



Data-Driven Analysis of Electrical Infrastructure: Identifying Consumption Patterns and Irregularities in Minas Gerais - Brazil

Álisson de Oliveira Alves, Luiz Eduardo Nunes Cho Luck,
Luisa Christina de Souza, Raniere Rodrigues Melo de Lima,
Carlos Augusto Teixeira de Moura,
Wesley José dos Santos Marinho,
Rafael de Medeiros Mariz Capuano,
Bruno Cesar Pereira da Costa, Marina de Siqueira,
Arthur Diniz Flor Torquato Fernandes,
Jesaias Carvalho Pereira Silva and Pablo Javier Alsina

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

January 6, 2025

Análise Orientada a Dados da Infraestrutura Elétrica: Identificando Padrões de Consumo e Irregularidades em Minas Gerais - Brasil

Álison de Oliveira Alves* ** Luiz Eduardo Nunes Cho Luck**
Luisa Christina de Souza* ** Raniere Rodrigues Melo de Lima**
Carlos Augusto Teixeira** Wesley José dos Santos Marinho**
Rafael de Medeiros Mariz Capuano** Bruno Cesar Pereira da Costa**
Marina de Siqueira** Arthur Diniz Flor Torquato Fernandes***
Jesaias Carvalho Pereira Silva** Pablo Javier Alsina*

* *Departamento de Engenharia de Computação e Automação,
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil*

** *Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis, Natal, Brasil*

*** *Departamento de Engenharia Industrial, Universidade de Nápoles
Federico II, Nápoles, Itália*

Abstract: Data science and system identification emerge as fundamental themes for optimizing complex processes across various industry sectors. This study proposes a data integration methodology to analyze and identify consumption patterns in the electrical infrastructure of a region in the state of Minas Gerais, Brazil, using data from irregularity reports and network monitoring. Initially, the data was extracted and processed using Extraction, Transformation, and Loading (ETL) techniques, allowing for a detailed understanding of consumption patterns and commercial losses over time. Additionally, georeferenced data was used to map areas with the highest incidence of reports and energy losses. The analysis revealed a direct association between areas with high commercial losses and occurrences of clandestine connections. Regions with losses above 30% were shown to have a higher incidence of irregularities. Furthermore, the behaviors of feeders with high and low commercial losses over time were examined. In feeders with high losses, a greater disparity between measurement and expected consumption was observed, suggesting irregularities in energy distribution. On the other hand, in feeders with low losses, a proximity between measurement and expected consumption curves was observed, indicating a more efficient operation of the electrical network.

Resumo: A ciência de dados e a identificação de sistemas emergem como temáticas fundamentais para otimizar processos complexos em diversos setores da indústria. Este estudo propõe uma metodologia de integração de dados para analisar e identificar padrões de consumo na infraestrutura elétrica de uma região do estado de Minas Gerais, utilizando dados de denúncias de irregularidades e monitoramento da rede. Inicialmente, os dados foram extraídos e processados usando técnicas de Extração, Transformação e Carregamento (ETL, em inglês), permitindo uma compreensão detalhada dos padrões de consumo e das perdas comerciais ao longo do tempo. Também foram utilizados dados georreferenciados para mapear as áreas de maior incidência de denúncias e perdas de energia. A análise revelou uma associação direta entre áreas com altas perdas comerciais e ocorrências de ligações clandestinas. Regiões com perdas acima de 30%, demonstraram ser locais com maior incidência de irregularidades. Além disso, foram examinados os comportamentos de alimentadores com altas e baixas perdas comerciais ao longo do tempo. Nos alimentadores com altas perdas, observou-se uma maior disparidade entre a medição e o consumo esperado, sugerindo a presença de irregularidades na distribuição de energia. Por outro lado, nos alimentadores com baixas perdas, observou-se uma proximidade entre as curvas de medição e consumo esperado, indicando uma operação mais eficiente da rede elétrica.

Keywords: Commercial losses; System identification; Data science; Substantiated complaints; Georeferenced data; Substations; Feeders.

Palavras-chaves: Perdas comerciais; Identificação de sistemas; Ciência de dados; Denúncias procedentes; Dados georreferenciados; Subestações; Alimentadores.

1. INTRODUÇÃO

As novas tecnologias estão provocando mudanças no setor de energia elétrica global, especialmente nas áreas de comunicação, sensoriamento, cibersegurança e monitoramento de ativos (Passagem, 2023; Souza Júnior, 2023). O rápido desenvolvimento da tecnologia e a sua utilização em diversos setores possibilitou a melhora na qualidade de vida, facilitando o acesso rápido às informações e quebrando as barreiras da comunicação interpessoal nas esferas sociais e organizacionais. Sendo assim, é plausível antecipar a integração desses avanços tanto no contexto global do setor elétrico quanto, particularmente, no cenário brasileiro.

De acordo com projeções da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no Brasil está previsto para aumentar até 2032, atingindo 787,5 TWh (Pires and Magri, 2023). Neste contexto de mudanças no consumo de energia elétrica do país, segundo (Miranda, 2023) o governo está intensificando os investimentos na geração de energia de qualidade para atender às necessidades da indústria e da população. Como consequência desse impulso, cresce a implementação de soluções como redes elétricas e medidores inteligentes, eletrificação dos transportes e a aplicação de inteligência artificial na previsão da demanda energética (Lins and Rodrigues, 2023; Mendonça et al., 2023; Brangioni, 2023).

No entanto, a evolução tecnológica não se limita à introdução de novas tecnologias. Também promove-se uma avaliação contínua e o aprimoramento da eficiência energética, além de contribuir para a qualidade da geração e da distribuição de energia pelas concessionárias. Dessa forma, a eficiência energética emerge como uma consequência natural desse processo.

Neste cenário dinâmico e em constante transformação do setor, onde a **eficiência energética** (que propõe maneiras de uso eficiente e racional de energia elétrica (Pires and Magri, 2023)) e a redução das **perdas de energia** (que se refere à minimização de desperdícios durante a geração, transmissão e distribuição de energia (Soares, 2023)) assumem um papel fundamental nesse processo.

A redução das perdas de energia é fundamental para impulsionar a eficiência nos processos de geração, distribuição e consumo. Essa abordagem integrada não apenas otimiza o processo como um todo, mas também desempenha um papel importante no desenvolvimento urbano equitativo e ambientalmente responsável.

Nesse sentido, essas frentes de desenvolvimento desempenham um papel vital, ao possibilitar a introdução de novas soluções inteligentes ao setor energético, ajudando a impulsionar uma avaliação contínua e o aprimoramento dos processos de geração, distribuição e consumo de energia. A sinergia entre esses avanços tecnológicos e a constante busca pela eficiência energética desenha um horizonte pro-

missor. Nele, a otimização dos recursos, a minimização de desperdícios e a possibilidade de detecção de fraudes atreladas às perdas emergem como requisitos fundamentais em direção a um futuro energético mais sustentável e resiliente. Além disso, destaca-se a necessidade de identificar e mitigar as perdas de energia, cuja origem, em muitos casos, está associada a fraudes e furtos. Portanto, torna-se essencial a implementação de medidas que combinem tecnologias inovadoras e soluções inteligentes para detectar e corrigir tais problemas (Oliveira, 2024).

2. PERDAS DE ENERGIA ELÉTRICA

As perdas em uma rede de distribuição de energia podem ser técnicas ou comerciais. As perdas técnicas ocorrem devido à dissipação de energia durante o transporte, conversão de tensão e medição, devido ao efeito *Joule* e outras leis físicas (Lins and Rodrigues, 2023). Já as perdas comerciais resultam de furtos e fraudes, como adulterações nos equipamentos de medição e redes clandestinas. Essas atividades ilícitas aumentam os custos operacionais, que são repassados aos consumidores, elevando as tarifas (Lins and Rodrigues, 2023). A redução das perdas comerciais é essencial para diminuir custos, proteger investimentos e promover a sustentabilidade ambiental.

Segundo as análises de (Soares, 2023), foi examinada a progressão das perdas totais, englobando tanto as perdas técnicas quanto as comerciais, sobre a energia injetada no intervalo entre os anos de 2008 a 2022. Durante esse período de 15 anos, constatou-se que a perda comercial real flutuou entre 6,2% e 7,2%, encerrando o ciclo em 2022 com um índice de 6,3%. Com base nas informações fornecidas no relatório anual do ano de 2022 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023), observa-se que as perdas comerciais representaram um custo considerável para o país, chegando a aproximadamente R\$ 8,69 bilhões. No entanto, as perdas comerciais regulatórias, calculadas de acordo com a metodologia da ANEEL, totalizaram cerca de R\$ 6,59 bilhões. Esse montante chega a aproximadamente 3,1% da receita requerida das distribuidoras, representando uma fração considerável do total de receita que as distribuidoras precisam para cobrir seus custos operacionais e fornecer energia elétrica aos consumidores.

Essa preocupação engloba inúmeras empresas do setor de energia elétrica como também o órgão regulador. Essas entidades estão atentas ao crescimento do índice de perdas ao longo dos anos e buscam soluções e avanços tecnológicos para enfrentar esse desafio. No contexto específico do Brasil, as perdas de energia elétrica, sejam técnicas ou comerciais, representam grandes desafios para as concessionárias e os órgãos reguladores e têm impacto socioeconômico generalizado.

Desse modo, este trabalho propõe analisar uma série histórica de monitoramento da rede elétrica de uma região do estado de Minas Gerais (MG). Foi utilizada uma abor-

dagem que integra diversas bases de dados, tanto públicas quanto privadas, provenientes de concessionárias de energia e órgãos reguladores. Essa integração tem como objetivo auxiliar na detecção de anomalias no padrão de consumo de energia elétrica. Também se procura estabelecer correlações com informações de denúncias, com o intuito de aprimorar a compreensão e a eficácia das análises conduzidas. O objetivo central é identificar potenciais áreas de irregularidades, visando a otimização das estratégias de fiscalização e prevenção de perdas no setor elétrico. Essa iniciativa visa a promover a sustentabilidade do sistema elétrico, alinhando-se com os avanços tecnológicos e a incessante busca por soluções eficazes e inteligentes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise detalhada dos padrões de consumo de energia elétrica é fundamental para identificar possíveis anomalias que possam resultar em perdas comerciais. Nesse contexto, este estudo apresenta uma metodologia inovadora que utiliza dados intrínsecos de monitoramento da rede elétrica, incluindo dados georreferenciados, para identificar e mitigar esses problemas. A integração de dados georreferenciados permite uma compreensão mais espacializada e abrangente dos padrões de consumo em diferentes localidades, enquanto as técnicas de geoprocessamento fornecem percepções sobre o comportamento do consumo de energia em áreas específicas. A Figura 1 apresenta o fluxo de atividades dessa metodologia, que inclui a caracterização dos conjuntos de dados, o processo de extração e tratamento dos dados, culminando na identificação das anomalias nos padrões de consumo, as quais serão discutidas mais detalhadamente nos resultados.

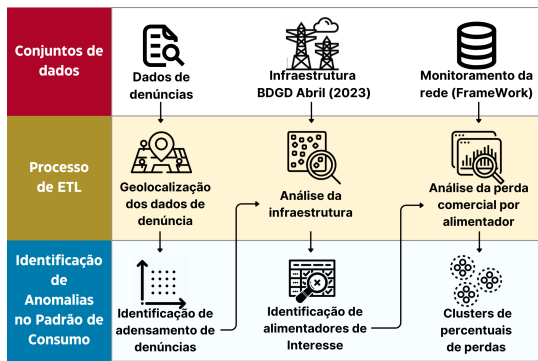


Figura 1. Processo contínuo de atividades empregado na metodologia de identificação de anomalias no padrão de consumo.

A metodologia aplicada neste estudo envolve um processo iterativo, onde inicialmente realizamos o processo de Extração, Transformação e Carregamento (ETL) de diferentes fontes de dados. Essa é uma metodologia bastante difundida para integrar dados de fontes variadas. Nesse processo, é importante destacar que o resultado da ETL de um dado influencia diretamente na ETL do dado subsequente. A análise teve início com os dados de denúncias, a partir dos quais foi possível mapear sua geolocalização e identificar regiões com maior incidência de ocorrências registradas. Em seguida, a infraestrutura da rede elétrica, disponibilizada pela Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD), foi analisada para identificar as subestações e alimentadores na região de interesse mais afetadas

de acordo com as informações geradas a partir do conjunto de dados das denúncias. Essa informação é crucial, pois é a partir dos alimentadores que as informações de consumo energético serão analisadas.

3.1 Conjuntos de dados

Dados estruturados abrangem uma variedade de formatos comuns e diversos, como dados tabulares, *arrays* multidimensionais, tabelas interligadas e séries temporais. Estes formatos são caracterizados pela organização predefinida em que cada elemento possui um tipo específico, como strings, numéricos ou datas. Essa estrutura facilita a análise e modelagem dos dados, tornando-os mais adequados para processamento automatizado e análise em larga escala (Harrison, 2019; McKinney, 2023). Dessa forma, as bases de dados utilizadas no presente estudo consistem em dados que seguem as características de dados estruturados descritas anteriormente.

Dados de denúncias: Os dados analisados, provenientes de uma companhia energética no Brasil, são atualizados mensalmente e registrados em um arquivo .CSV. Eles incluem mais de 5 mil denúncias de possíveis irregularidades na rede elétrica recebidas entre 2017 e junho de 2023. As informações são organizadas em colunas como cidade, bairro, município, data de registro, entre outras.

Base de Dados Geográfica da Distribuidora: As informações do BDGD foram acessadas através do repositório web da ANEEL. A base de dados é atualizada semestralmente pela ANEEL, que recebe informações de todas as distribuidoras do Brasil. Esses dados são armazenados em arquivos .GDB (*Geodatabase*), que constituem um modelo de gestão/gerenciamento de dados geográficos baseado em arquivos. Essa fonte de dados complementa a análise exploratória, fornecendo informações detalhadas sobre a infraestrutura da rede elétrica, incluindo redes de alta, média e baixa tensão, transformadores e pontos de iluminação pública.

Dados de monitoramento da rede (Framework:)

Os dados de monitoramento da rede são informações disponibilizadas provenientes da mesma companhia, esses dados apresentam uma atualização trimestral. A empresa recebe informações de *datalakers* e sistemas de automação internos, os quais concentram dados de todas as subestações e alimentadores. A fonte de dados analisada inclui planilhas contidas em um arquivo .XLSX. Uma das planilhas analisadas, denominada "Framework", abrange informações relacionadas ao monitoramento da rede pela concessionária. Diversos dados são fornecidos, como geração (MWh), consumo (MWh), totais de perdas técnicas por alimentador (MWh), perdas comerciais (não técnicas) por alimentador, número de clientes por alimentador, entre outras.

3.2 Extração, Tratamento e Carregamento (ETL) dos dados

Como parte do processo de análise, realizou-se inicialmente a extração, tratamento e carregamento (ETL) dos dados, visando a garantir a integridade e a consistência das informações. Posteriormente, iniciou-se a análise exploratória

dos dados de denúncias, os quais foram obtidos no formato de planilha eletrônica descrito em detalhes na seção anterior. Foram destacadas as informações presentes na coluna "Resultado do Serviço", a qual contém dados categóricos separados em três rótulos:

- **Procedente:** Refere-se ao serviço no qual identificou-se irregularidades;
- **Improcedente:** Indica que não foram identificadas irregularidades no local denunciado durante a intervenção da equipe;
- **Impedido:** Indica que houve algum tipo de impedimento durante a ação da empresa, como por exemplo: área de risco, área de difícil acesso ou ausência do proprietário do imóvel ou região.

Ao todo, foram contabilizados 5406 registros, dos quais 2371 são procedentes, 1327 improcedentes e 1708 apresentaram algum tipo de impedimento. Esses dados são apresentados na Figura 2 (A).



Figura 2. Análise das denúncias no estado de Minas Gerais, destacando tanto o total de denúncias quanto ao seu tipo. Fonte: Elaboração própria

Para este estudo, foram observadas preferencialmente áreas urbanizadas, devido à escassez de dados consistentes para análise em áreas rurais. Para a análise a seguir, foram considerados apenas os dados com status de Procedente, visto que são dados já validados em campo pela concessionária.

A partir disso, foram analisadas outras duas colunas da base de denúncias, uma para o endereço e outra para o número do edifício. Observou-se que a rua e o número são registrados separadamente, então foi proposta a unificação desses dados para criar uma informação de geolocalização, compensando a ausência de latitude e longitude do local denunciado.

Assim, desenvolveu-se um *script* em linguagem de programação Python com o propósito de executar o processo ETL dos dados. Posteriormente, o *script* foi configurado para consumir o serviço da *Geocoding API* da *Google*, utilizando os dados de endereço extraídos da base de denúncias. O processo de geocodificação tem a função de converter endereços em coordenadas geográficas, permitindo assim a marcação dos locais indicados em um mapa (Goldstein, 2014). Dessa forma obtivemos uma lista com um conjunto de coordenadas geográficas para cada serviço da planilha analisada.

Após o processamento dos dados de denúncias, realizou-se a análise dos dados de infraestrutura do BDGD. Esses da-

dos foram importados para o software de informações geográficas QGIS (Moyroud and Portet, 2018). Em seguida, utilizamos o *plugin* de *basemaps* para sobrepor os detalhes de infraestrutura no mapa, enriquecendo a representação visual dos dados.

Por último, analisamos os dados do (*Framework*), extraíndo informações sobre a medição de energia (MWh) e as perdas comerciais em cada alimentador. Esses dados foram correlacionados com o BDGD, permitindo visualizar geograficamente os percentuais de perda comercial e identificar regiões com maior incidência de fraude, com base nas denúncias geolocalizadas. A análise resultou em um mapa georreferenciado detalhado, que facilita a identificação de problemas na infraestrutura da rede em regiões específicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao grande volume de denúncias abrangendo diferentes regiões do estado de Minas Gerais, optou-se por extrair as denúncias rotuladas como "procedentes" de uma área específica. Foi realizado um recorte para uma determinada região que continha um total de 40 denúncias procedentes. O resultado das denúncias geolocalizadas está ilustrado na Figura 3.

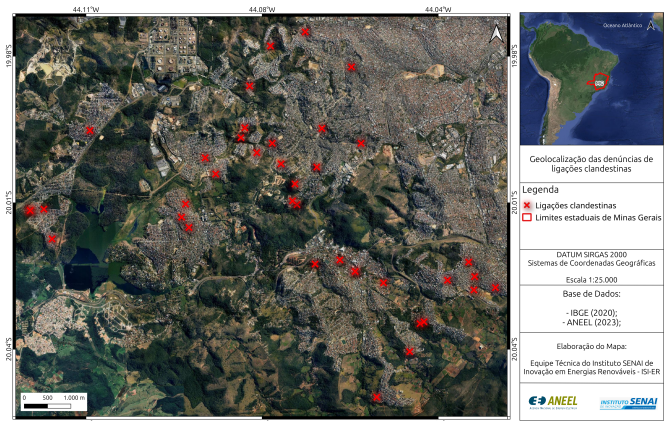


Figura 3. Imagem de satélite extraída do Google Earth com as marcações das denúncias na região de interesse. Fonte: Elaboração própria

Em seguida, os dados do BDGD foram utilizados com o intuito de identificar quais são os ativos da infraestrutura que alimentam a região em questão. A Figura 4 indica que toda a área estudada é atendida pela concessionária. Esse fato diminui a possibilidade de grandes áreas com ligações clandestinas, as quais são mais comuns em regiões de ocupações irregulares. Dessa forma, espera-se que o furto de energia na área ocorra principalmente em casas ou em um número reduzido de prédios.

Após a identificação dos alimentadores da região, utilizamos os dados do *Framework* para analisar o histórico de perdas comerciais mensais entre os anos de 2020 e 2023. Na Figura 5, é possível observar as informações de perda comercial, representadas em uma escala de 4% a mais de 50%, separadas em *clusters*. A análise revelou que as regiões com perdas acima de 30% compreendem aproximadamente 70% das denúncias de ligações clandestinas. Essa

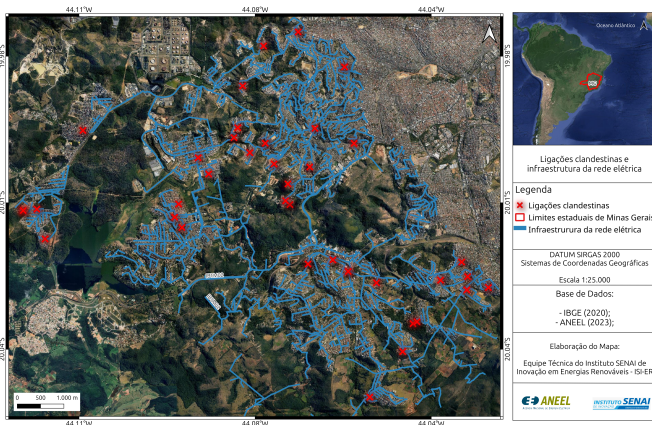


Figura 4. Informações da BDGD sobre os alimentadores na região em estudo sobreposta em uma imagem de satélite do Google Earth. Fonte: Elaboração própria

descoberta sugere uma associação direta entre as perdas comerciais e possíveis práticas de furto de energia elétrica, destacando que as áreas com altas taxas de perdas comerciais são aquelas onde as denúncias de ligações clandestinas são mais frequentes.

Essa associação levanta questões importantes sobre a eficácia das medidas de segurança e fiscalização nas áreas afetadas. A presença de perdas comerciais elevadas pode indicar falhas de monitoramento e detecção de fraudes por parte das empresas. Além disso, a incidência de ligações clandestinas sugere a presença de atividades ilegais, que podem prejudicar não apenas as empresas de energia, mas também os consumidores que são afetados pela queda da qualidade da energia e por aumentos nas tarifas devido a essas práticas.

Esses dados ressaltam a importância de estratégias proativas por parte das concessionárias e das autoridades reguladoras para combater o furto de energia elétrica. Isso inclui investimentos em tecnologias de monitoramento mais avançadas, bem como a implementação de políticas de conscientização e educação pública sobre os impactos negativos do furto de energia. Além disso, é crucial fortalecer a aplicação da lei e aumentar as penalidades para aqueles que são pegos praticando ligações clandestinas.

Em suma, a análise das perdas comerciais e sua correlação com as denúncias de ligações clandestinas destaca a necessidade de uma abordagem abrangente e coordenada para lidar com esse problema, visando a proteger a integridade do sistema elétrico e garantir um fornecimento de energia justo e sustentável para todos.

Com base na Figura 5, foram selecionados dois alimentadores para análise mais aprofundada: um com alto percentual de perdas comerciais e outro com baixo percentual. O objetivo foi investigar o comportamento das curvas de medição nos alimentadores e compará-las com o consumo esperado para essas redes. Na Figura 6, é apresentada a série histórica mensal do monitoramento da rede. A relação de perda comercial é calculada pela diferença entre a medição (linhas amarelas) e o consumo esperado (linhas azuis). Quanto maior a distância entre as linhas, maior é a

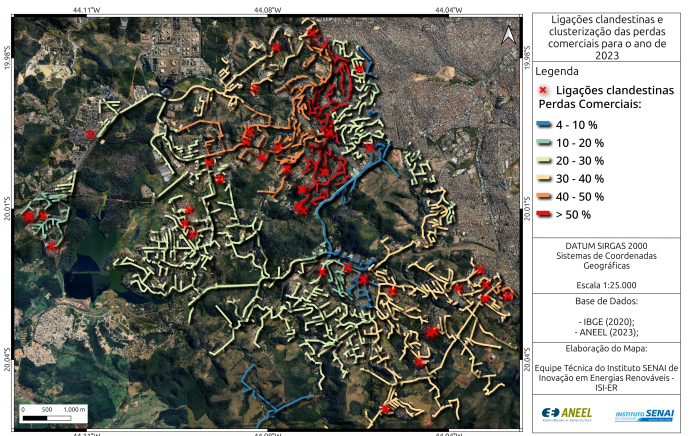
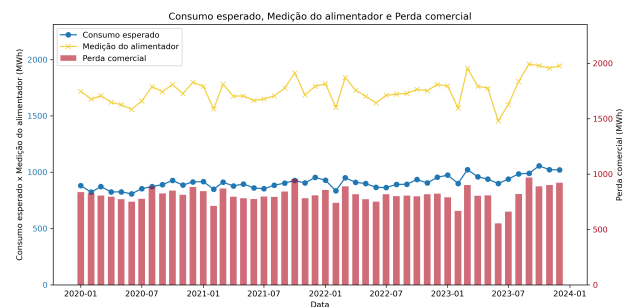
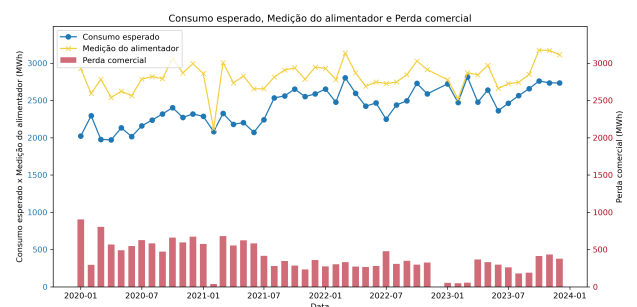


Figura 5. Clusters com percentuais de perdas comerciais mapeadas para ano de 2023 em uma região do Estado de Minas Gerais. Fonte: Elaboração própria

perda comercial da região, conforme ilustrado pelas barras vermelhas.



(a) Alimentador com alta perda comercial para os períodos de 2020 até 2024. Fonte: Elaboração própria



(b) Alimentador com baixa perda comercial para os períodos de 2020 até 2024. Fonte: Elaboração própria

Figura 6. Dados obtidos do *Framework* para gerar as curvas de Medição do alimentador versus o Consumo esperado: a distância entre as elas representa a perda comercial. Fonte: Elaboração própria

Nos alimentadores com altas perdas comerciais, observa-se maior disparidade entre a medição e o consumo esperado, conforme mostrado na Figura 6 (a). Essa diferença sugere a presença de falhas na infraestrutura ou práticas de furto de energia, o que pode resultar em prejuízos financeiros para a concessionária e impactos negativos na qualidade do serviço prestado aos consumidores. As barras de perdas

chegam a alcançar o mesmo valor do consumo esperado, resultando em perda comercial média do alimentador em aproximadamente 50% ao longo de toda a série histórica. Além disso, é possível identificar um aumento nos valores da medição do alimentador nos últimos meses de cada ano, o que pode estar relacionado aos meses do verão austral, caracterizados por um maior consumo de energia devido ao aumento das temperaturas e ocorrências de ondas de calor na região sudeste do Brasil nos últimos anos. Segundo (Regoto et al., 2021), a região Sudeste do Brasil apresentou uma tendência de aumento de 0,37 °C por década na temperatura máxima do ar desde 1961, junto a isso, a quantidade de dias com a temperatura mínima acima de 20 °C vem aumentando a uma taxa de 11,93 dias por década.

Por outro lado, nos alimentadores com baixas perdas comerciais, a proximidade entre as curvas de medição e consumo esperado, conforme visualizado na Figura 6 (b), indica uma operação mais eficiente e um controle adequado da distribuição de energia. Essas regiões podem servir como exemplos de boas práticas e estratégias bem-sucedidas de gestão da rede elétrica, que podem ser replicadas em outras áreas para reduzir as perdas comerciais e otimizar o fornecimento de energia.

No contexto do alimentador apresentado na Figura 6 (b), com perdas em torno de 8% ao longo do ano de 2023 e uma média histórica de 14%, percebe-se uma evolução na curva do Consumo Esperado entre 2020 e 2023, com o aumento de mais de 500 MWh. Um motivo provável para esse comportamento é a regularização de ligações clandestinas nesse período, bem como um possível aumento na densidade populacional entre 2020 e 2023 na região estudada. Vale destacar que o alimentador em questão fornece energia para uma maior quantidade de clientes, cobre uma área maior e, conseqüentemente, a quantidade de energia medida nele é maior. Apesar desse fato relevante, observa-se uma diminuição das perdas em 41% desde o início das medições.

5. CONCLUSÃO

O estudo realizado proporcionou uma compreensão abrangente das perdas comerciais de energia elétrica, destacando as áreas com maiores incidências e os possíveis fatores associados a esse problema. A análise dos dados revelou uma correlação entre as regiões com altas taxas de perdas comerciais e as denúncias de ligações clandestinas, indicando furto de energia. Por outro lado, áreas com baixas perdas comerciais refletiram uma operação mais eficiente e um controle adequado da distribuição de energia, servindo como exemplos de boas práticas para serem replicadas em outras localidades.

A integração dos dados georreferenciados da infraestrutura da rede elétrica com as informações de perdas comerciais permitiu uma análise mais detalhada e contextualizada. A visualização desses dados em mapas facilitou a identificação de áreas críticas, o que poderá subsidiar a tomada de decisões para mitigar as perdas e melhorar a eficiência operacional. Além disso, a análise das perdas comerciais ao longo dos tempo permitiu identificar tendências e padrões de comportamento, contribuindo para futuras estratégias de gestão da rede elétrica.

Em suma, os resultados deste trabalho destacam a importância da análise integrada de dados georreferenciados e dados de perdas comerciais para o monitoramento e aprimoramento do sistema elétrico. A utilização de ferramentas de visualização, como mapas georreferenciados, proporcionou uma compreensão clara e acessível das informações.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CEMIG, ANEEL (PD-04950-0664/2023), CNPq e CAPES pelo apoio financeiro e colaboração, essenciais para este estudo e para o avanço da pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) no setor elétrico.

REFERÊNCIAS

- ANEEL (2023). Relatório anual de perdas de energia elétrica na distribuição. (Acessado em 23/06/2023).
- Brangioni, G.B. (2023). Análise e previsão de carga elétrica via redes neurais convolucionais.
- Goldstein, S. (2014). *Criação de plataforma de geocoding baseada em serviços Google Maps*. Ph.D. thesis.
- Harrison, M. (2019). *Machine Learning—Guia de referência rápida: trabalhando com dados estruturados em Python*. Novatec Editora.
- Lins, F.H.F. and Rodrigues, S.A. (2023). Smart grids como alternativa para combater as perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(5), 788–799.
- McKinney, W. (2023). Python para análise de dados: Tratamento de dados com pandas, numpy e jupyter. *NumPy e IPython*.
- Mendonça, M., Finocchio, M.A.F., Nicolau, C.F., de Souza, R.d.A.M., de Oliveira, T.A., Palacios, R.H.C., and dos Santos, M.R.P. (2023). Veículos elétricos no Brasil: O potencial brasileiro para a transição de modelos de locomoção. *Revista Técnico-Científica*, (32).
- Miranda, L.M.D. (2023). Impacto das energias renováveis no crescimento econômico.
- Moyroud, N. and Portet, F. (2018). Introduction to qgis. *QGIS and generic tools*, 1, 1–17.
- Oliveira, A.M.d. (2024). Metodologia para análise das relações entre regulação dos usos do solo, preços imobiliários e mobilidade urbanas.
- Passagem, M.A.V. (2023). *ROTEIRO DE CAPACIDADES MÍNIMAS DE CIBERSEGURANÇA NO SETOR ENERGÉTICO*. Ph.D. thesis.
- Pires, D.M.G. and Magri, L.P. (2023). Eficiência energética na indústria. *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, 4(2).
- Regoto, P., Dereczynski, C., Chou, S.C., and Bazzanela, A.C. (2021). Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. *International Journal Of Climatology*, 41(11), 5125–5142. doi:10.1002/joc.7119. URL <http://dx.doi.org/10.1002/joc.7119>.
- Soares, G.V.A. (2023). Formas básicas de identificação presencial das perdas não técnicas no sistema elétrico brasileiro.
- Souza Júnior, S.C.d. (2023). Monitoramento de cargas residuais utilizando tecnologias de internet das coisas com aplicação no gerenciamento de resposta à demanda.