ponto de vista tecnológico, qualquer novo empreendimento termelétrico a gás natural de ciclo simples tem condições de oferecer rampa de geração, da partida a quente até a potência máxima, em tempo inferior a uma hora. Por isso, entende-se que o potencial de rampa termelétrica flexível de uma hora apresentado no

<sup>2</sup> EPE, 2024. Nota Técnica Nº EPE/DEE/011/2021-R3. [Geração Eólica e Fotovoltaica – Dados de entrada para modelos energéticos: metodologias e premissas.](#)

PDE subestima a capacidade tecnológica das usinas. Naturalmente, esta capacidade técnica será disponibilizada ao sistema elétrico apenas se houver sinais econômicos aos agentes geradores.

## Resultados

Antes de explorar os resultados para rampas de uma hora e máximas diárias, busca-se comparar a aderência dos resultados de carga líquida (Equação 1) obtidos neste trabalho com aqueles apresentados no PDE. A Figura 4 apresenta a distribuição de rampas de carga líquida para cada hora do dia, entre 6 e 23 horas, para os dias de pico de cada mês. Na comparação entre a Figura 4 e Figura 5 verifica-se que as máximas rampas apresentam aderência entre si em termos de perfil de rampa e dos valores máximos para cada hora do dia. A diferença entre os resultados reside na abordagem distinta para a geração renovável. Neste estudo adotou-se o perfil histórico ocorrido em 2017, último ano da série de fotovoltaica centralizada disponível no PDE 2034. No plano, a geração renovável adotada no cálculo da carga líquida resulta de tratamento estatístico, conforme descrito em caderno de estudos do PDE<sup>3</sup>.

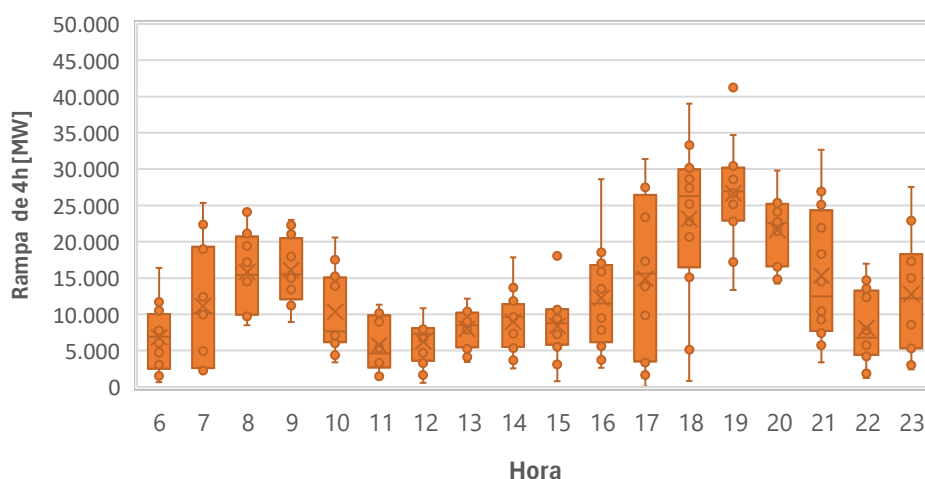


Figura 4 – Carga líquida de 4 horas, considerando o ano de 2034 no Cenário de Referência.

<sup>3</sup> MME/EPE, 2024. PDE 2034. [Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Requisitos de Geração para Atendimento aos Critérios de Suprimento.](#)

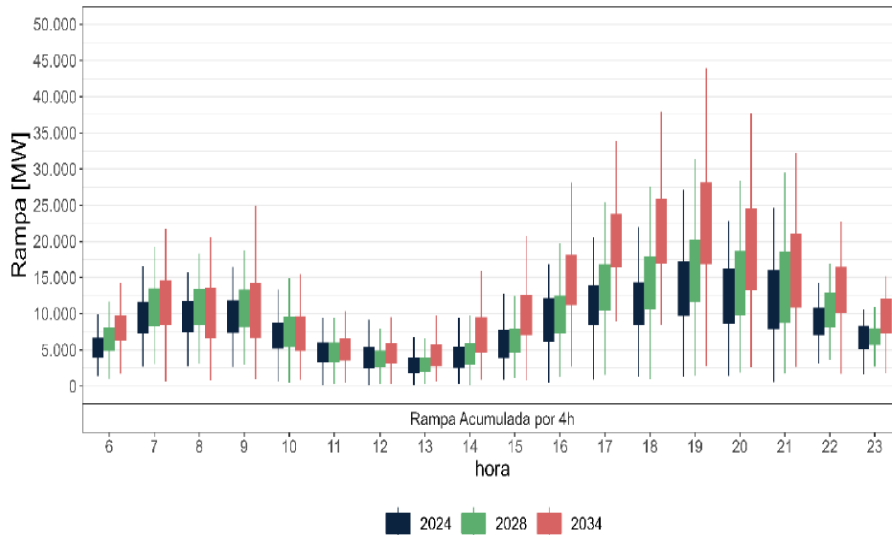


Figura 5 – Carga líquida de 4 horas do PDE 2034. Fonte: PDE 2034.

Verificada a aderência entre os resultados deste trabalho e do PDE, analisa-se a seguir as rampas de carga de uma hora, conforme Figura 6. A carga líquida considerada neste e nos casos a seguir é a da Equação 2, carga a ser atendida por recursos despacháveis. Os valores são nominais, com as rampas de redução de carga sendo representadas em valores negativos.

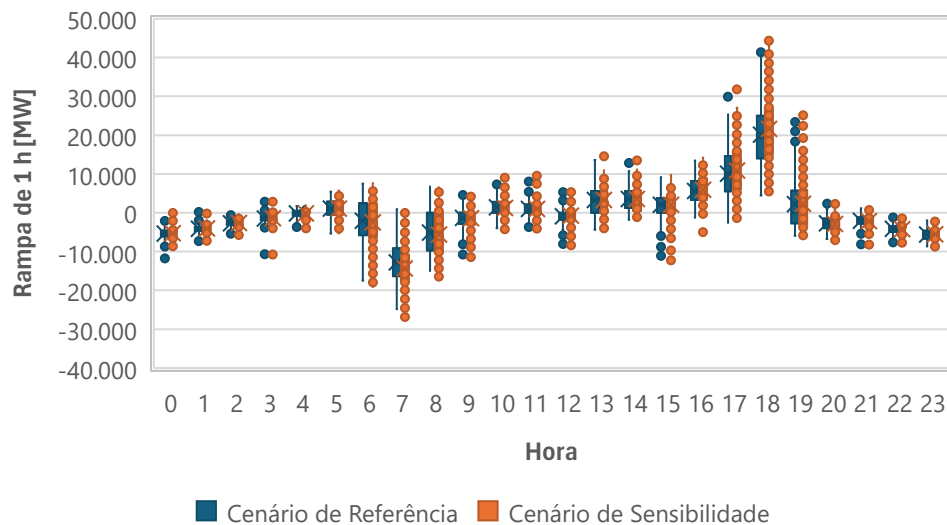


Figura 6 – Carga líquida de 1 hora para os cenários de Referência e Sensibilidade, em 2034.

Com os dados de 8.760 horas do ano de 2034 (e não apenas os dias de pico de carga de cada mês, na Figura 4), verifica-se na Figura 6 a ocorrência de rampas horárias positivas de até 44 GW, às 18 horas e rampas negativas de até 27 GW às 7 horas. Tais rampas coincidem com o fim e início da geração fotovoltaica, respectivamente, cuja capacidade instalada é acima de 87 GW em ambos os cenários, incluindo geração centralizada e distribuída.

Na Figura 7, são apresentadas as rampas positivas de carga de uma hora, mês a mês em 2034. Estas informações de demanda são comparadas com a disponibilidade total de recursos flexíveis, nos pontos em verde.



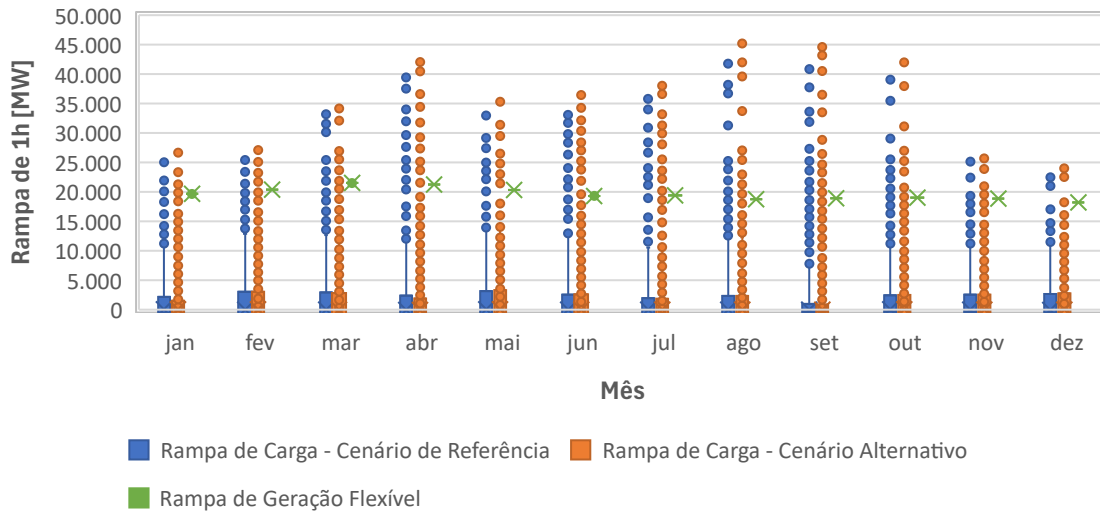


Figura 7 – Rampas de carga de uma hora para os cenários de Referência e de Sensibilidade e rampas de geração flexível hidrelétrica e termelétrica, em 2034.

Pela Figura 7 nota-se que a demanda por flexibilidade em termos de rampas horárias poderá superar a oferta em diversas horas ao longo do ano.

Na Figura 8 é quantificada a frequência de ocorrência de déficit de flexibilidade em 2034 a cada mês, bem como a profundidade máxima do déficit, no Cenário de Sensibilidade. Nas rampas de uma hora, verifica-se frequência de déficit de até 5% das horas do mês de agosto, com profundidade máxima de déficit de 26 GW. Ao longo do ano, a frequência média de déficit é em torno de 3%.

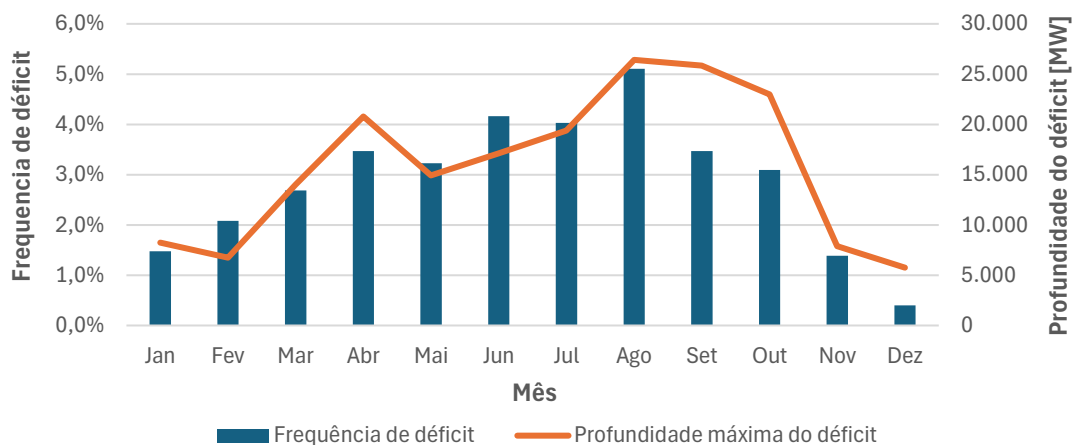


Figura 8 – Frequência de ocorrência de déficit de flexibilidade, em rampas de uma hora, e profundidade máxima do déficit em cada mês de 2034.

A Figura 9 apresenta valores de rampas diárias de tomada de carga. Esta análise permite quantificar o montante de recursos flexíveis necessários para atender à tomada de carga ao longo de cada dia. Em (a), é apresentada a estimativa do ONS no PEN 2024 para os anos de 2025 a 2028. Em (b), são os valores obtidos neste trabalho para o ano de 2034, nos cenários de Referência e de Sensibilidade. Verifica-se que a tendência de elevação do nível das rampas diárias a cada ano, observada no PEN 2024, é capturada neste estudo. Cabe destacar que no PEN 2024, a demanda líquida estimada para o futuro considera um dia típico para cada mês. Isto explica em partes a menor amplitude dos diagramas de caixa verificados no trabalho do ONS em relação

ao presente trabalho, que considera os 365 dias do ano. Estima-se que em 2034 50% das rampas diárias terão amplitude entre 50 GW e 70 GW.

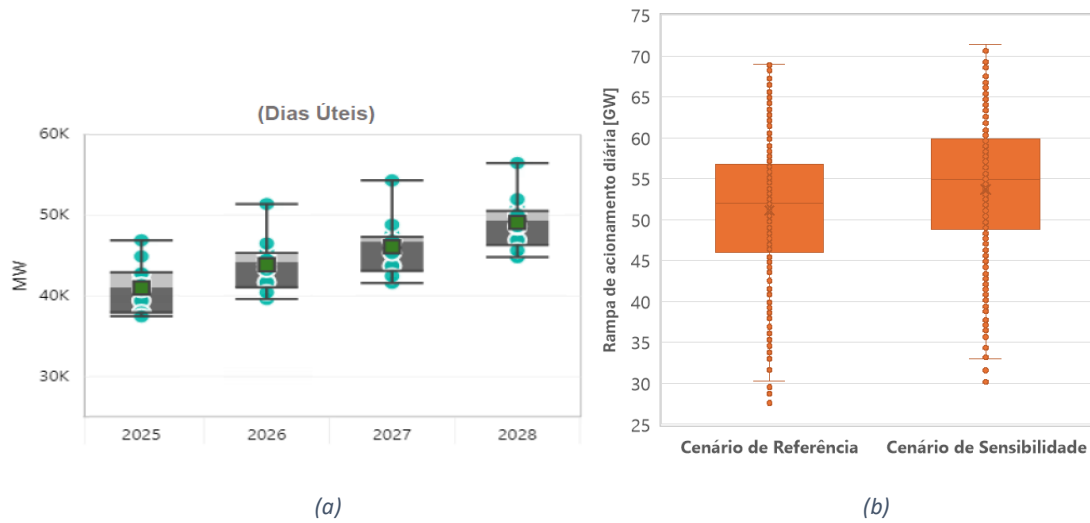


Figura 9 – Rampas diárias de tomada de carga: (a) 2024 a 2028 (PEN 2024); (b) 2034.

A Figura 10 apresenta as rampas de tomada de carga distribuídas ao longo dos meses de 2034. Adicionalmente, são apresentadas as rampas de quatro horas de geração flexível (apresentadas no PDE 2034), a máxima rampa histórica de geração (apresentada no PEN 2024) e uma estimativa de rampa de geração flexível diária. Nesta estimativa, assume-se por hipótese que a variação diária da geração hidrelétrica corresponde a um valor entre a rampa sazonal de 4 horas e a máxima rampa técnica (correspondente à diferença entre potência hidrelétrica disponível em cada mês<sup>4</sup> e a geração hidráulica mínima em 2034).

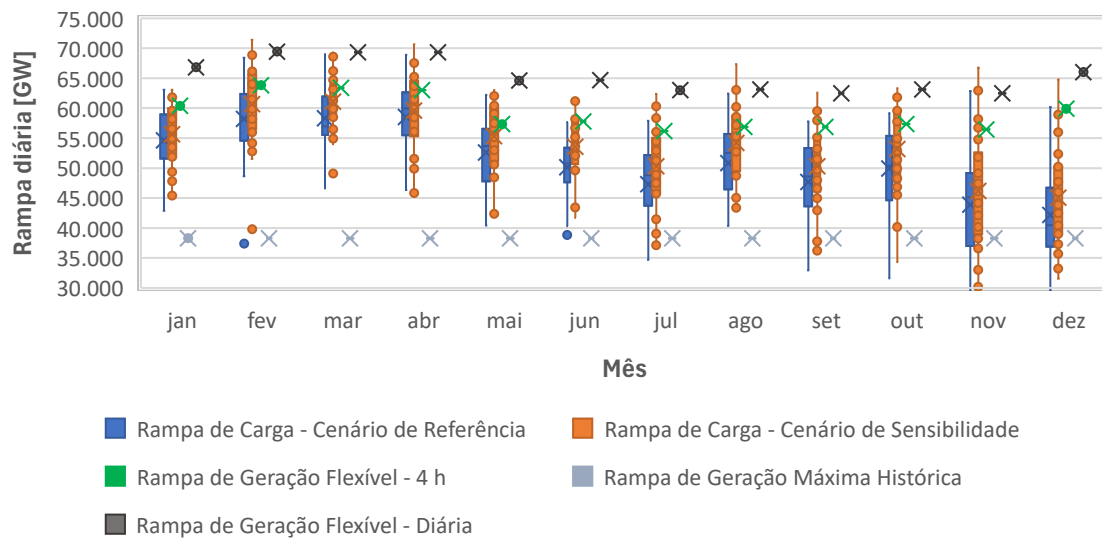


Figura 10 – Rampas diárias de carga, para os cenários de Referência e de Sensibilidade. Rampas de geração flexível de 4 horas, rampa de geração máxima histórica e rampa de geração flexível diária.

<sup>4</sup> MME/EPE, 2024. PDE 2034. [Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Requisitos de Geração para Atendimento aos Critérios de Suprimento.](#)

Apesar de as rampas de geração diária não atenderem a todos os cenários de demanda, conforme se verifica na Figura 10, seria necessário conhecer as máximas rampas diárias de geração, especialmente as hidrelétricas, para avaliação conclusiva de balanço de flexibilidade diária. Com base em informações de disponibilidade máxima de potência, apresentado no PDE 2034, e em geração hidráulica mínima, do PEN 2024, estima-se um potencial técnico de geração hidráulica flexível entre 60 GW e 70 GW. Contudo, eventuais restrições socioambientais podem resultar em faixas de valores inferiores, principalmente, se as rampas ocorrerem com regularidade.

Com base na estimativa de rampa de geração flexível diária adotada neste estudo, verifica-se frequência de déficit de rampa diária de até 6,5% em novembro de 2034 e profundidade de déficit de até 5 GW neste mesmo mês, conforme se pode verificar na Figura 11.

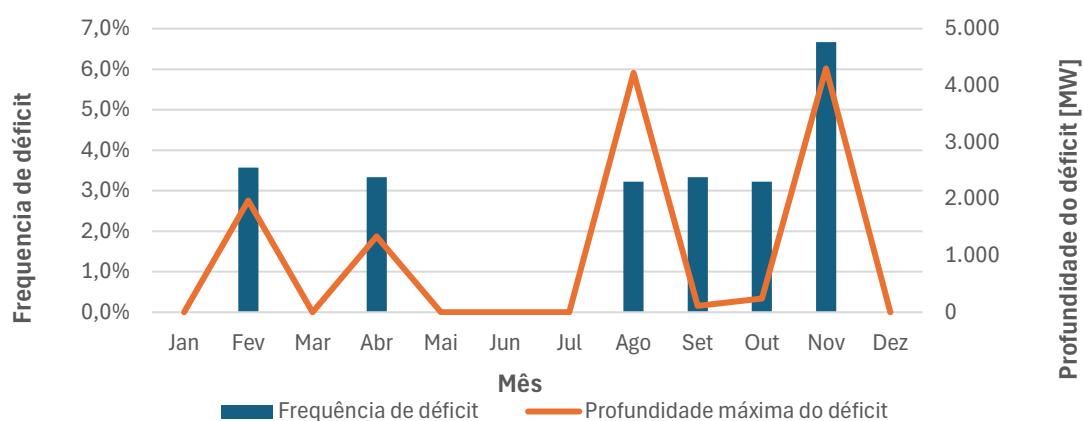


Figura 11 – Frequência de ocorrência de déficit de flexibilidade, em rampas diárias, e profundidade máxima do déficit em cada mês de 2034.

No PEN 2024, o ONS alerta que as rampas prolongadas de geração hidrelétrica devem ser programadas de forma a atender aos condicionantes de uso múltiplo da água e às exigências ambientais impostas às usinas. Apesar da relevância de tais restrições, não foram encontrados no documento limites de rampas das hidrelétricas. Mensagem a ser destacada da análise de flexibilidade diária, na Figura 10, é que a necessidade de rampas de tomada de carga para 2034 poderão ser até 85% superiores à máxima histórica, ocorrida em 2024.

Por fim, entende-se que ferramentas computacionais de otimização da operação da matriz elétrica podem contribuir com resultados detalhadas de balanço de flexibilidade, sendo recomendado seu uso nos estudos de planejamento energético.

### Sugestões de Aprimoramentos no Planejamento Energético

O estudo de flexibilidade apresentado neste trabalho visa a complementar as análises realizadas no PDE 2034, considerando balanços de flexibilidade para rampas de tomada de carga de uma hora e rampas diárias. Os resultados indicam probabilidade de até 5% de ocorrência de déficit em rampas de uma hora em 2034, a depender do mês, com profundidade de até 26 GW. No caso das rampas diárias, identifica-se rampas de carga em torno de 50 GW, com máxima de 70 GW. Para avaliações conclusivas de balanço de flexibilidade diária, é necessário conhecer a disponibilidade de recursos hidrelétricos, considerando não apenas o limite técnico, mas também as restrições impostas pelos múltiplos usos da água, bem como aspectos ambientais.

Para aprimoramentos ao planejamento energético, especificamente com relação aos estudos de flexibilidade, sugerimos:

- **A adoção de ferramentas computacionais de simulação da operação do sistema elétrico na matriz do futuro**, com o objetivo de avaliar detalhadamente os balanços de flexibilidade, bem como as necessidades no horizonte decenal;
- **Análise de rampas de carga horárias e diárias**;
- **Identificação da oferta de flexibilidade hidrelétrica para atendimento às rampas diárias**, tendo em vista os limites técnicos, bem como as restrições socioambientais, incluindo os múltiplos usos da água;
- **Aprimoramentos na oferta de rampa de uma hora de termelétricas flexíveis**, de modo a considerar a efetiva capacidade tecnológicas das soluções de ciclo simples, e não apenas aspectos contratuais (a exemplo dos requisitos mínimos de flexibilidade nos leilões de capacidade).

As questões associadas à flexibilidade intradiária de sistemas elétricos deixaram de ser problema de um futuro longínquo para o Brasil. Trata-se de um desafio atual, conforme apresentado pelo ONS no PEN 2024, e que irá se acentuar significativamente na matriz elétrica brasileira com o aumento da participação de renováveis prevista no PDE 2034.

Embora o Brasil conte com a vantagem estratégica de suas hidrelétricas com reservatório, as demandas de rampas futuras no horizonte decenal exigirão recursos adicionais de flexibilidade intradiária, especialmente diante das restrições socioambientais associadas ao despacho hidrelétrico.

A Wartsilä se compromete a colaborar ativamente com soluções tecnológicas e expertise para apoiar o Brasil na transição energética rumo a um futuro renovável, confiável e acessível aos brasileiros.

Atenciosamente,

---

**Jorge G. Bezerra Jr.**

Especialista Financeiro e de Mercado

**Wartsilä do Brasil LTDA**

[jorge.bezerra@wartsila.com](mailto:jorge.bezerra@wartsila.com)