

Perdas energéticas em GTD

Um dos grandes desafios para o setor elétrico é a redução das perdas energéticas em geração, transmissão e distribuição, pois elas impactam não somente os consumidores, como toda a cadeia responsável pelo fornecimento de energia no país. A partir desta edição, teremos como mentor deste fascículo o engenheiro eletricista e professor adjunto da Universidade Federal do ABC, Joel David Melo Trujillo, que possui mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.



Capítulo 7

Perdas técnicas e não técnicas na comercialização de energia elétrica no Brasil

* Por Gustavo Estevo Felix, Nicole Costa da Silva, Isabela Mendes de Oliveira, Marcelo Escobar de Oliveira e Lucas Teles Faria

1 - PERDAS ELÉTRICAS NA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

As perdas elétricas são inerentes ao processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Elas representam a energia que é dissipada ou perdida ao longo dessas etapas e,

consequentemente, não chegam ao consumidor final. Na rede básica ou rede de transmissão, essas perdas são classificadas como perdas técnicas (PTs) e são calculadas pela diferença entre a energia gerada (injetada) e a energia entregue à rede de distribuição, conforme ilustrado na Figura .

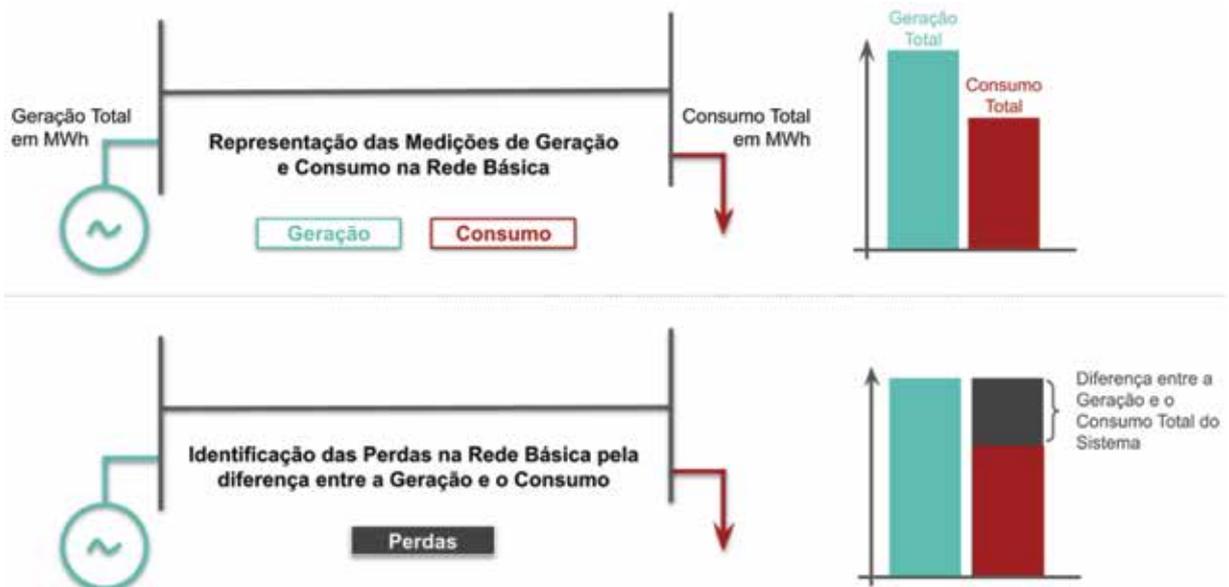


Figura 1 – Cálculo das perdas técnicas na rede de transmissão [1]

As PTs na rede de transmissão são apuradas mensalmente pela Câmara de Comercialização da Energia Elétrica (CCEE), onde seu custo anual, definido durante os processos tarifários, é rateado igualmente entre a geração e as unidades consumidoras (UCs) [2].

Por outro lado, há também as perdas na rede de distribuição, onde parte dos custos associados a elas são incorporados à fatura de energia das UCs. O custo das perdas é definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) de acordo com as características da rede elétrica e socioeconômica da área de concessão da distribuidora de energia. As perdas na rede de distribuição são classificadas em PTs e perdas não técnicas (PNTs) ou perdas comerciais.

1.1 - Perdas Técnicas

As PTs ocorrem devido às propriedades físicas dos materiais que compõem a infraestrutura elétrica. Elas são inevitáveis, mas podem ser minimizadas através de melhorias na topologia e operação da rede elétrica. Seguem alguns exemplos de PTs:

- Resistência dos Condutores: quando a corrente elétrica percorre um condutor, parte da energia elétrica é transformada em calor devido à resistência elétrica do material. Esse efeito é descrito pela Lei de Joule, onde a perda de energia é proporcional ao quadrado da corrente elétrica que percorre o condutor. Cabos de transmissão e de distribuição são exemplos onde essas perdas são significativas.
- Perdas em Transformadores: transformadores são equipamentos essenciais para a alteração dos níveis de tensão na rede elétrica, permitindo que a energia seja transmitida por longas distâncias em alta tensão e com perdas elétricas reduzidas. Eles têm perdas nos enrolamentos e perdas no núcleo, devido à histerese magnética e as correntes parasitas.
- Perdas por Efeito Corona: em linhas de transmissão de alta tensão, o efeito corona ocorre quando o campo elétrico ao redor dos condutores é suficientemente forte para ionizar o ar, criando uma descarga elétrica. Esse fenômeno resulta em perdas de energia, que se manifestam na forma de radiação eletromagnética, calor e som.

Embora inevitáveis, as PTs podem ser reduzidas por meio do uso de condutores com maior área da seção transversal, materiais de menor resistividade, transformadores mais eficientes e a implementação de técnicas de gerenciamento de carga.

1.2 - Perdas não técnicas

As PNTs, por outro lado, não decorrem de limitações físicas do sistema elétrico, mas de fatores externos e operacionais. Essas perdas incluem:

- Fraudes e Furtos de Energia: o furto de energia ocorre quando

consumidores se conectam ilegalmente à rede elétrica. A fraude ocorre quando há manipulação indevida de medidores de energia para redução do consumo mensal em kWh.

- Erros de Medição e Faturamento: a medição incorreta do consumo de energia e erros em faturas contribuem para as PNTs. Esses erros podem ser oriundos de falhas nos medidores, erros humanos ou sistemas de medição mal calibrados.
- Deficiências na Gestão da Rede: inadequações na gestão da rede elétrica, como ausência de manutenção preventiva e o atraso na implementação de upgrades tecnológicos podem resultar em perdas adicionais de natureza não técnica.

As PNTs podem ser reduzidas com a implementação de políticas adequadas e medidas de controle, tais como: investimentos em tecnologias avançadas de medição, sistemas inteligentes de monitoramento e campanhas de conscientização. Elas ocorrem principalmente por questões sociais, comportamentais, educativas e socioeconômicas. No Brasil, a complexidade regional, o tamanho do mercado e as diferenças no desenvolvimento econômico influenciam diretamente nessas perdas [3].

A Figura 2 apresenta a variação percentual das perdas elétricas na rede elétrica das distribuidoras brasileiras a partir de 2008 até 2023. Observa-se que elas se mantiveram aproximadamente constantes nesse período.

No contexto da comercialização de energia elétrica, ambas as perdas impactam na fatura das UCs tanto no ambiente regulado, quanto no ambiente livre.

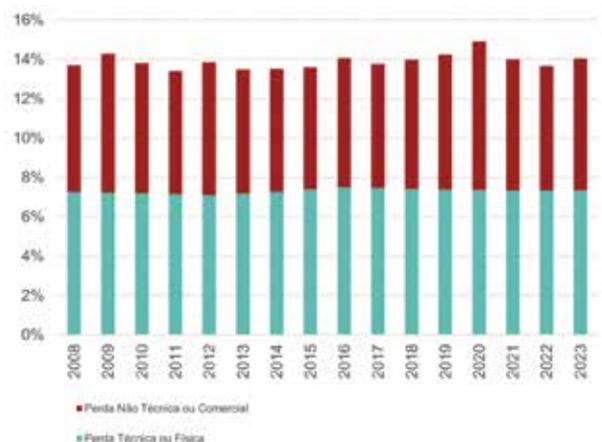


Figura 2 – Perdas totais sobre a energia injetada no sistema elétrico brasileiro [2]

1.3 - Estrutura do setor elétrico brasileiro

O conhecimento da estrutura organizacional do setor elétrico brasileiro e de seus agentes é essencial para compreensão do impacto das perdas elétricas na comercialização de energia.

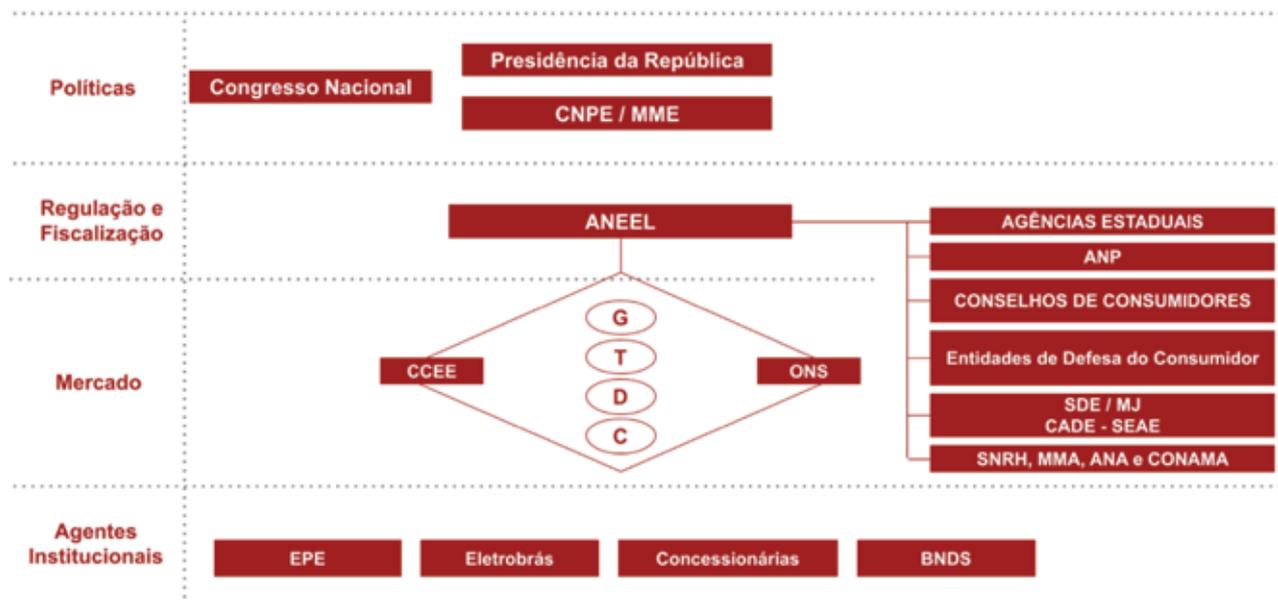


Figura 3 – Estrutura organizacional do setor elétrico brasileiro [1]

A Figura 3 apresenta os principais agentes do setor elétrico brasileiro. O Ministério de Minas e Energia (MME) é responsável pela formulação e implementação das políticas públicas do setor, definindo diretrizes para sua operação, expansão e regulação. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) atua como órgão regulador, fiscalizando e regulamentando o setor, definindo tarifas e garantindo a eficiência e a qualidade dos serviços prestados. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) coordena e controla a operação das instalações de geração e transmissão de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN), assegurando a continuidade e a segurança do fornecimento. Em último, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) viabiliza a comercialização de energia entre os mercados regulado e livre, gerenciando leilões, a liquidação financeira das operações de compra e venda e a medição de consumo e geração de energia. Ela operacionaliza as regras e procedimentos de comercialização de energia elétrica estabelecidos pela ANEEL.

1.4 - Perdas reais versus perdas regulatórias

As perdas na rede de transmissão são apuradas mensalmente pela CCEE e rateadas igualmente entre consumidores e geradores. Elas impactam nos ajustes de medição e contabilização dos contratos de compra e venda na comercialização de energia. Em média, essas perdas representam aproximadamente 3% da energia gerada [1]. Anualmente nos ciclos de revisões tarifárias das distribuidoras define-se o percentual de perdas conforme previsto nos contratos de concessão, cujo efeito é incorporado na receita requerida (RR) da componente da parcela A (VPA), conforme (1). Enquanto, na parcela B (VPB) são embutidos os custos gerenciáveis pela distribuidora, correspondentes às atividades de operação e manutenção do uso do sistema elétrico.

$$RR=VPA+VPB \quad (1)$$

As PTs e as PNTs estão regulamentadas nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) e nos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), respectivamente [4], [5]. Os valores regulatórios das perdas de energia são definidos durante os processos de revisão e reajustes tarifários e elas impactam diretamente nos custos de compra de energia elétrica.

As perdas totais de energia são apuradas pela diferença entre a energia adquirida pela distribuidora e aquela efetivamente faturada junto às UCs. As PNTs são calculadas a partir da diferença entre as perdas totais e as PTs conforme ilustrado na Figura 4.

As perdas reais e as perdas regulatórias são conceitos fundamentais na gestão do sistema elétrico e na composição tarifária. As perdas reais são aquelas que efetivamente ocorrem no sistema de transmissão e distribuição de energia. Elas incluem as PTs e as PNTs. Por outro lado, as perdas regulatórias são calculadas pelos órgãos reguladores, como a ANEEL. Essas perdas são embutidas nas tarifas de energia e repassadas às UCs.

As perdas regulatórias refletem o que o órgão regulador considera razoável e eficiente para uma distribuidora de energia. Se as perdas reais superarem as perdas regulatórias reconhecidas, a distribuidora não poderá repassar totalmente os custos adicionais aos consumidores, o que afetará sua rentabilidade. Por outro lado, se as perdas reais forem inferiores às perdas regulatórias, a distribuidora poderá auferir ganhos financeiros ao cobrar um valor superior ao necessário para cobrir as perdas reais.

Esse equilíbrio entre perdas reais e regulatórias é crucial para a sustentabilidade financeira das distribuidoras e para a formulação de tarifas justas que protejam os consumidores de custos excessivos enquanto incentivam a eficiência no sistema elétrico para redução das perdas.

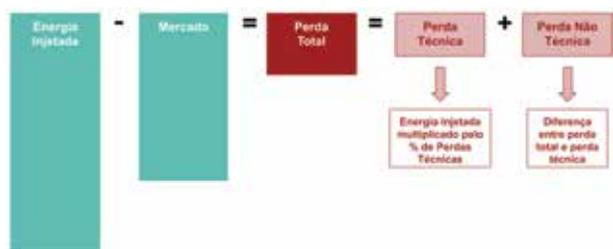


Figura 4 – Perdas técnicas e não técnicas na rede de distribuição [2]

Nesse sentido, a Figura 5 mostra as PTs e as PNTs reais e regulatórias nas regiões do Brasil. Observa-se que as PNTs regulatórias correspondem a uma parcela das PNTs reais e são aquelas que efetivamente impactam na fatura de energia das UCs.

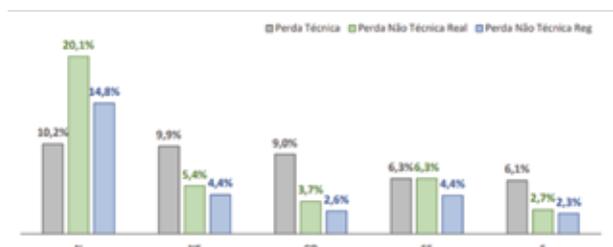


Figura 5 – Influência do regionalismo na composição das perdas no sistema elétrico [2]

1.5 - Mercado cativo versus mercado livre

No setor elétrico, alguns consumidores podem escolher entre o mercado regulado (cativo) ou o mercado livre. O mercado regulado é o modelo tradicional, onde os consumidores compram energia diretamente das distribuidoras locais e as tarifas são fixadas pelas ANEEL.

Em contraposição, o mercado livre é um ambiente de contratação em que os consumidores podem escolher diretamente seu fornecedor de energia elétrica, negociar preços, condições comerciais, resultando em contratos bilaterais. Entretanto, há um pré-requisito onde o consumidor deve estar enquadrado no Grupo A.

As perdas elétricas influenciam na formação de preços das tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD) e na tarifa de energia (TE) e refletem de maneiras distintas nesses mercados. No mercado regulado, as tarifas são calculadas com base em uma combinação de custos operacionais, investimentos em infraestrutura e perdas elétricas. Por outro lado, no mercado livre, o consumidor substitui a parcela da tarifa de energia (TE) que pagaria à distribuidora por um contrato diretamente com um fornecedor de energia, onde os preços são determinados pela dinâmica da oferta e demanda.

Desse modo, no mercado livre, os consumidores têm maior controle sobre as condições contratuais e podem negociar diretamente com os fornecedores de energia. Assim, o impacto das perdas é tratado de forma diferenciada, permitindo que grandes



Painéis Elétricos de média e baixa tensão

Os Painéis Elétricos Actemium combinam qualidade e segurança, oferecendo a solução ideal para o seu projeto.

- Capacidade produtiva de 3.500 painéis por ano
- Produto customizado para os nossos clientes
- Capacidade de até 2.000 m² de eletrocentro
- Dimensões reduzidas, fácil acesso e manutenção
- Produção verticalizada, qualidade e robustez



Gostou? Entre em contato conosco

Fale com um especialista em brasil@actemium.com

consumidores otimizem seus custos de energia ao escolherem fornecedores e estratégias que melhor se adequem ao seu perfil de consumo. Nesse mercado, as PTs são frequentemente gerenciadas por meio de contratos bilaterais onde os consumidores podem negociar condições que excluem o impacto das perdas. Esses consumidores também podem instalar sistemas de geração distribuída que reduzem a dependência da rede e, conseqüentemente, as perdas associadas ao transporte de energia.

Por outro lado, no mercado cativo, as perdas elétricas são incorporadas diretamente às tarifas reguladas pela ANEEL. As distribuidoras devem submeter seus custos, incluindo as perdas, para a revisão tarifária. Essas perdas, uma vez reconhecidas pela ANEEL, são repassadas integralmente aos consumidores através das tarifas.

Adicionalmente, as PNTs também impactam nas tarifas. Em regiões onde o furto de energia é prevalente, a distribuidora pode solicitar um reajuste tarifário para cobrir as perdas associadas a esse comportamento ilícito. Esse ajuste, embora legalmente permitido, transfere o custo das ações ilegais de alguns consumidores para todos as UCs regulares do mercado cativo.

Nesse contexto, a Figura 6 apresenta a tarifa média e o preço da energia ao longo de anos, no Brasil. Observa-se que a tarifa média para o consumidor final (R\$636,34/MWh) é 254% superior ao valor negociado nos leilões do mercado livre no ambiente de contratação regulada (ACR) – R\$250,49/MWh.

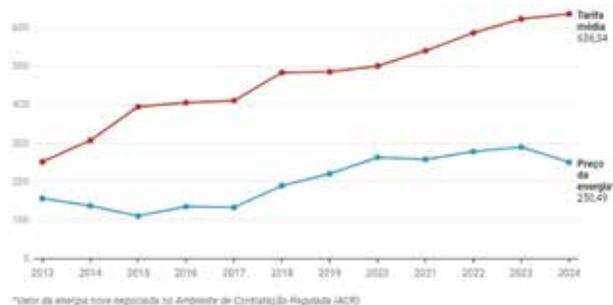


Figura 6 – Preço da energia versus tarifa média para o consumidor final [6]

2 - ANÁLISE DE VIABILIDADE ENTRE OS AMBIENTES REGULADO E LIVRE

Neste estudo realiza-se uma análise da viabilidade econômica entre os ambientes regulado e livre a partir de dados públicos de duas distribuidoras brasileiras cujas identidades são omitidas. Importante enfatizar que foram utilizadas somente informações públicas e que este estudo não visa avaliar a qualidade das empresas. Pretende-se apenas apresentar uma comparação entre duas distribuidoras de grande porte somente para fins didáticos.

A Distribuidora A abrange uma área de concessão com 62 municípios da região norte do Brasil. Por outro lado, a Distribuidora B é responsável pela distribuição de energia de 24 municípios da região sudeste. Conforme Figura 5, as regiões norte e sudeste têm perdas totais de 30,3% e 12,6%, respectivamente.

As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, a evolução nos custos das PTs e PNTs a partir de 2019 até 2024 para as distribuidoras A e B. Conforme Figura 7, a média analisada para o período foi um aumento das PTs de 35,4% e 26,6% para as distribuidoras A e B, respectivamente. A elevação das PTs pode estar associada a aquisições de novos equipamentos elétricos para a rede de distribuição. Por outro lado, a Figura 8 apresenta uma disparidade entre as distribuidoras avaliadas. Após o ano de 2021, as PNTs apresentaram um aumento médio de 11,3% e 6,9% para as distribuidoras A e B, respectivamente.



Figura 7 – Evolução no custo das perdas técnicas



Figura 8 – Evolução no custo das perdas não técnicas

A fim de avaliar a influência das perdas na comercialização da energia, realizou-se um estudo da migração do mercado regulado ou cativo para o mercado livre de energia em uma UC com o mesmo perfil de consumo, apresentado na Tabela 1. Na Tabela 2 são apresentadas as informações tarifárias das distribuidoras analisadas.

Tabela 1 – Perfil do consumidor analisado

Parâmetros	Valores
Modalidade e Tarifa Horo-Sazonal (THS)	A4 – Verde
Demanda Contratada	150 kW
Consumo Ponta (média anual)	2,18 MWh
Consumo Fora Ponta (média anual)	23,65 MWh

Tabela 2 – Informações tarifárias das distribuidoras A e B. Fonte: [7], [8]

Parâmetros	Distribuidora A	Distribuidora B
Demanda (R\$/kW)	24,15	17,05
TUSD* Ponta (R\$/MWh)	1.225,93	791,65
TUSD* Fora Ponta (R\$/MWh)	143,78	91,84
Tarifa Energia Ponta (R\$/MWh)	567,52	386,42
Tarifa Energia Fora Ponta (R\$/MWh)	369,80	250,18
Valor Mercado Cativo (R\$)	19.678,38	13.909,96

* TUSD: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TEMOS A SOLUÇÃO COMPLETA PARA A SUA INSTALAÇÃO

GRUPO
GIMI
SOLUÇÕES EM ENERGIA DESDE 1971



CUBÍCULO BLINDADO MODULAR
CLASSE 17,5kV/16kA

LINHA NEW PICCOLO®



PAINÉIS DE DISTRIBUIÇÃO DE
BAIXA TENSÃO CLASSE 750/1000V

LINHA NOTTABILE®



SOLUÇÃO PARA USINAS
FOTOVOLTAICAS

SKID ECOSOLAR GIR®



CABINES PRIMÁRIAS
PADRÃO CONCESSIONÁRIA

HOMOLOGADAS POR TODO
O BRASIL, NAS TENSÕES 15kV,
24kV E 36kV.



CUBÍCULO BLINDADO MODULAR
COM ISOLAÇÃO MISTA EM SF6
ATÉ 36kV

LINHA MICROCOMPACT®



BARRAMENTO BLINDADO
DE BAIXA E MÉDIA TENSÃO

LINHA BX-E® | BX-MT®

+55 (11) 4752-9900

vendas@gimi.com.br

grupogimi.com.br

GRUPO GIMI

PARA MAIS
INFORMAÇÕES



A distinção tarifária entre as distribuidoras A e B é oriunda da área de concessão e de questões socioeconômicas como políticas e nível de governança interna. Esses fatores impactam as perdas de energia, que, por sua vez, aumentam os custos operacionais das distribuidoras. Como resultado, os custos adicionais são refletidos nas tarifas de energia pagas pelos consumidores. Assim, a variação nas tarifas entre diferentes regiões pode ser atribuída às diferenças na eficiência e nos desafios operacionais enfrentados pelas empresas de energia em cada área.

Nesse sentido, a migração para o mercado livre de energia é uma alternativa para redução de custos relacionados à fatura de energia, resultando em preços de energia mais competitivos em comparação às distribuidoras presentes no mercado cativo. Ademais, há uma redução significativa nos custos de distribuição pelo incentivo às fontes renováveis de energia.

A Figura 9 apresenta o resultado da migração de um consumidor do mercado cativo para o mercado livre. Projeta-se a economia auferida em comparação às tarifas das distribuidoras A e B desde 2025 até 2028. O consumidor 1, localizado na área de concessão da distribuidora A, obtém maior economia em R\$/MWh em comparação ao consumidor 2, o qual está alocado na área de concessão da distribuidora B. Isso é devido parcialmente às perdas elétricas que influem na tarifa para o mercado cativo cujo valor é aproximadamente 41,5% superior para a distribuidora A em relação à distribuidora B, conforme dados da Tabela 2.

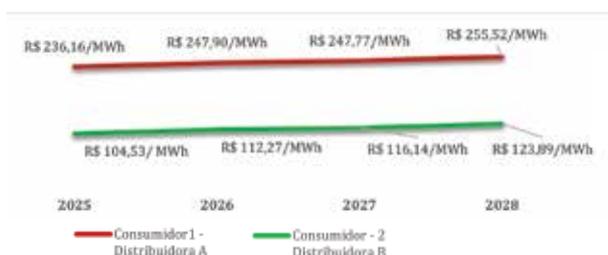


Figura 9 – Economia auferida em R\$/MWh com a migração para o mercado livre

3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foram apresentados os impactos das perdas elétricas na comercialização da energia elétrica. A maioria dos consumidores regulares pertencentes ao mercado cativo e alocados na área de concessão de distribuidoras com perdas elevadas são penalizados com faturas de energia onerosas.

De forma similar, os consumidores pertencentes ao mercado livre são igualmente penalizados. Por outro lado, esses consumidores obtêm preços mais competitivos ao adquirir energia diretamente dos geradores; desse modo, eles se beneficiam de tarifas mais baixas e de uma redução significativa nos custos de distribuição. Esse benefício é alcançado principalmente pelo incentivo ao uso de fontes renováveis.

Nesse sentido, parte dos consumidores do mercado cativo

migrarão para o mercado livre a partir de 2026, onde está prevista a abertura do mercado de energia no Brasil. A migração de mais consumidores para o mercado livre possibilitará condições mais favoráveis, especialmente em relação à mitigação das perdas. No entanto, cabe ressaltar que a eficiência das distribuidoras na prevenção e combate às perdas elétricas será crucial para manter a competitividade e atratividade do mercado livre de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- [1] Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), "Regras de Comercialização," 2022. [Online]. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br>>.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), "Relatório Perdas de Energia Elétrica na Distribuição, Edição 2024," Brasília, 2024.
- [3] L. Ventura, G. E. Felix, R. Vargas, L. T. Faria, J. D. Melo, "Estimation of Non-Technical Loss Rates by Regions," *Electric Power Systems Research*, v. 223, p. 109685, 2023.
- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) - Módulo 7," 2024.
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), "Módulo 2: Revisão Tarifária Periódica das Concessionárias de Distribuição" [Online]. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren20221003_Proret_Submod_2.1_V_2_3C.pdf>.
- [6] "Por que o Brasil tem energia barata e conta de luz cara? Veja gráficos e entenda o paradoxo," [Online]. Disponível em: <<https://www.info4.com.br>>.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), "Resolução Homologatória Nº 3.333" [Online]. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20243333ti.pdf>>.
- [8] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), "Resolução Homologatória Nº 3.339" [Online]. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20243339ti.pdf>>.

BIOGRAFIA DOS AUTORES

1. Gustavo Estevo Felix é Engenheiro de Energia pela FEC, UNESP. Atualmente é Analista de Comercialização de Energia na América Energia SA.
2. Nicole Costa da Silva é Engenheira de Energia pela FEC, UNESP. Atualmente é Executiva de Novos Negócios na COMERC.
3. Isabela Mendes de Oliveira é graduanda em Engenharia de Energia pela FEC, UNESP.
4. Marcelo Escobar de Oliveira é doutor em Engenharia Elétrica pela FEIS, UNESP. Atualmente é professor do Instituto Federal de Goiás (IFG), Câmpus de Itumbiara, Goiás.
5. Lucas Teles Faria é doutor em Engenharia Elétrica pela FEIS, UNESP. Atualmente é professor na UNESP, Câmpus de Rosana, São Paulo.

Condumax.

Para quem exige **MAIS**
do seu **projeto solar.**

O PRIMEIRO CABO
CERTIFICADO NO BRASIL

Da geração distribuída à centralizada, a **Condumax** fornece a **solução ideal para a condução de energia fotovoltaica**, abrangendo desde o módulo solar até a subestação. **Pioneira no lançamento do cabo solar no Brasil**, desde então, tem atendido uma ampla gama de clientes em toda a cadeia produtiva, incluindo integradores, EPCistas, indústrias e instaladores de soluções fotovoltaicas.

Opte por qualidade e tecnologia que resistem a:

- Grandes oscilações de energia
- Radiação UV
- Alta e baixa temperatura
- Soluções ácidas e alcalinas

Linha completa para sistemas fotovoltaicos



SOLARMAX



MAXLINK AL UV OU
SAFETYMAX AL UV



MAXLINK AL UV OU
SAFETYMAX AL UV



MAXLINK MV



CABO DE ALUMÍNIO
NU CA E CAA



Baixe o nosso
catálogo e solicite
uma demonstração
técnica.

0800 701 3701
www.condumax.com.br

Condumax
FIOS E CABOS ELÉTRICOS