

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS,
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

GABRIEL VIEIRA TÔRRES

PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO EM LINHAS DE
TRANSMISSÃO/DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

ITUIUTABA

2025

GABRIEL VIEIRA TÔRRES

**PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO EM LINHAS DE
TRANSMISSÃO/DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para a Universidade Federal de Uberlândia ao curso de graduação em Engenharia de Produção, como parte da exigência parcial na obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

ITUIUTABA

2025

PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO/DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado para a Universidade Federal de Uberlândia ao curso de graduação em Engenharia de Produção, como parte da exigência parcial na obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Ituiutaba, 03 de setembro de 2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcus Vinícius Ribeiro Machado (orientador)
FACES/UFU

Profa. Dra. Cristiane Medina Finzi Quintão
FACES/UFU

Prof. Dr. Gleyzer Martins
FACES/UFU

Dedico este trabalho aos meus pais e minha irmã,
pelo estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus professores pelo incentivo, motivação, orientação, conhecimento e experiência nesta caminhada acadêmica.

Aos amigos e colegas que conheci nessa trajetória, que sempre se mantiveram presentes independente das dificuldades ao longo da graduação e me apoiaram e tornaram todo esse caminho mais leve.

À JBS por acreditar no meu potencial e me dar a primeira oportunidade profissional e aos colegas e amigos que fiz por lá.

Ao grande amigo da família Francisco Tomaz Pereira de Arruda por sugerir o tema desse trabalho proposto e me auxiliar ao longo do estudo.

Ao Felipe Levati Montagnoli, por fornecer informações de campo que foram utilizadas nesse estudo.

Agradeço também a Universidade Federal de Uberlândia por garantir uma estrutura para nós alunos do curso na cidade de Ituiutaba.

“Persistir é a chave que transforma desafios
em conquistas. Nunca desista, pois na
resiliência reside o poder de alcançar o
extraordinário.”

RESUMO

Este trabalho investiga a manutenção e gestão das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica no setor brasileiro, enfatizando sua importância para a sustentabilidade do setor energético e a confiabilidade do fornecimento de energia. A pesquisa foi fundamentada em uma revisão abrangente da literatura, conforme as diretrizes da NBR6028 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003), e envolveu a análise de artigos acadêmicos, dissertações, teses e relatórios de pesquisa obtidos principalmente através do Google Acadêmico. A metodologia focou na identificação de tendências, lacunas e potenciais áreas para pesquisa futura, empregando uma leitura crítica e a comparação dos materiais coletados. Os resultados revelam a importância crítica da eficiência produtiva, da manutenção preventiva, do manejo de vegetação, da conformidade regulatória e da integração de novas tecnologias nas práticas de manutenção e gestão. A discussão aborda a necessidade de uma abordagem dinâmica, considerando fatores técnicos, ambientais e regulatórios, e identifica áreas que necessitam de investigação adicional. Este estudo contribui para o entendimento aprofundado e aprimoramento das estratégias de manutenção e gestão no setor energético, fornecendo insights valiosos para profissionais e pesquisadores.

Palavras-chave: Elétrica. Energia. Manutenção. Planejamento.

ABSTRACT

This study investigates the maintenance and management of electric power transmission and distribution lines in the Brazilian sector, emphasizing their importance for the sustainability of the energy sector and the reliability of power supply. The research was based on a comprehensive literature review, following the guidelines of NBR6028 from the Brazilian Association of Technical Standards (2003), and involved the analysis of academic articles, dissertations, theses, and research reports obtained primarily through Google Scholar. The methodology focused on identifying trends, gaps, and potential areas for future research, employing critical reading and comparing the collected materials. The results highlight the critical importance of productive efficiency, preventive maintenance, vegetation management, regulatory compliance, and the integration of new technologies into maintenance and management practices. The discussion addresses the need for a dynamic approach that considers technical, environmental, and regulatory factors, and identifies areas requiring further investigation. This study contributes to a deeper understanding and improvement of maintenance and management strategies in the energy sector, providing valuable insights for professionals and researchers.

Keywords: Electrical. Energy. Maintenance. Planning.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	14
2.2	LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO.....	20
2.3	MANUTENÇÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS	27
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	TIPO DE PESQUISA	32
3.2	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	32
3.3	LEVANTAMENTO DE DADOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.4	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5	CONCLUSÃO.....	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão e distribuição são elementos vitais na infraestrutura energética, responsáveis por transportar a energia elétrica das usinas geradoras até os consumidores finais. A eficiência, a segurança e a confiabilidade dessas linhas são cruciais para garantir um fornecimento de energia contínuo e sem interrupções, garantindo a qualidade de fornecimento residencial e empresarial (MOURA *et al.*, 2025).

No contexto dos conceitos, é essencial entender a diferença entre manutenção preditiva, que utiliza dados e análises para prever quando um componente do sistema tende a falhar, manutenção preventiva, que se refere a ações programadas para evitar falhas, e manutenção corretiva, que lida com reparos após a ocorrência de falhas. Além disso, a gestão eficiente dessas linhas envolve a aplicação de tecnologias avançadas, estratégias de planejamento e conformidade com regulamentos ambientais e de segurança (MORAIS, 2020).

A natureza deste tema é complexa, envolvendo aspectos técnicos, ambientais, regulatórios e gerenciais. A manutenção de linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica não se limita apenas a aspectos técnicos; ela também engloba a interação com o meio ambiente, o cumprimento de regulamentos e a gestão eficaz dos recursos.

A manutenção e gestão eficientes das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica constituem um tema de relevância crítica, tanto para a sustentabilidade do setor energético quanto para a segurança e a confiabilidade do fornecimento de energia. Este trabalho tem como objetivo explorar diversos aspectos relacionados a esse tema, integrando conceitos e práticas essenciais para a compreensão e aprimoramento dos processos de manutenção e gestão nessas áreas.

A importância desse tema é evidenciada pelo impacto direto que a qualidade da manutenção e gestão das linhas de transmissão e distribuição tem sobre a eficiência energética, além do quão importante é ter um bom planejamento para realizar com os devidos cuidados e segurança as atividades de manutenção para se obter uma redução de perdas de energia, a mitigação de falhas e interrupções no fornecimento de energia e a proteção do meio ambiente.

Este estudo visa, portanto, analisar as práticas atuais, identificar desafios e propor soluções para aprimorar a manutenção e a gestão das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Através desta análise, busca-se contribuir para a melhoria contínua na eficiência, na segurança e na sustentabilidade do setor energético, fornecendo contribuições valiosas para profissionais, pesquisadores e formuladores de políticas neste campo.

O objetivo geral do trabalho é analisar e propor estratégias eficazes de planejamento de manutenção em linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, por meio da aplicação de um estudo de caso em uma empresa do setor. Para alcançar o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: (I) Apresentar dados do setor energético que impactam no Sistema Interligado Nacional; (II) Demonstrar o que são linhas de transmissão e distribuição; (III) Demonstrar o processo de planejamento de manutenção com base na análise do estudo de caso, considerando a construção de um checklist.

Dessa forma, este trabalho está estruturado em cinco capítulos, além da introdução. No Capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica, abordando os principais conceitos relacionados ao setor energético, às linhas de transmissão e distribuição e às práticas de manutenção. O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada para a realização do estudo, destacando os procedimentos utilizados na coleta e análise das informações. No Capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos por meio do estudo de caso, juntamente com a discussão à luz da teoria. O Capítulo 5 traz a conclusão do trabalho, com base nos objetivos propostos, enquanto o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas sobre o tema. Por fim, tem-se as referências utilizadas no trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho tem como objetivo apresentar os principais conceitos que sustentam a análise do planejamento de manutenção em linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Para compreender a complexidade e a importância desse processo, é necessário explorar o funcionamento do setor elétrico brasileiro e as características técnicas e operacionais das linhas que compõem o sistema de transporte e distribuição da energia.

Inicialmente, será abordada a estrutura do setor elétrico no Brasil, com ênfase no Sistema Interligado Nacional (SIN), que reúne a maior parte da geração e transmissão de energia do país. Em seguida, serão apresentados os conceitos fundamentais sobre as linhas de transmissão e distribuição, destacando suas diferenças, componentes, funções e relevância para a segurança e continuidade do fornecimento elétrico. Esses tópicos são essenciais para embasar a análise posterior do planejamento de manutenção aplicada no estudo de caso.

2.1 O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) é considerado uma das bases estruturais do desenvolvimento econômico nacional, desempenhando papel estratégico na sustentação das atividades produtivas e na promoção da qualidade de vida da população. Sua relevância vai além do fornecimento de energia, estendendo-se à capacidade de impulsionar diversos segmentos econômicos e sociais. O setor atende mais de 80 milhões de consumidores, com destaque para a indústria e o transporte, que juntos representam mais de 64% do consumo total. Outros segmentos como o residencial, energético, agropecuário e de serviços também têm participação significativa na demanda elétrica, evidenciando a abrangência e a importância do SEB para o funcionamento do país como um todo (CNI, 2017).

O sistema elétrico brasileiro é o maior da América Latina e figura dentre os maiores do mundo em termos de geração de energia elétrica, ocupando, em 2017, a oitava posição no ranking global, atrás de potências como China, Estados Unidos e Índia. Entre 2012 e 2019, a geração média anual de energia no Brasil foi de aproximadamente 586 TWh, atingindo 626,3 TWh em 2019, o que representou um aumento de 4,1% em relação a 2018. Deste total, mais de 80% da eletricidade ofertada internamente provém de fontes renováveis, com destaque para a energia hídrica, que representa cerca de 64,9% da matriz energética nacional. Nesse contexto,

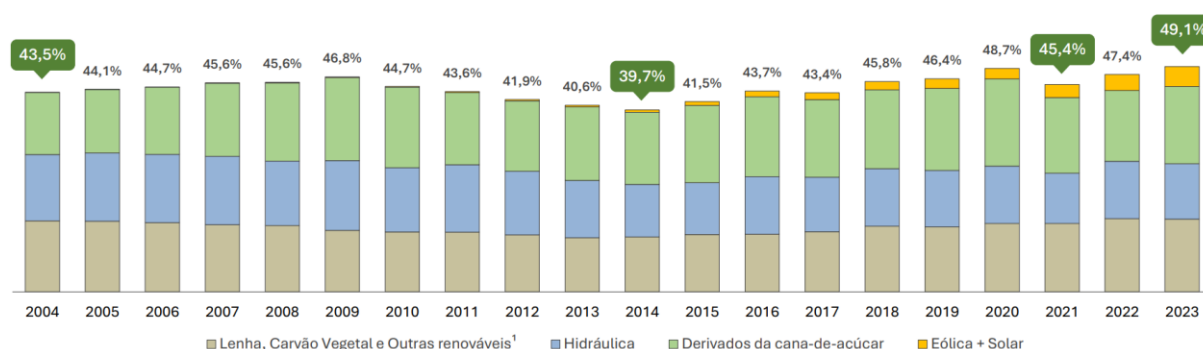
o Brasil se destaca também no cenário internacional como o terceiro maior gerador de energia hidrelétrica do mundo, com uma média de 378 TWh entre 2012 e 2017, alcançando 367 TWh em 2019, o que corresponde a 9,3% da geração hidrelétrica mundial (LAMPIS *et al.*, 2022).

Em 2023, a oferta interna de energia no Brasil alcançou 313,9 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), representando um crescimento de 3,5% em comparação ao ano anterior. Esse aumento foi impulsionado, principalmente, pela estabilidade na oferta de energia hidráulica e pelo crescimento significativo das fontes renováveis, como a energia eólica e a solar fotovoltaica. Ao mesmo tempo, observou-se uma redução na utilização de usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis, como o gás natural e derivados de petróleo, o que evidencia uma tendência de transição energética rumo a uma matriz mais limpa (EPE, 2024).

O crescimento sustentável de uma nação está diretamente relacionado à existência de uma infraestrutura sólida e capaz de atender às suas demandas de longo prazo. Nesse contexto, o setor energético se destaca como um dos principais impulsionadores do desenvolvimento econômico. A energia elétrica, ao viabilizar a produção industrial, o transporte, os serviços e a qualidade de vida, precisa ser planejada estrategicamente, levando em consideração os cenários político-econômicos que moldam sua expansão (CNI, 2017).

A manutenção da participação da energia hidráulica, somada à expansão das fontes solar, eólica e da biomassa, consideradas renováveis, contribuiu de forma significativa para que o Brasil mantivesse uma matriz energética altamente renovável. Em 2023, 49,1% da matriz energética brasileira era composta por fontes renováveis, um índice muito superior ao registrado globalmente e entre os países membros da OCDE. Esse cenário reforça o protagonismo do Brasil no setor energético mundial, destacando seu compromisso com a diversificação de fontes e com a redução das emissões de gases de efeito estufa (EPE, 2024). A Figura 1 ilustra a evolução da participação de energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE).

Figura 1 – Evolução da participação de energias renováveis no Brasil



Fonte: EPE (2024).

Em relação à capacidade instalada, o país ocupava a sétima posição no mundo no período de 2012 a 2019, com uma média de 145.300 MW, chegando a 170.118 MW em 2019 — um aumento de 7.278 MW em relação ao ano anterior. Especificamente no setor hidrelétrico, o Brasil figurava como o terceiro maior em capacidade instalada, atingindo 397.877 MW em 2019. As usinas hidrelétricas respondem por cerca de 60% da geração hidrelétrica nacional, consolidando sua importância estratégica. A principal forma de contratação de nova capacidade de geração no país ocorre por meio dos leilões centralizados, nos quais a hidroeletricidade apresentou os maiores preços médios entre 2016 e 2020, variando entre 193 e 249 reais por MWh. Complementando esse cenário robusto, a extensão das linhas de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) também cresceu, passando de uma média de 108.954 km para 141.888 km em 2019, representando um aumento de 6,6% em comparação ao ano anterior (LAMPIS *et al.*, 2022).

O sistema de distribuição de energia elétrica no Brasil é operado por um conjunto diversificado de agentes, que incluem concessionárias, permissionárias e autorizadas. Em meados da década passada, esse grupo era composto por 114 empresas, englobando desde organizações públicas até sociedades privadas e de economia mista. Essas distribuidoras são responsáveis por entregar energia elétrica às unidades consumidoras finais e, naquele período, já atendiam cerca de 77 milhões de unidades em todo o território nacional — com predominância de consumidores residenciais, que representavam aproximadamente 85% desse total. A cobertura das redes de distribuição alcançava quase todos os municípios brasileiros, o que demonstra o avanço da infraestrutura energética no país (CNI, 2017).

Atualmente, a matriz de geração de energia elétrica do Brasil apresenta um cenário muito mais diversificado em comparação ao de 2001, mantendo, no entanto, sua principal característica: a predominância de fontes renováveis. O país se destaca mundialmente, ocupando a sexta posição tanto na produção de energia eólica quanto na geração de energia solar fotovoltaica, considerando as modalidades centralizada e distribuída. Além disso, o parque termelétrico brasileiro evoluiu de forma significativa, com cerca de metade das usinas utilizando combustíveis renováveis, como a biomassa. A matriz ainda conta com a contribuição da energia termonuclear, que, embora represente uma parcela menor da geração total, desempenha um papel estratégico ao oferecer flexibilidade operativa ao sistema, especialmente por estar próxima ao principal centro de consumo do país (MELO; PAULA, 2024).

O consumo de energia elétrica no Brasil tem apresentado uma tendência de crescimento ao longo dos anos, atingindo 482 TWh em 2019, o que representou um aumento de 1,6% em relação ao ano anterior. Historicamente, o consumo per capita cresceu até o início dos anos

2000, quando foi interrompido pelo racionamento de energia ocorrido em 2001. Após esse período de crise, houve uma retomada gradual a partir de 2003, embora o nível de consumo de 2004 ainda estivesse próximo ao registrado no final da década de 1990. Entre 2014 e 2017, observou-se uma nova retração no consumo per capita, reflexo, principalmente, do aumento significativo da tarifa média de energia elétrica para consumidores residenciais, que acumulou uma alta de 31,5% no período. Mesmo assim, em 2019, o consumo per capita alcançou aproximadamente 0,7 MWh por habitante, evidenciando uma retomada do crescimento (LAMPIS *et al.*, 2022).

Durante a década de 1990 o setor enfrentou um cenário bastante crítico, marcado por dificuldades financeiras e incapacidade do Estado de manter os investimentos necessários para a expansão da infraestrutura elétrica. As empresas do setor se encontravam endividadas e sem condições de dar continuidade aos projetos de ampliação, o que resultava na ameaça constante de falta de energia. Diante desse contexto, a privatização emergiu como uma das alternativas mais viáveis para reverter a situação. No entanto, para que esse processo ocorresse com êxito, era fundamental estabelecer regras claras de funcionamento do mercado, envolvendo desde a regulação das atividades até a definição de aspectos como tarifas, investimentos mínimos e a relação entre geradores e distribuidores de energia (GATTO, 2010).

Segundo Lampis *et al.* (2022), no contexto do consumo residencial, a média de consumo por família apresentou crescimento constante entre 2006 e 2014, atingindo o pico de 2 MWh por família. No entanto, entre 2015 e 2017, houve uma redução para 1,90 MWh por família, influenciada principalmente pela elevação das tarifas de energia elétrica com a introdução do sistema de bandeiras tarifárias em 2015. Este sistema foi criado em resposta à crise hídrica enfrentada entre 2014 e 2016, com o objetivo de repassar ao consumidor o custo adicional gerado pela necessidade de ativar fontes termelétricas em decorrência da baixa nos reservatórios das hidrelétricas. A partir de 2017, o consumo voltou a crescer, alcançando 1,95 MWh por família em 2019, o que reflete uma adaptação do consumidor às novas condições tarifárias e a uma estabilização no cenário energético nacional.

O programa Luz Para Todos é um programa governamental que objetiva a universalização da energia elétrica para famílias de baixa renda ou em situação de vulnerabilidade social. Vale destacar que muitas distribuidoras que operam hoje no setor são oriundas de processos de privatização realizados nos anos 1990, por meio do Programa Nacional de Desestatização. Atualmente, essas empresas são controladas por grandes grupos nacionais e internacionais, o que reflete a globalização e o interesse estrangeiro no mercado energético brasileiro. Essa composição empresarial diversificada contribui para a modernização

e a competitividade do setor, mas também impõe desafios regulatórios e operacionais à manutenção da qualidade e da universalidade do serviço (CNI, 2017).

A trajetória do setor elétrico brasileiro revela uma forte dependência do potencial hidráulico, favorecido pelas características geográficas do país e pela necessidade de atender à crescente demanda por energia. Durante o regime militar, o governo priorizou o desenvolvimento tecnológico da matriz energética, investindo pesadamente em infraestrutura elétrica, ainda que à custa de um expressivo endividamento interno e externo. Contudo, esse crescimento ocorreu de forma desorganizada e sem bases sólidas, resultando em um legado que, à primeira vista, parecia insustentável. Com o fim da ditadura, a abertura econômica e a adoção de uma postura liberal permitiram a entrada de capital privado, o que impulsionou novas tendências e contribuiu significativamente para o fortalecimento do setor (GATTO, 2010).

Entre as diversas fontes energéticas utilizadas no Brasil, a hidráulica ainda se destaca como predominante, registrando um crescimento de aproximadamente 2% a 5% nas últimas duas décadas. No entanto, apesar desse avanço em termos absolutos, sua participação relativa na matriz energética nacional tem diminuído desde o final da década de 1990. Essa mudança se deve, principalmente, ao crescimento expressivo de outras fontes, como a térmica e a eólica, que vêm ganhando espaço e contribuindo para uma diversificação maior da matriz (LAMPIS *et al.*, 2022).

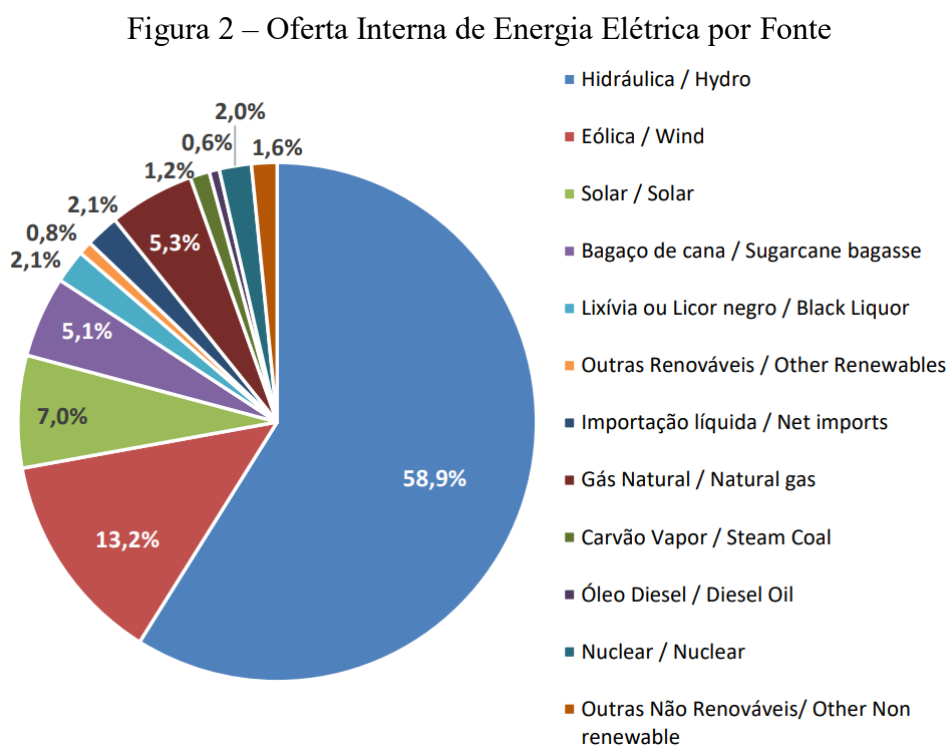
Desde a entrada em vigor da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, em 17 de abril daquele ano, os consumidores brasileiros passaram a ter a possibilidade de produzir sua própria energia elétrica por meio de fontes renováveis ou cogeração qualificada, além de poderem injetar o excedente gerado diretamente na rede de distribuição local. Essa iniciativa marcou um avanço significativo na democratização do acesso à produção de energia e incentivou o surgimento da microgeração e da minigeração distribuída. Essas modalidades representam uma oportunidade concreta de aliar redução de custos na conta de luz, responsabilidade socioambiental e maior autonomia energética (CNI, 2017).

O financiamento de projetos de infraestrutura em países em desenvolvimento ainda enfrenta desafios significativos, especialmente devido ao elevado custo de capital envolvido. Embora os investimentos em energias limpas tenham crescido de forma expressiva nos últimos anos, observa-se que a maior parte desses recursos foi direcionada aos países desenvolvidos. Esse desequilíbrio tem motivado debates relevantes sobre como redirecionar o fluxo de investimentos para nações em desenvolvimento e economias emergentes, que também precisam avançar em suas transições energéticas. Além disso, destaca-se a importância de intensificar os aportes em pesquisa, desenvolvimento e inovação, fundamentais para acelerar a maturação de

novas tecnologias e garantir sua viabilidade comercial em um futuro próximo (MELO; PAULA, 2024).

Segundo a CNI (2017), a geração distribuída tem se consolidado como uma alternativa estratégica no setor elétrico brasileiro, não apenas por sua viabilidade tecnológica e econômica, mas também pelos múltiplos benefícios que oferece ao sistema como um todo. Os incentivos a essa modalidade são justificados pela sua capacidade de contribuir para o adiamento de investimentos em infraestrutura de transmissão e distribuição, o que representa uma economia significativa para o setor. Além disso, sua adoção proporciona impactos ambientais reduzidos, colabora para o alívio no carregamento das redes e minimiza perdas técnicas durante o transporte da energia. Outro aspecto relevante é a contribuição para a diversificação da matriz energética, tornando o sistema mais resiliente, eficiente e alinhado com os princípios de sustentabilidade e inovação.

A Figura 2 demonstra a oferta de energia elétrica brasileira em 2023, conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), considerando todas as fontes disponíveis, renováveis e não renováveis.



Fonte: EPE (2024).

Com o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, as redes de transmissão e, principalmente, de distribuição de energia no Brasil têm enfrentado desafios inéditos,

exigindo maior resiliência frente a condições severas. Esse cenário se soma a outros aspectos da transição energética, que envolvem não apenas oportunidades tecnológicas e ambientais, mas também impactos diretos sobre a tarifa de energia elétrica. Ao considerar o trilema da energia – equidade, sustentabilidade e segurança –, torna-se evidente que equidade vai além do acesso à eletricidade: trata-se também da capacidade de arcar com seu custo, especialmente pelas camadas mais vulneráveis da população. Nesse contexto, um dos maiores desafios para o Brasil e outros países em desenvolvimento é garantir que a transição energética ocorra de maneira justa, socialmente inclusiva e verdadeiramente sustentável (MELO; PAULA, 2024).

2.2 LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO

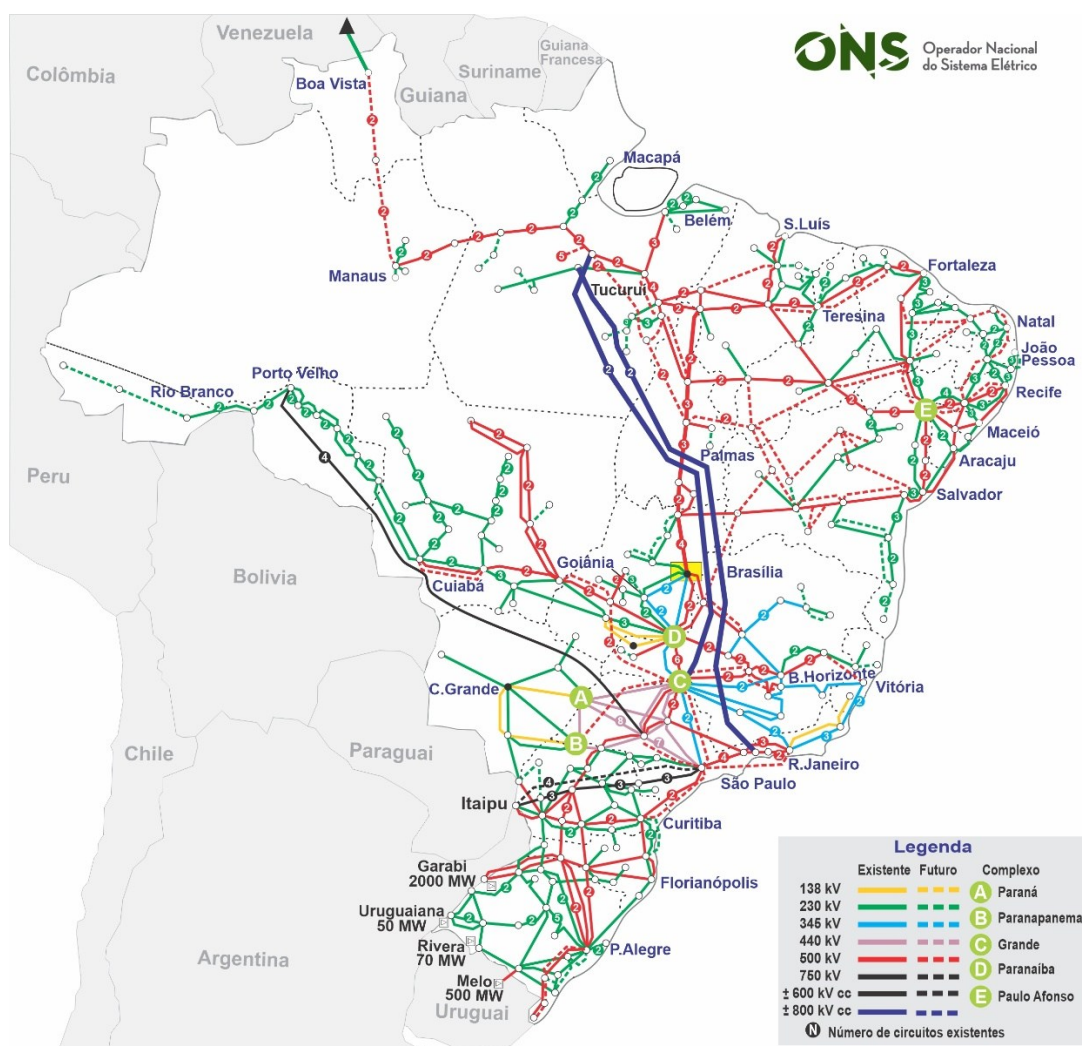
O Sistema Elétrico Brasileiro compreende todas as etapas envolvidas na geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica em território nacional, com o propósito principal de suprir a demanda energética do país. A matriz elétrica brasileira é caracterizada por sua diversidade, com predominância de fontes renováveis — como hidrelétricas, solares, eólicas e biomassa — complementadas por fontes não renováveis, como as termelétricas movidas a gás natural e carvão. A energia gerada nas usinas é transportada por meio de extensas linhas de transmissão até subestações, que realizam a conexão entre as regiões produtoras e as áreas consumidoras. A partir daí, cabe ao sistema de distribuição fazer a entrega da energia elétrica ao consumidor final (CARDOSO, 2024).

O cenário energético nacional evidencia um modelo de desenvolvimento marcado por desigualdades, no qual os interesses econômicos e políticos se sobrepõem aos direitos das populações locais e à preservação ambiental. Essa abordagem, muitas vezes excludente, carece de um planejamento inclusivo que contemple um modelo sustentável, capaz de promover a equidade, garantir a participação efetiva das comunidades e assegurar uma distribuição justa dos benefícios gerados (MOURA *et al.*, 2025). A análise dos programas existentes, aliada à consideração da geografia, dos custos e dos impactos envolvidos, aponta que a universalização do acesso à energia deve ser construída por meio de uma combinação entre soluções centralizadas e descentralizadas. Essas soluções devem ser moldadas de acordo com as características específicas de cada região, sendo a ampliação das redes de transmissão e distribuição do SIN uma alternativa viável para os locais com acessibilidade e custos adequados (MOURA *et al.*, 2025).

A integração entre geração, transmissão e distribuição é conhecida como Sistema Integrado Nacional (SIN), responsável por viabilizar o intercâmbio energético entre os quatro

subsistemas regionais do país: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte. A operação desse sistema é gerenciada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com regulação e fiscalização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A infraestrutura de transmissão do SIN é segmentada conforme a tensão nominal de operação, variando entre 230 kV e 750 kV em corrente alternada, e ± 600 kV e ± 800 kV em corrente contínua. Esse arranjo técnico permite o transporte eficiente da energia por longas distâncias, mantendo a confiabilidade e estabilidade do fornecimento em todo o território nacional (CARDOSO, 2024). A Figura 3 demonstra os circuitos atuais e futuros do SIN.

Figura 3 – Sistema Interligado Nacional



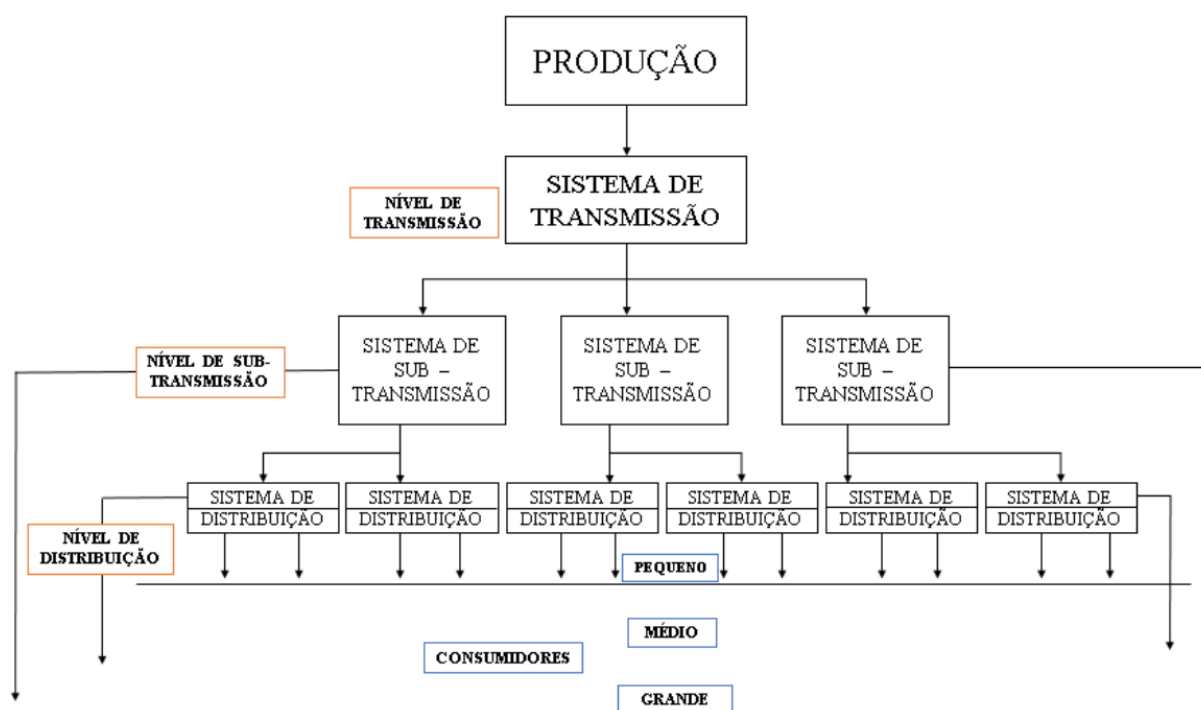
Fonte: ONS (2024).

O sistema de energia elétrica apresenta uma estrutura composta por duas formas principais de organização: vertical e horizontal. A organização vertical é constituída por diferentes etapas do processo energético, iniciando-se na geração da energia, passando pelas

linhas de interligação, redes de transmissão, redes de subtransmissão e, por fim, chegando à rede de distribuição, que entrega a energia ao consumidor final. Já a organização horizontal refere-se à divisão dos níveis do sistema elétrico, os quais se mantêm isolados tanto eletricamente quanto geograficamente de outros subsistemas do mesmo nível. A conexão entre essas camadas ocorre por meio de sistemas de níveis superiores, garantindo a integração e a continuidade do fornecimento de energia em diferentes regiões (MORAIS, 2020).

A Figura 4 ilustra a estrutura básica de um sistema energético interligado.

Figura 4 – Estrutura de um sistema interligado



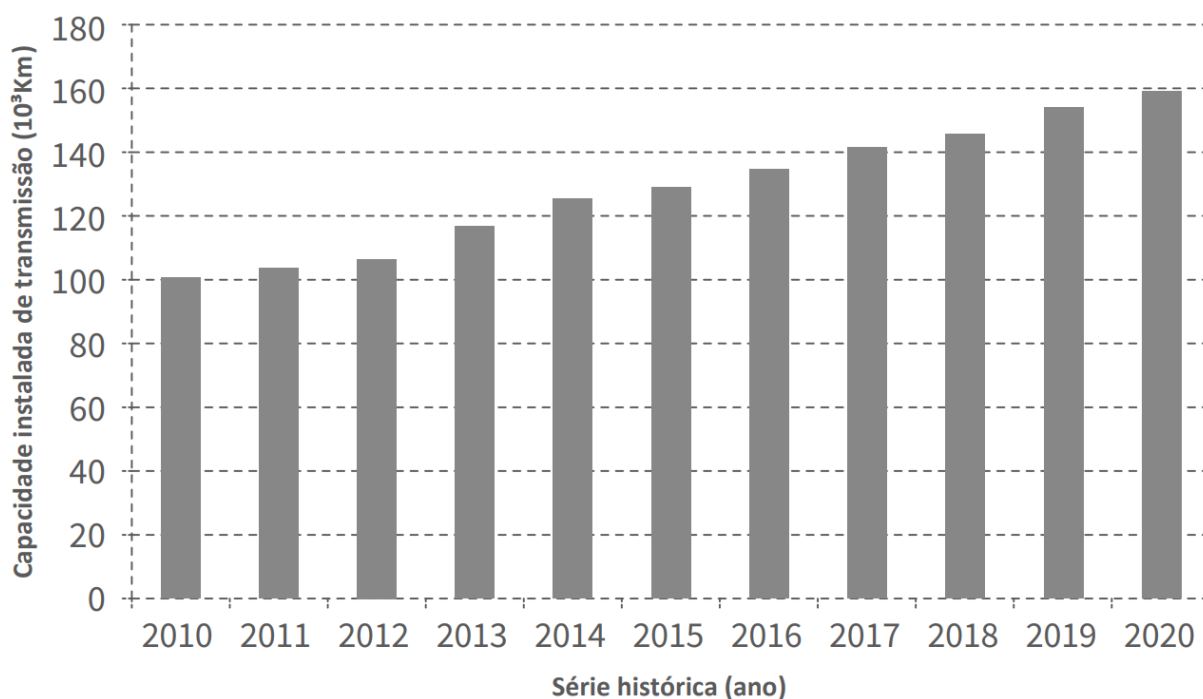
Fonte: Moraes (2020).

Ao longo dos anos, o Brasil tem apresentado um crescimento progressivo na capacidade instalada de transmissão de energia elétrica, refletindo os investimentos contínuos no setor. Em 2020, esse avanço atingiu um marco expressivo, com aproximadamente 160 mil quilômetros de linhas de transmissão em operação. Destacam-se os períodos de maior expansão, como as taxas de crescimento de 9,53% entre 2012 e 2013, 7,60% entre 2013 e 2014 e 6,11% entre 2018 e 2019 (LAMPIS *et al.*, 2022). Embora, nos demais anos, a variação anual tenha se mantido abaixo de 5%, o cenário demonstra uma tendência consistente de ampliação da infraestrutura elétrica, essencial para garantir o fornecimento de energia diante do aumento da demanda em diversas regiões do país (LAMPIS *et al.*, 2022).

Com o crescimento da demanda por energia elétrica no Brasil, tornou-se essencial desenvolver métodos eficientes para transportá-la a todas as regiões do país. Dessa necessidade, surgiram diferentes formas de transmissão: linhas aéreas, subterrâneas e subaquáticas. As linhas aéreas são as mais utilizadas, caracterizadas por condutores nus fixados em estruturas por meio de isoladores. Já as linhas subterrâneas, embora mais discretas e comuns em grandes centros urbanos, exigem um planejamento mais detalhado, pois envolvem cabos isolados instalados em dutos, resultando em altos custos e limitações técnicas significativas (CRUZ, 2022).

A Figura 5 o crescimento da capacidade de transmissão instalada no Brasil em Km por ano. Esse crescimento acompanha a demanda energética vista em dados anteriores.

Figura 5 – Capacidade de transmissão instalada entre 2010 e 2020



Fonte: Lampis *et al.*, (2022).

Atualmente, reconhece-se que o acesso à energia elétrica está diretamente ligado ao desenvolvimento econômico e à melhoria da qualidade de vida da população. Nesse sentido, garantir o fornecimento de eletricidade para o maior número possível de brasileiros tornou-se uma prioridade estratégica. Para alcançar esse objetivo, é necessário investir na redução de perdas no sistema de transmissão, além de assegurar a qualidade da energia e sua capacidade de atingir regiões mais distantes. Essas ações são fundamentais para promover o bem-estar social e sustentar o crescimento econômico de forma equitativa (CRUZ, 2022).

As linhas que integram o sistema de transmissão e distribuição, podem ser classificadas da seguinte forma (MORAIS, 2020):

- Linhas de transmissão: operam com os níveis mais altos de tensão do sistema elétrico, variando entre 230 kV e 1050 kV. São responsáveis por conectar usinas geradoras aos grandes centros consumidores ou interligar diferentes sistemas elétricos independentes;
- Linhas de subtransmissão: utilizam tensões inferiores às das linhas de transmissão, normalmente entre 69 kV e 138kV. Sua principal função é transportar energia em grandes volumes das subestações regionais até as subestações locais de rebaixamento;
- Linhas de distribuição primária (média tensão): funcionam com tensões intermediárias, geralmente entre 23kV e 34,5kV. São instaladas em áreas urbanas e vias públicas, mantendo uma tensão suficiente para garantir a qualidade da energia distribuída;
- Linhas de distribuição secundária (baixa tensão): representam a etapa final da distribuição de energia, operando com as menores tensões do sistema, como 13,8kV ou menos. Possuem extensão limitada, geralmente inferior a 300 metros, e são ajustadas para atender diretamente aos equipamentos e dispositivos dos consumidores finais.

Segundo Lampis *et al.* (2022), as linhas de transmissão com tensão de 230kV e 500kV são as mais utilizadas para o transporte de energia elétrica no Brasil, apresentando um crescimento contínuo em sua extensão ao longo dos anos. Esse avanço permitiu que, juntas, essas linhas ultrapassassem os 28 mil quilômetros distribuídos pelo território nacional. Em contrapartida, as demais classes de voltagem mantiveram uma participação mais estável, com extensões que não superaram os 10 mil quilômetros. Esses dados refletem a predominância das linhas de maior tensão na estrutura do sistema elétrico brasileiro, dada sua eficiência no transporte de energia a longas distâncias.

A integração ao SIN representa uma importante estratégia para a redução de falhas na transmissão de energia elétrica, principalmente por contar com um sistema de compensação de fluxo de potência que não está presente em sistemas isolados. Esses sistemas independentes, por dependerem unicamente da geração, transmissão e distribuição locais, tornam-se mais vulneráveis a interrupções e instabilidades. A interligação, portanto, contribui

significativamente para a confiabilidade e eficiência do fornecimento energético em escala nacional (CARVALHO; QUEZADA, 2021).

As perdas de energia elétrica no sistema brasileiro referem-se à diferença entre a energia gerada e aquela que efetivamente é comercializada, podendo ocorrer tanto por motivos técnicos quanto comerciais. Essas perdas acontecem durante o transporte da energia pela Rede Básica e pelas redes de distribuição, sendo apuradas mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O custo associado a essas perdas é dividido igualmente entre os agentes geradores e os consumidores, conforme definido anualmente pelos processos tarifários da ANEEL. Entre 2011 e 2014, as perdas mantiveram-se relativamente estáveis, variando entre 26 e 28 GW. No entanto, a partir de 2014 observou-se um aumento gradual, atingindo 34 GW em 2019 (LAMPIS *et al.*, 2022).

A utilização de tensões mais baixas na transmissão de energia elétrica acarreta diversos problemas, como perdas significativas nos condutores, dificuldades no controle da tensão e aumento nos custos de infraestrutura. Para mitigar esses efeitos indesejáveis, é necessário elevar a tensão a patamares mais altos, o que melhora a eficiência do sistema. No entanto, esse aumento não pode ser feito de forma ilimitada, já que níveis muito elevados exigem investimentos expressivos em isolamento e em estruturas de suporte das linhas, especialmente para garantir a segurança e a distância adequada do solo. Dessa forma, a escolha da tensão de transmissão deve ser cuidadosamente definida conforme a quantidade de energia que se pretende transportar (BRAGA, 2022).

Os principais indicadores utilizados para medir a continuidade do fornecimento de energia elétrica são o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). O DEC, expresso em horas, indica quanto tempo, em média, uma unidade consumidora ficou sem energia em determinado período, enquanto o FEC, expresso em número de interrupções, mostra a quantidade média de vezes que o fornecimento foi interrompido. Esses dados, apurados pelas distribuidoras e encaminhados regularmente à ANEEL, permitem avaliar a qualidade e a continuidade do serviço prestado à população, servindo como referência para a regulação e o aprimoramento do setor elétrico (LAMPIS *et al.*, 2022).

Para garantir o transporte eficiente da energia gerada, utilizam-se transformadores que elevam a tensão elétrica logo na saída das usinas. Esses equipamentos são instalados em áreas especialmente preparadas, dotadas de sistemas de proteção e controle, denominadas subestações de geração. Ao final do percurso, antes de a energia ser redistribuída para os consumidores, a tensão precisa ser novamente reduzida para níveis apropriados à rede de

distribuição. Esse processo é essencial para assegurar a segurança e o bom funcionamento do sistema elétrico como um todo (BRAGA, 2022).

A Figura 6 ilustra o processo de elevação e redução da tensão no sistema de transmissão.

Figura 6 – Sistema elétrico de potência



Fonte: Moraes (2020).

Embora o SIN apresente vantagens estruturais, ele também está sujeito a limitações operacionais, especialmente quando enfrenta sobrecargas ao tentar compensar falhas em outras partes da rede. Essas situações podem comprometer seu desempenho global, evidenciando a necessidade de constante dinamização e aprimoramento do sistema. Assim, torna-se essencial investir em tecnologias e estratégias que reforcem sua resiliência e capacidade de resposta diante de imprevistos (CARVALHO; QUEZADA, 2021).

A confiabilidade e a continuidade do fornecimento de energia dependem diretamente do bom estado desses componentes, o que reforça a importância da manutenção preventiva e corretiva no setor elétrico. Assim, no próximo tópico, serão abordadas as práticas e técnicas de

manutenção aplicadas às redes elétricas, destacando sua relevância para a eficiência e segurança do sistema.

2.3 MANUTENÇÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS

O termo manutenção é compreendido como o conjunto de ações técnicas, administrativas e de supervisão que têm como objetivo garantir que um equipamento ou sistema permaneça em condições adequadas de funcionamento. Esse processo também envolve a restauração de componentes que apresentem falhas ou desgastes, de forma que o aparato retorne ao seu estado original de operação, assegurando o cumprimento das funções para as quais foi projetado (SILVA *et al.*, 2023).

No contexto organizacional, especialmente em ambientes industriais como o chão de fábrica, a manutenção assume um papel estratégico na preservação da integridade operacional. Ela não se restringe apenas a equipamentos isolados, mas envolve também diferentes áreas da instalação, atuando de forma preventiva para evitar falhas potenciais. Essa prática desempenha função essencial na proteção dos colaboradores, uma vez que defeitos ou avarias em sistemas críticos podem resultar em acidentes graves ou até mesmo em desastres. Dessa forma, a manutenção se consolida não apenas como um fator de eficiência produtiva, mas também como um dos pilares da segurança do trabalho, garantindo condições adequadas para a continuidade das operações (PEREIRA, 2025).

Tradicionalmente, as atividades de manutenção são classificadas em duas categorias principais: corretiva e preventiva. A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha no equipamento, com o intuito de identificar e eliminar as causas do problema, restaurando o funcionamento adequado do sistema. Já a manutenção preventiva é executada de forma programada, antes que qualquer falha ocorra, com o objetivo de preservar as condições ideais de operação e evitar interrupções inesperadas. Embora distintas, essas modalidades podem atuar de forma complementar, uma vez que ações preventivas podem detectar falhas potenciais que exigem intervenções corretivas. Com o avanço das tecnologias, surgiu também a manutenção preditiva, considerada uma evolução da preventiva (PASSOS JÚNIOR, 2016).

O controle da manutenção dentro das empresas é fortemente baseado na gestão de indicadores de desempenho, os quais fornecem informações essenciais para a tomada de decisões estratégicas. Esses indicadores permitem acompanhar a eficácia das ações realizadas e servem de subsídio para a elaboração do Plano de Manutenção Preventiva (PMP), que organiza de forma sistemática as intervenções necessárias. A utilização de dados confiáveis

possibilita otimizar recursos, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional, além de favorecer a previsibilidade de falhas e a melhoria contínua dos processos. Assim, a manutenção deixa de ser apenas uma atividade corretiva e passa a atuar como ferramenta de gestão integrada, alinhada aos objetivos organizacionais (PEREIRA, 2025).

A manutenção também pode assumir um caráter preventivo, fundamentada em técnicas de monitoramento e acompanhamento do ativo físico e de seus componentes. Por meio de medições, ensaios não destrutivos e métodos estatísticos de controle, busca-se prever a ocorrência de falhas e identificar defeitos em estágio inicial. Essa abordagem tem como finalidade determinar o momento mais adequado para a intervenção, evitando paradas inesperadas e garantindo maior confiabilidade e vida útil ao equipamento. Além disso, contribui para a redução de custos com reparos emergenciais e promove maior segurança operacional, uma vez que antecipa riscos potenciais que poderiam comprometer tanto a integridade do sistema quanto a continuidade do processo produtivo (SILVA *et al.*, 2023).

Segundo Silva (2025), à medida que os sistemas produtivos se tornam mais sofisticados e interdependentes, falhas que antes tinham impacto restrito podem agora comprometer toda a cadeia operacional. Nesse cenário, a manutenção assume papel estratégico, pois garante não apenas a disponibilidade e confiabilidade dos ativos, mas também a continuidade dos processos automatizados. Além disso, contribui diretamente para a competitividade das organizações, uma vez que operações mais seguras, estáveis e eficientes refletem em maior qualidade nos produtos e serviços oferecidos ao mercado.

A NBR 5462 (BRASIL, 1994) define a confiabilidade como a capacidade um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Ou seja, trata-se da probabilidade de um sistema, componente ou equipamento funcionar sem falhas dentro de um período determinado e em condições operacionais previamente estabelecidas. Essa definição é fundamental no contexto da engenharia, pois a confiabilidade está diretamente relacionada à segurança, à eficiência operacional e à redução de custos com manutenção corretiva e paradas não programadas. Dessa forma, o estudo da confiabilidade torna-se essencial no processo de projeto, operação e manutenção de sistemas, especialmente em áreas industriais onde a continuidade e a previsibilidade do funcionamento são essenciais.

A aplicação das diferentes estratégias de manutenção — preditiva, preventiva ou corretiva — está diretamente condicionada ao tipo de equipamento analisado e à criticidade de sua função dentro do sistema elétrico. Cada técnica deve ser escolhida de acordo com as características operacionais e o estado em que se encontra o componente em questão. A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2021), estabelece a Resolução

Normativa nº 853, publicada no Diário Oficial da União em agosto de 2019, que os ativos que compõem o sistema elétrico de energia devem ser avaliados por métodos específicos e em intervalos definidos, considerando suas particularidades técnicas. Essa padronização visa garantir maior confiabilidade e eficiência nas ações de manutenção, contribuindo para a continuidade dos serviços e a segurança das instalações (ANP, 2021). A Tabela 1 apresenta, de forma resumida, o que a norma estabelece.

Tabela 1 – Atividades preventivas em equipamentos de transmissão elétrica

Equipamento	Atividades	Periodicidade
Subestações	Inspeções termográficas nos equipamentos e em suas conexões	Mínimo a cada 6 meses
	Ensaio do óleo isolante dos equipamentos	Item do equipamento
Transformadores de potência ou autotransformadores	Análise de gases dissolvidos no óleo isolante	Máximo a cada 6 meses
	Ensaio físico-químico do óleo isolante	Máximo a cada 24 meses
	Manutenção preventiva periódica	Máximo a cada 72 meses
Reatores de potência	Análise de gases dissolvidos no óleo isolante	Máximo a cada 6 meses
	Ensaio físico-químico do óleo isolante	Máximo a cada 24 meses
	Manutenção preventiva periódica	Máximo a cada 72 meses
Bancos de capacitores em paralelos e filtros	Manutenção preventiva do banco em paralelo	Mínimo a cada 3 anos
	Manutenção preventiva dos filtros	Mínimo a cada 4 anos
Disjuntores e chaves de alta velocidade	Manutenção preventiva periódica de disjuntores e chaves de alta velocidade	Mínimo a cada 72 meses
Chaves seccionadoras	Manutenção preventiva periódica	Mínimo a cada 72 meses
Transformadores para instrumento	Manutenção preventiva periódica	Mínimo a cada 72 meses
Para raio	Manutenção preventiva periódica	Mínimo a cada 72 meses
Medidores de tensão e corrente	Manutenção preventiva periódica	Mínimo a cada 72 meses
Linhas de transmissão	Inspeção de rotina	Mínimo a cada 12 meses

Fonte: ANP (2021).

As inspeções realizadas nos sistemas elétricos têm como finalidade principal a identificação de falhas potenciais e anomalias que possam comprometer a continuidade do fornecimento de energia. Quando não tratadas de forma preventiva, essas irregularidades podem evoluir para defeitos mais graves, ocasionando interrupções indesejadas no serviço. O

trabalho do inspetor, nesse contexto, é essencial: ele atua diretamente na avaliação das condições dos equipamentos, verificando seu desempenho e integridade. Caso detecte sinais de desgaste ou comprometimento funcional, pode recomendar a substituição do equipamento antes que ocorra uma falha crítica, assegurando, assim, a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico (MORAIS, 2019).

Segundo Passos Júnior (2016), a manutenção preventiva é uma prática fundamental para garantir a continuidade e a eficiência dos sistemas, e pode ser classificada em diferentes modalidades conforme o critério adotado para sua execução:

- Manutenção preditiva: utiliza monitoramentos e análises periódicas para prever falhas com base em dados históricos e condições operacionais dos equipamentos. Mesmo que a máquina esteja funcionando normalmente, intervenções são realizadas de forma estratégica para evitar possíveis falhas futuras;
- Manutenção preventiva condicional: é aplicada quando são detectadas alterações no desempenho do equipamento. Nesse caso, não há uma periodicidade fixa; as ações são realizadas conforme a necessidade identificada por meio de inspeções e indicadores operacionais;
- Manutenção preventiva programada: segue um cronograma fixo, com inspeções e reparos executados em intervalos previamente definidos, independentemente do estado atual do equipamento, visando a redução de falhas inesperadas.

A manutenção pode ser classificada em diferentes tipos, de acordo com sua natureza e objetivos. As principais modalidades incluem a manutenção corretiva, que ocorre após a falha do equipamento; a preventiva, realizada com base em intervalos de tempo ou uso para evitar falhas; a preditiva, que utiliza monitoramento de condições para prever falhas iminentes; e a manutenção detectiva, voltada à identificação de falhas ocultas, geralmente em sistemas de segurança. A escolha e combinação adequada desses tipos de manutenção depende das características dos ativos, dos recursos disponíveis e do nível de criticidade dos processos produtivos, sendo essencial para garantir a continuidade operacional, a segurança e a redução de custos ao longo do tempo (VIANA, 2020).

Outra definição importante é a de manutenibilidade, que se refere à probabilidade de que uma ação de manutenção corretiva ou preventiva em um item, sob condições específicas de uso, possa ser realizada dentro de um intervalo de tempo determinado. Essa ação deve ocorrer utilizando os procedimentos e recursos previamente estabelecidos. Em outras palavras, está relacionada à facilidade e à rapidez com que um equipamento ou sistema pode ser restaurado à

sua condição operacional após a ocorrência de uma falha. Assim como a confiabilidade, a manutenibilidade é um fator essencial no planejamento e na gestão de ativos, influenciando diretamente a disponibilidade e a eficiência de sistemas industriais (BRASIL, 1994).

Para que a gestão da manutenção seja eficaz, é fundamental o uso de indicadores de desempenho que permitam acompanhar, avaliar e melhorar continuamente os processos de manutenção. Entre os principais indicadores estão o Mean Time Between Failures (MTBF), que mede o tempo médio entre falhas e reflete a confiabilidade dos equipamentos, e o Mean Time to Repair (MTTR), que calcula o tempo médio necessário para reparo, associado à manutenibilidade. Além desses, podem ser utilizados indicadores como a disponibilidade dos ativos, o custo de manutenção por unidade produzida e o índice de manutenção planejada versus corretiva. A análise desses dados fornece subsídios importantes para a tomada de decisão, otimização de recursos e aumento da eficiência operacional (VIANA, 2020).

Durante a realização de testes em equipamentos do sistema elétrico, é fundamental que os resultados obtidos sejam comparados com os valores de referência fornecidos pelo fabricante. Essa comparação permite verificar se o desempenho do equipamento está dentro dos padrões aceitáveis e seguros para operação. Além disso, é imprescindível seguir rigorosamente as recomendações do fabricante, tanto no que diz respeito aos procedimentos de verificação quanto à periodicidade das manutenções. Essas orientações técnicas garantem maior precisão nas avaliações, prolongam a vida útil dos componentes e evitam falhas inesperadas no sistema (PASSOS JÚNIOR, 2016).

3 METODOLOGIA

A partir da definição do tipo de pesquisa, passou-se à aplicação prática dos métodos adotados, considerando o contexto real de uma empresa do setor de engenharia elétrica. O estudo de caso foi desenvolvido com base na vivência do autor dentro da organização, possibilitando uma análise mais aprofundada de suas rotinas de manutenção. A seguir, apresenta-se uma breve descrição da empresa analisada, preservando-se sua identidade conforme recomendações acadêmicas.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois busca a aplicação prática do conhecimento teórico para a solução de um problema real no ambiente industrial. Trata-se ainda de uma pesquisa qualitativa, na medida em que visa compreender os processos de manutenção preventiva a partir da análise de conteúdo e da vivência prática do autor na empresa estudada. A abordagem também se configura como exploratória e descritiva. É exploratória por investigar um tema com base em referenciais teóricos diversos e na observação direta dos procedimentos da empresa, e descritiva por apresentar as características e práticas de manutenção adotadas, bem como propor melhorias com base na literatura e na prática observada.

3.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O estudo ocorre com os dados de uma empresa privada de médio porte do setor de engenharia elétrica, especializada em montagens eletromecânicas e prestação de serviços de manutenção industrial em equipamentos elétricos de média e alta tensão. Com atuação em diversos estados do Brasil, a empresa é referência em soluções técnicas voltadas para sistemas elétricos industriais, operando principalmente no setor energético.

A unidade observada conta com um corpo técnico altamente qualificado, e sua infraestrutura inclui oficinas especializadas, laboratório de ensaios elétricos e equipamentos de última geração para diagnóstico e manutenção. A empresa atende clientes de grande porte e possui contratos contínuos com concessionárias de energia e indústrias de base. A atuação do autor dentro da organização proporcionou uma visão aprofundada dos procedimentos internos e das necessidades específicas relacionadas à manutenção preventiva de equipamentos críticos.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A coleta de dados para a elaboração deste trabalho foi realizada por meio de duas abordagens principais: a pesquisa bibliográfica e a observação direta no ambiente empresarial.

A pesquisa bibliográfica teve como objetivo reunir os principais conceitos, diretrizes e práticas recomendadas sobre manutenção preventiva no contexto industrial. Para isso, foram utilizados artigos científicos, livros técnicos, dissertações e normas técnicas, com o intuito de embasar teoricamente a proposta do checklist. As fontes de pesquisa incluíram plataformas renomadas como:

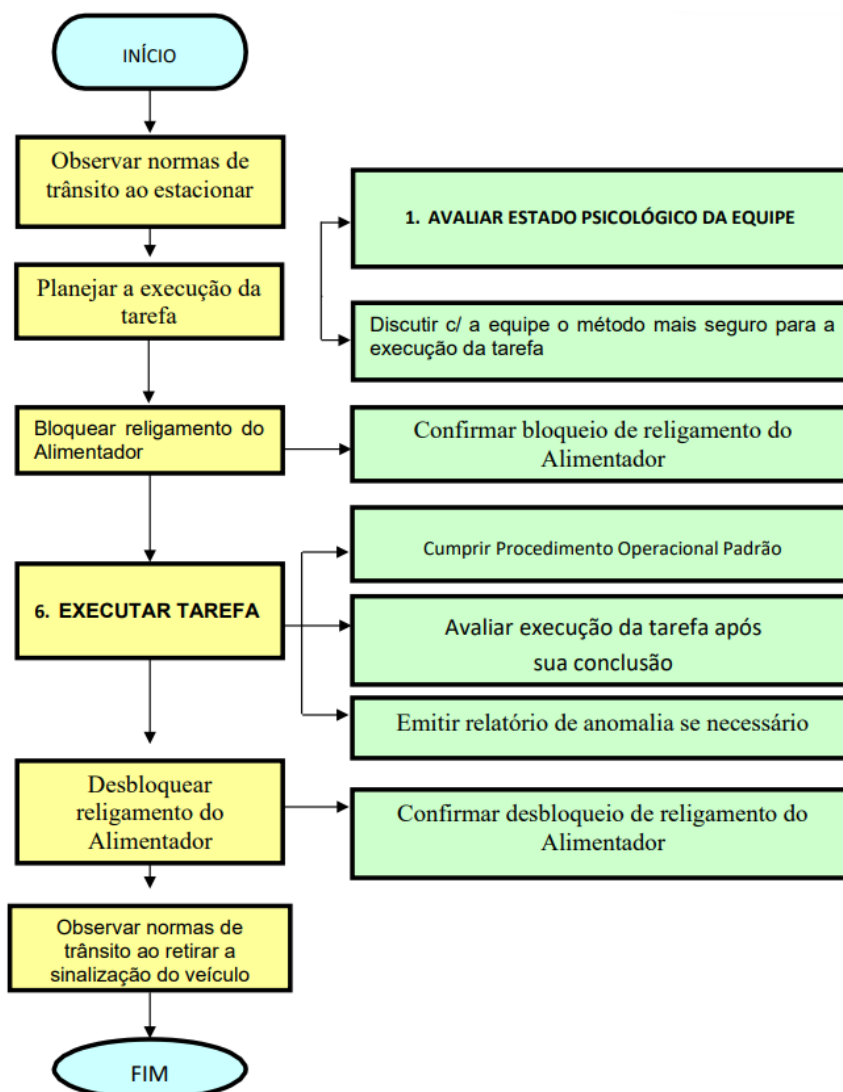
- Google Acadêmico;
- SciELO (Scientific Electronic Library Online);
- Portal de Periódicos da CAPES;
- ResearchGate;
- IEEE Xplore Digital Library.

Esses repositórios permitiram o acesso a materiais atualizados e de relevância científica, que contribuíram para a consolidação da fundamentação teórica e para a construção dos critérios do *checklist* proposto.

A observação direta, por sua vez, foi realizada a partir da experiência prática do autor como estagiário na empresa em questão. Durante o período de atuação, foi possível acompanhar rotinas de manutenção, identificar lacunas nos procedimentos existentes e registrar oportunidades de padronização e melhoria. Essa vivência foi essencial para alinhar a teoria à realidade operacional da empresa, possibilitando a elaboração de um *checklist* funcional, adaptado à rotina e aos equipamentos específicos da organização.

O procedimento metodológico adotado consistiu na elaboração e aplicação de um *checklist* de manutenção para atividades de linha viva desenergizada, conforme os procedimentos operacionais padrões da empresa. A proposta visou padronizar etapas, reduzir falhas operacionais, aumentar a segurança dos colaboradores e garantir maior eficiência nas manutenções preventivas e corretivas. A Figura 7 retrata o macrofluxo genérico das possíveis atividades.

Figura 7 – Macrofluxo das atividades de manutenção



Fonte: Imagem autoral.

O procedimento descrito atua como uma diretriz geral para orientar a execução de atividades em linhas energizadas, estabelecendo critérios, técnicas e requisitos mínimos de segurança. Embora não cubra todas as situações possíveis, seu intuito é fornecer um referencial técnico que contribua para a padronização e segurança das operações.

A elaboração do *checklist* baseou-se no Manual Operacional, fornecido pela empresa, que detalha a execução da manutenção em linha viva desenergizada. Para garantir uma ferramenta prática e funcional, o *checklist* foi segmentado em quatro categorias principais:

- Preparação da atividade;
- Verificação de equipamentos;
- Execução da manutenção;
- Finalização e registro.

Durante a análise do procedimento, foram identificadas 92 atividades distintas que compõem as rotinas de manutenção em linha viva desenergizada. Essas atividades abrangem desde a preparação do ambiente até a finalização do serviço, incluindo verificações de segurança, manuseio de ferramentas específicas, uso de EPIs e preenchimento de documentos obrigatórios.

3.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa limita-se à análise e proposta de um *checklist* para manutenção preventiva de equipamentos elétricos em uma única unidade operacional da empresa. Embora a metodologia adotada possa ser adaptada a outros contextos, os dados e conclusões aqui apresentados referem-se exclusivamente ao ambiente estudado e à experiência prática do autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos, ou seja, a proposta de checklist para manutenção das linhas e, conseqüentemente, sua aplicação em dois serviços. A Tabela 2 demonstra as atividades mais frequentes na manutenção de linha viva.

Tabela 2 – Atividades de manutenção em linhas vivas

Item	Atividade	Item	Atividade
1	Procedimentos anteriores e posteriores à execução da tarefa	47	Retirada de ninho de pássaro em circuitos de 69kV, 138kV e 230 kV
2	Conservação e limpeza de bastões isolantes	48	Retirada de pipa em circuito de 34,5 kV
3	Conservação e limpeza de cordas de segurança	49	Retirada de pipa em circuito de 15 kV
4	Inspeção de ferramentas	50	Retirada de pipa em circuitos de 69kV, 138kV, 230 kV
5	Resgate em altura	51	Substituição de barramento (cabo) em circuito de 15 kV
6	Estaiamento de escadas para realização de atividade em linha viva em SE e LT	52	Substituição de barramento (cabo) em circuito de 69kV, 138kV e 230 kV energizado
7	Escalada em estrutura metálica	53	Substituição de barramento (cabo) em circuito de 34,5 kV
8	Escalada em poste	54	Substituição de isoladores de disco em ancoragem de 69kV, 138kV e 230 kV a distância e ao potencial
9	Inspeção visual e rigorosa em Subestação energizada	55	Substituição de isoladores de disco em ancoragem de 69kV, 138kV e 230 kV
10	Inspeção visual e rigorosa em torre ou poste de linhas de transmissão	56	Substituição de isoladores de suspensão de 69kV, 138kV e 230 kV a distância ou ao potencial
11	Poda de árvore	57	Substituição de isoladores de ancoragem 69kV, 138kV e 230 kV ao potencial
12	Abertura de jumper a distância com rede energizada 69kV, 138kV e 230 kV	58	Substituição de isoladores de suspensão de 69kV, 138kV e 230 kV em linha desenergizada
13	Abertura de jumper com rede energizada ao potencial 69kV, 138kV e 230 kV	59	Substituição de cruzetas em circuitos de 34,5 kV
14	Desconectar e conectar conjuntos de medição em circuito de 34.5 kV	60	Substituição de cruzetas em circuitos de 15 kV
15	Desconectar e conectar TC's em circuito de 69kV, 138kV e 230 kV usando o disjuntor como manobra ou ch. Especial para manobra	61	Substituição de cruzetas em circuitos de 15 kV a 34,5 kV desenergizado
16	Desconectar e conectar TP's em circuito de 15 kV usando chave a óleo	62	Instalação e substituição de cabo para-raios sobre circuitos de 15 kV
17	Desconectar e conectar TP's em circuito de 69kV, 138kV e 230 kV com auxílio de ch. especial de manobra ou disjuntor	63	Instalação e substituição de cabo para-raios sobre circuitos de 34.5 kV
18	Desconectar e conectar TP's em circuito de 34.5 kV	64	Instalação e substituição de cabo para-raios sobre circuitos de 69kV, 138kV e 230 kV
19	Fechamento de barramento desenergizado em circuito de 69kV, 138kV, 230 kV	65	Instalação e substituição de para-raios de polipropileno em circuito de 15 kV energizado
20	Encabeçar barramento de 69kV, 138kV e 230 kV, Lado Energizado e Lado Desenergizado	66	Substituição de isolador de 15 kV

Item	Atividade	Item	Atividade
21	Fechamento de jumper com rede energizada ao potencial ou a distância 69kV, 138kV e 230 kV	67	Substituição de isolador de 34,5 kV
22	Substituição de chave seccionadora de regulador de tensão de 15 kV	68	Substituição de jumper do neutro de alimentador em circuito de 15 kV
23	Interligar chave seccionadora tripolar a distância de 69kV,138kV e 230 kV	69	Manutenção e limpeza em cubículo de 15 kV energizado
24	Regulagem geral em chaves seccionadoras em circuito de 69kV,138kV e 230 kV	70	Substituição de poste em circuitos de 15 kV
25	Regulagem geral em chaves seccionadoras circuito de 34.5 kV	71	Substituição de poste em circuitos de 34,5 kV
26	Regulagem geral em chaves seccionadoras circuito de 15 kV	72	Substituição de poste em circuitos de 69kV, 138kV e 230 kV
27	Substituição de chave seccionadora de regulador de tensão de 34.5 kV	73	Substituição de condutores de 69kV, 138kV e 230 kV em estrutura de concreto com circuito energizado
28	Substituição de condutores em bandejamento com circuito energizado	74	Substituição, limpeza e aplicação de silicone em cadeias de isoladores de suspensão 69kV, 138kV e 230 kV a distância
29	Abertura e fechamento de barramento a distância com linha energizada de 69kV,138kV e 230 kV	75	Instalação de emenda pré-formada ou de compressão em meio de vão com rede desenergizada 69kV, 138kV e 230 kV
30	Retirada de ponto quente e substituição de parafusos em linha desenergizada 69kV,138kV e 230 kV	76	Substituição de tubo em estrutura metálica especial tipo 'V' com circuito energizado de 69kV kV (LT-Lapa/Boquira)
31	Retirada de ponto quente e substituição de parafusos em linha energizada de 69kV, 138kV e 230kV	77	Substituição de poste em estrutura HS e H com circuito energizado de 69kV,138kV e 230 kV
32	Instalar ou retirar cabo/tubo de interligação de chave/barra ao potencial em circuito de 69kV,138kV e 230 kV	78	Substituição de Mísula em torre de estrutura metálica em ancoragem
33	Substituição cabo de proteção de equipamentos energizados de 69kV,138kV e 230 kV	79	Substituição de postes Estrutura 3AM em circuito Energizado de 69kV, 138kV e 230 kV
34	Instalação de cabo-Muflas no circuito de 15 kV	80	Substituição de poste de madeira em estrutura H/S com circuito energizado de 69kV, 138kV e 230 kV
35	Instalação de cabo-Muflas no circuito de 34.5 kV	81	Substituição de isolador de suspensão em circuito de 230 kV
36	Instalação de esferas de sinalização diurna em linhas de transmissão de 69kV,138kV,230kV	82	Instalar ou retirar para-raios em circuitos energizados de 69kV,138kV e 230 kV ao potencial/distância
37	Instalar ou retirar jumper by-pass em circuito de 15 kV	83	Substituição de grampo armado de ancoragem 69kV,138kV e 230 kV ao potencial
38	Instalar ou retirar jumper by-pass em circuitos de 69kV,138kV e 230 kV	84	Substituição de parafusos de sustenta da cruzeta tipo CAR e canadense com circuito energizado
39	Instalar ou retirar jumper by-pass em circuitos de 34.5 kV	85	Substituição cabo de aterramento em estruturas de concreto com o circuito energizados em 69kV,138kV e 230 kV
40	Instalação de placas de identificação em circuito de 15 kV	86	Substituição / manutenção de chave e cartucho fusível com circuito energizado em circuito de 69kV, 138kV e 230 kV
41	Instalação de Placas de Identificação em Circuitos de 34,5 kV	87	Instalação de emenda pré-formada e ponte de safena em condutor energizado em meio de vão em 69kV,138kV e 230 kV
42	Substituição de Isoladores de Disco em Ancoragem de 15 kV	88	Retirada, instalação e manutenção de conexões e emendas ao contato até 34,5 kV
43	Substituição de Isoladores de Disco em Ancoragem de 34,5 kV	89	Atendimento de emergência em linhas de transmissão e subestações Desenergizada de 13.8kV a 230 kV

Item	Atividade	Item	Atividade
44	Limpeza de isolador de 15 kV	90	Substituição de grampo armado de suspensão de 69kV, 138kV e 230 ao potencial.
45	Limpeza de isoladores pedestais de ch. Seccionadoras ou barramento de 69kV, 138kV, 230kV ao potencial	91	Procedimento de Lavagem de Cordas de Linha Viva
46	Limpeza de isoladores pedestais de ch. Seccionadoras ou barramento de 34,5 kV	92	Aterramento Temporário – Linha de Transmissão e Subestação

Fonte: Tabela autoral.

Partindo da lista de atividades, foi desenvolvido o modelo do *checklist*. A Tabela 3 apresenta a ferramenta desenvolvida.

Tabela 3 – Modelo do *checklist* de Manutenção em Linha Viva Desenergizada

Etapas	Item Verificado	Conformidade (✓ / ✗)	Observações
Preparação da atividade	Reunião de pré-serviço realizada		
	Documentos de APR e PT emitidos		
	Condições meteorológicas favoráveis		
Verificação de equipamentos	Ferramentas isoladas inspecionadas		
	EPIs em conformidade e utilizados corretamente		
Execução da manutenção	Procedimento operacional pré-estabelecido		
	Comunicação eficiente entre a equipe		
Finalização e registro	Local limpo e seguro após serviço		
	Checklist assinado pelo responsável		

Fonte: Tabela autoral.

Como parte da proposta metodológica deste trabalho, foram selecionadas duas dessas atividades de forma aleatória para exemplificar a aplicação prática do *checklist* desenvolvido. A escolha aleatória visa demonstrar a versatilidade da ferramenta em diferentes etapas do processo, evidenciando sua aplicabilidade e importância como instrumento de padronização e controle operacional.

O *checklist* foi aplicado em 2 atividades de manutenção ao longo de um período de 2 semanas. Os resultados apontaram melhoria significativa na organização das tarefas e redução de falhas operacionais. As seguintes observações foram registradas:

- Redução de esquecimentos de itens de segurança, como verificação de EPIs, em 70% das atividades;
- Melhoria na comunicação interna, especialmente na fase de execução;

- Aumento da conformidade com o procedimento padrão da empresa, conforme verificado em auditorias internas.

As Tabelas 4 e 5 demonstram, respectivamente, o *checklist* das atividades Fechamento de Barramento Desenergizado em circuito de 69 kV, 138 kV, 230 kV (19) e Substituição de Cruzetas em Circuitos de 34,5 kV (59).

Tabela 4 – Checklist aplicado a atividade de fechamento de barramento desenergizado em circuito de 69 kV, 138 kV, 230 kV (atividade 19)

	Responsável			ENCARREGADO DE TURMA DE LINHA VIVA		
	Tempo			04 h	Nº. De Executantes	05
	Local da Execução			SUBESTAÇÕES – CIRCUITOS 69kV, 138kV e 23k0V		
RECURSOS NECESSÁRIOS				CUIDADOS ESPECIAIS		
ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE	UND.	ITEM	DESCRIÇÃO	
01	Caminhão com cesto aéreo ou escada	01	Cj	01	Verificar se bloqueio do circuito mais próximo foi efetuado. (ATLV)	
02	Corda de serviço	10	Pç			
03	Caixa de ferramenta	01	Cj	02	Ficar atento quanto a barramentos energizados próximo ao cabo a ser encabeçado.	
04	Carretilha de serviço	02	Pç			
05	Cinto de segurança talabarte	03	Cj			
06	Catraca de corrente 1500 ou 3000 kg	01	Pç			
07	Estropo de aço 2m	02	Pç	03	Inspeccionar EPI’s e EPC’s adequados às tarefas.	
08	Esticador de cabo “garra”	01	Pç			
09	EPI’s	05	Cj	04	Inspeccionar cesto aéreo quanto a trincas, correntes e sistema hidráulico.	
10	EPC’s	01	Cj			
11	Detector de tensão	01	Pç			
12	Conjunto de aterramento	02	Cj	05	Efetuar Análise Preliminar de Riscos (APR) e Diálogo de Segurança (DDS).	
13	Vara de manobra	01	Cj	06	Trajar vestimenta retardante a chama	
Resultados Esperados		BARRAMENTO ENERGIZADO				
Passo	O que fazer			Desvios		Ações de regularização
01	Deslocar para o local onde será executada a tarefa.			Risco de colisão ou abalroamento.		Cumprir normas de trânsito procurando sempre o deslocamento mais seguro.
02	Estacionar veículo.			Risco de abalroamento.		Ao parar veículo deixar lâmpadas de alerta ligada se calçar o mesmo.
03	Solicitar o bloqueio do circuito a ser trabalhado através da Autorização de Trabalho em Linha Viva (ATLV) e abrir a Permissão de Trabalho (PT) junto ao Centro de Operações.			Falha na comunicação.		Aguardar o restabelecimento da comunicação com o Centro de Operações.

04	Observar e sinalizar o local de trabalho.	Queda no mesmo nível ou tropeço. Animais peçonhentos.	Utilizar os EPI's adequados. Observar trajeto. Sinalizar o local atividades.
05	Fazer Análise Preliminar de Riscos (APR)e Diálogo de Segurança (DDS).	Falta de integrante.	Solicitar a presença de todos.
06	Observar as condições climáticas.	Trabalhar sob chuva ou URA superior a 75 %.	Utilizar o aparelho termo-higrômetro. URA deverá ser menor ou igual a 75%.
07	Acomodar os equipamentos na lona para inspeção visual e limpeza.	Dano material	Acomodar os equipamentos de maneira adequada.
08	Posicionar caminhão com cesto aéreo, apoiando as sapatas dele ao solo. Se usar escada, amarrar no meio e no topo.	Falta de apoio para sapata. Falta de apoio ao levantar a escada.	Colocar cepo de madeira como apoio para sapata do caminhão. Somente levantar a escada na vertical e sempre com mais de 03 pessoas.
09	Escalar a escada usando os EPI's adequados para as atividades ou com o auxílio do cesto aéreo, chegar até o barramento e executar o teste de ausência de tensão. Aterrar o circuito, liberando-o para as atividades.	Choque elétrico	Entrar em contato com o condutor antes de executar o aterramento.
10	Iniciar a execução da tarefa.	Defeito no equipamento de segurança.	Inspecionar todos os equipamentos regulamente, conforme instruções do fabricante.
11	Após posicionar-se adequadamente para execução da tarefa, içar o cabo com auxílio da carretilha.	Queda do cabo ao solo.	Assegurar que a carretilha se encontra em local fixo e bem travado e cabo preso à mesma.
12	Encabeçar barramento.	Curto-circuito	Ao encabeçar o cabo, tomar devido cuidado com a sua sobra, no lado do circuito que esteja energizado. Cortar o cabo no solo, deixando uma sobra pequena.
13	Tracionar e nivelar o barramento	Rompimento do barramento.	Tracionar e nivelar de acordo a especificação do fabricante.
14	Após tracionar e nivelar os cabos, retirar caminhão com cesto aéreo, liberando o circuito.	Toque acidental em outros equipamentos.	Manter sempre a distância de outro equipamento ou circuitos existentes.
15	Fazer o 5 "S" do local da atividade.	Deixar suja a área.	Manter o ambiente de trabalho limpo e agradável.
16	Solicitar a retirada do bloqueio do circuito após a finalização dos trabalhos e dar baixa na Permissão de Trabalho.	Falha na comunicação	Aguardar o restabelecimento da comunicação com a operação.
17	Retirar isolamento e sinalização da área de trabalho.	Risco de abalroamento e atropelamento.	Retirar sinalização com bastante atenção mantendo as lâmpadas de alerta ao veículo acesas.
18	Deslocar do local.	Risco de colisão ou abalroamento.	Cumprir normas de trânsito procurando sempre o deslocamento mais seguro.
Observações:			
Tensão do circuito kV fase-fase		Distância entre eletricitista e as partes aterradas (m)	Distância Entre o eletricitista e o potencial e demais fases do circuito (m)

15	0,64	-
34,5	0,72	-
69	0,95	1,40
138	1,10	1,55
230	1,55	2,55

Fonte: Tabela autoral.

Tabela 5 – Checklist aplicado a atividade de substituição de cruzetas em circuitos de 34,5 kV (atividade 59)

Detalhes da Execução		Responsável		ENCARREGADO DE TURMA DE LINHA VIVA			
		Tempo		04h	Nº. De Executantes		05
		Local da Execução		SUBESTAÇÕES – CIRCUITOS DE 34,5 kV.			
RECURSOS NECESSÁRIOS				CUIDADOS ESPECIAIS			
ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE.	UND.	ITEM	DESCRIÇÃO		
01	Escada de fibra e/ou caminhão com cesto aéreo.	02	Pç	01	Verificar se bloqueio do circuito foi efetuado (ATLV).		
02	Corda de serviço - isolada	02	Pç				
03	Caixa de ferramenta	01	Cj	02	Verificar se cabo by-pass está corretamente dimensionado para a corrente na qual está operando. Caso necessário utilizar dois cabos by-pass		
04	Carretilha de serviço	02	Pç				
05	By-pass	09	Pç				
06	Moitão com corda isolada	02	Cj				
07	Bastão garra 64 mm	01	Pç	03	Inspeccionar EPI's e EPC's adequados às tarefas.		
08	Cela com colar 64 mm	01	Pç				
09	Mangas e luvas isolantes Classe-4	03	Cj	04	Efetuar teste de luvas com inflador e inspecionar coberturas de classe-4.		
10	Coberturas isolantesClasse-4	Dvrs	Pç				
11	Cintos de segurança com talabarte	04	Cj	05	Efetua Análise Preliminar de Riscos (APR) e Diálogo de Segurança (DDS).		
12	Corda linha de vida e trava-quedas	04	Cj	06	Trajar vestimenta retardante a chama		
13	Talha com tirante de nylon isola	02	Pç				
14	EPI's	07	Cj				
15	EPC's	01	Cj				
16	Detector de ausência de tensão	01	pç	07	Verificar se as baterias do detector estão em perfeitas condições.		
Resultados Esperados		CRUZETAS EM CONDIÇÕES FÍSICAS DE NORMALIDADE					
Passo	O que fazer	Desvios		Ações de regularização			
01	Deslocar para o local onde será executada a tarefa.	Risco de colisão ou abalroamento.		Cumprir normas de trânsito procurando sempre o deslocamento mais seguro. Direção Defensiva			
02	Estacionar veículo.	Risco de abalroamento		Ao parar veículo deixar lâmpadas de alerta ligadas.			

03	Solicitar o bloqueio do circuito a ser trabalhado através da Autorização de Trabalho em Linha Viva (ATLV) e abrir a Permissão de Trabalho (PT) junto ao Centro de Operações.	Falha na comunicação.	Aguardar o restabelecimento da comunicação com o Centro de Operações.
04	Observar e sinalizar o local de trabalho.	Queda no mesmo nível ou tropeço. Animais peçonhentos.	Utilizar EPI's adequados. Observar trajeto. Sinalizar o local das atividades.
05	Fazer Análise Preliminar de Riscos (APR) e Diálogo de Segurança (DDS).	Falta de algum integrante.	Solicitar a presença de todos.
06	Acomodar os equipamentos na lona para inspeção visual e limpeza.	Dano material	Acomodar os equipamentos de maneira adequada.
07	Observar as condições climáticas.	Trabalhar sob chuva ou URA superior a 75%.	Utilizar o aparelho termo-higrômetro. URA deverá ser menor ou igual a 75%.
08	Preparar ferramental adequado para serviço e constatar a presença de tensão com o detector de tensão.	Ferramenta com defeito. Falha do detector de presença de tensão.	Substituir de aço com o Procedimento operacional. Efetuar testes no detector antes de instalar o mesmo na rede energizada.
09	Posicionar escada com corda linha de vida e efetuar amarração na parte superior e inferior dela.	Falta de ponto de ancoragem em 02 direções.	Utilizar bastão 64 com sela e colarinho para auxiliar na fixação da escada.
10	Utilizando manga e luva isolante, subir escada com trava-quedas, isolando as partes energizadas e by-passando chave seccionador, se houver.	Defeito no equipamento isolante, cabo by-pass não suporta corrente elétrica.	Testar todos os equipamentos regulamente, conforme instruções do fabricante. Confirmar a capacidade de condução decorrente do cabo by-pass.
11	Após posicionar-se adequadamente para execução da tarefa, liberar a cruzeta para substituição.	Cruzeta em avançado estado de deterioração.	Utilizar estropo de nylon para retirada.
12	Instalar cruzeta nova.	Furações não coincidem.	Tirar medidas e efetuar furações.
13	Instalar equipamentos na cruzeta	Não existentes	Não existentes
14	Desinstalar by-pass e retirar coberturas e lençóis isolantes.	Não existentes	Não existentes
15	Após retirada do isolamento do circuito, retirar escada de fibra.	Não existentes	Não existentes
16	Fazer o 5 "S" do local das atividades.	Deixar suja a área.	Manter o ambiente de trabalho limpo e agradável.

17	Solicitar a retirada do bloqueio do circuito após a finalização dos trabalhos e dar baixa na Permissão de Trabalho	Falha na comunicação	Aguardar o restabelecimento da comunicação com o Centro de Operações.
18	Retirar isolamento e sinalização da área de trabalho.	Risco de abalroamento e atropelamento.	Retirar sinalização com bastante atenção mantendo as lâmpadas de alerta ao veículo acesas.
19	Deslocar do local.	Risco de colisão ou abalroamento.	Cumprir normas de trânsito procurando sempre o deslocamento mais seguro. Direção Defensiva
Observações:			
Tensão do circuito kV fase-fase		Distância entre eletricista as partes aterradas (m)	Distância Entre o eletricista ao potencial e demais fases do circuito (m)
15		0,64	-
34,5		0,72	-
69		0,95	1,40
138		1,10	1,55
230		1,55	2,55

Fonte: Tabela autoral.

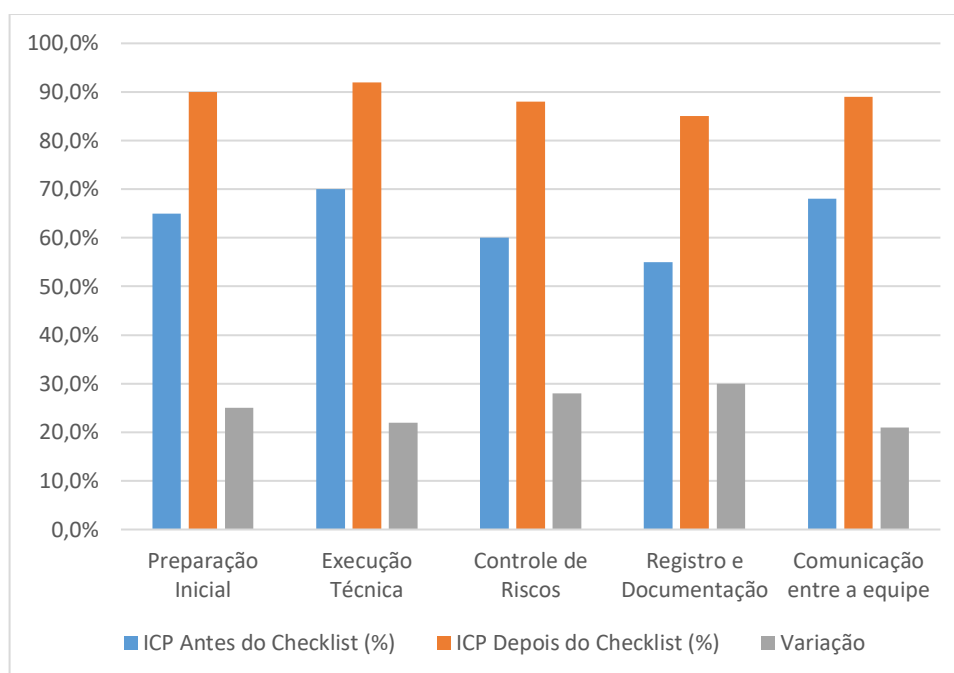
A implementação do *checklist* demonstrou-se eficaz na sistematização das rotinas de manutenção. Entre os principais benefícios observados, destacam-se:

- Padronização das tarefas, evitando variações na execução.
- Aumento da segurança operacional, com foco em etapas críticas.
- Facilidade na rastreabilidade das atividades, por meio da documentação preenchida.

A aplicação do *checklist* mostrou-se adequada e eficaz para os dois processos analisados, permitindo a identificação sistemática de não conformidades, bem como a padronização da coleta de dados. Embora o instrumento tenha sido utilizado em apenas duas atividades durante a pesquisa, os resultados obtidos indicam seu potencial de replicabilidade em outras frentes operacionais com características similares. Essa extrapolação é justificada pela natureza genérica e adaptável dos itens verificados, os quais foram elaborados com base em normas técnicas e boas práticas da área. Dessa forma, recomenda-se a aplicação do *checklist* em outros processos da organização, como forma de ampliar a abrangência da avaliação e promover a melhoria contínua dos procedimentos analisados.

A Figura 8 ilustra a evolução do índice de conformidade dos procedimentos antes e depois da implementação do *checklist*.

Figura 8 – Índices de Conformidade de Procedimento (ICP)



Fonte: Imagem autoral.

Entretanto, foi observada uma resistência inicial por parte dos colaboradores, especialmente aqueles com mais tempo de casa. A necessidade de capacitação e treinamento prévio foi essencial para o sucesso da iniciativa. Durante a aplicação do *checklist*, foram identificadas oportunidades de aprimoramento, como a digitalização do *checklist*, com uso de tablets ou smartphones para preenchimento, a integração com o Sistema de Gestão da Manutenção (SGM) da empresa e o feedback contínuo da equipe de campo, para ajustes dinâmicos na ferramenta.

A criação e aplicação do checklist de manutenção em linha viva desenergizada representou um avanço significativo nos processos operacionais da empresa. Os dados qualitativos e os relatos dos envolvidos evidenciaram maior eficiência, segurança e controle nas intervenções em campo. A continuidade do uso da ferramenta, bem como seu aprimoramento, é recomendada para fortalecer a cultura de excelência operacional.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar e propor melhorias no planejamento de manutenção em linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, com foco na padronização e aumento da conformidade dos procedimentos operacionais. Através da implementação de um *checklist* estruturado, foi possível verificar ganhos significativos na organização, na segurança das atividades de campo e na eficiência das rotinas de manutenção.

A análise comparativa entre os índices de conformidade antes e depois da adoção do *checklist* evidenciou uma evolução positiva em diversos aspectos do processo, principalmente no que se refere à preparação das equipes, à execução padronizada das tarefas e ao registro adequado das atividades. Esse resultado reforça a importância da utilização de ferramentas de controle simples, porém eficazes, no ambiente industrial.

Do ponto de vista da Engenharia de Produção, o estudo destaca a relevância do planejamento, da padronização e da gestão da qualidade nas operações de manutenção. A adoção de práticas sistemáticas, como o *checklist*, permite reduzir variabilidades, evitar falhas e promover a melhoria contínua nos serviços prestados, contribuindo para a confiabilidade do sistema elétrico e a segurança dos trabalhadores envolvidos.

Conclui-se que o planejamento adequado da manutenção, aliado a instrumentos de controle bem definidos, representa um diferencial competitivo para as empresas do setor elétrico. Recomenda-se, portanto, a continuidade da aplicação do *checklist* proposto e o monitoramento constante dos indicadores de desempenho, visando consolidar a cultura de excelência operacional nas atividades de manutenção em linhas de transmissão e distribuição.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou o planejamento de manutenção em linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, com foco na melhoria da conformidade dos procedimentos operacionais por meio da implementação de um *checklist*. A análise demonstrou que a aplicação de ferramentas simples de padronização pode gerar impactos significativos na qualidade, segurança e eficiência dos serviços executados em campo. A proposta adotada mostrou-se eficaz para reduzir falhas, aumentar a confiabilidade das operações e garantir maior aderência aos protocolos normativos e de segurança, promovendo uma gestão mais assertiva dos ativos do sistema elétrico.

Além dos benefícios práticos observados, o estudo reforça a importância do planejamento estratégico na manutenção e da cultura organizacional voltada para a melhoria contínua. A Engenharia de Produção, com sua abordagem sistêmica e foco em processos, se mostra fundamental para promover mudanças estruturais que elevem o desempenho técnico-operacional nas concessionárias de energia elétrica.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos comparativos entre diferentes modelos de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva) aplicados a linhas de transmissão e distribuição, com análise de indicadores como disponibilidade, custo e tempo de resposta. Também seria relevante desenvolver e testar sistemas informatizados ou aplicativos móveis integrados ao *checklist* proposto, visando digitalizar e automatizar o controle das rotinas de manutenção. Além disso, investigações sobre o impacto da capacitação contínua das equipes de campo nos índices de conformidade podem trazer insights importantes para a gestão de pessoas e a performance operacional no setor elétrico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP N° 853, de 27 de setembro de 2021 – DOU de 28.09.2021**. Brasil, 2021.

BRAGA, Rafael. **Proteção e seletividade de linhas de transmissão**. Faculdade Anhanguera. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Elétrica. Jacareí, 2022.

Disponível em:

<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/66315/1/RAFAEL+DE+PAULA+BRAGA.pdf>. Acesso em 18 de abril de 2025.

BRASIL. NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.

CARDOSO, Guilherme. **Análise de travessias entre linhas de transmissão e distribuição utilizando a tecnologia Lidar**. Ministério da Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2024. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/274444/001198482.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 14 de abril de 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **A evolução do setor elétrico brasileiro rumo à sustentabilidade**. CNI. Fórum de Meio Ambiente do Setor Elétrico, 2017. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/09/de/09de36cb-4f51-4da3-82be-cb9f292269b0/fmase.pdf. Acesso em 13 de abril de 2025.

CRUZ, Maria. **Estudo sobre as linhas de transmissão de energia elétrica**. Anhanguera. Marabá-Para, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/53700/1/MARIA%20ROBERTA%20DA%20SILVA%20CRUZ.pdf>. Acesso em 15 de abril de 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2024 – Ano base 2023**. EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes->

dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em 13 de abril de 2025.

GATTO, Bruna. **Panorama do setor elétrico brasileiro e maior inserção de formas renováveis de geração de energia no país**. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em:
https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/2438d188-5f32-41c9-82f7-9e0e18ced166/Gatto_Bruno_Batista.pdf

LAMPIS, Andrea; MANDAI, Silvia; BEREJUK, Guilherme; HERMSDORFF, Sonia; BERMANN, Daniel. **Dossier de energia 2022 – Brasil: um foco no setor elétrico**. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Divisão de Energia, 2022.

MELO, Djane; PAULA, Henrique. **Bibliografia Temática – Transição Energética no Setor Elétrico Brasileiro**. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). CEDOC, v. 6, n. 2, 2024.

MORAIS, Lidianne. **Estudo da aplicação de drones para inspeção de linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica**. Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), 2020. Disponível em:
<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/84ce104c-19e0-472c-9dd7-79058c25de07/content>. Acesso em 19 de abril de 2025.

MOURA, Maria; JESUS, Aurea; REIS, Alan; CASTILHO, Deives; GUIMARÃES, Emerson; OLIVEIRA, Gabriela. **Análise geral dos desafios na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica na Amazônia Legal: aspectos técnicos, econômicos, sociais e de planejamento estratégico**. 2025. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/13759>. Acesso em 14 de abril de 2025.

OPERADOR NACIONAL DE SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Sistema de Transmissão – Horizonte 2024**. Operador Nacional de Sistema Elétrico, 2024.

SILVA, Marcus. SILVA, Diniz. NASCIMENTO, Tatiane. VIEIRA, Victor. **Implantação da gestão de manutenção predial na UFAL – Campus Sertão**. Revista Gestão e Planejamento, Salvador, v. 24, p. 76-99, 2023. Disponível em:

<https://revistas.unifacs.br/index.php/rgb/article/view/6669/4709>. Acesso em 16 de agosto de 2025.

VIANA, Herbert. **Manual de Gestão da Manutenção**. Editora Engeteles, Brasília, vol. 2, 2020.

PEREIRA, Josimar. **Análise estratégica da gestão da manutenção industrial de uma máquina de desossa de carne**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Engenharia de Energia. Universidade Federal da Grande Dourados, 2025. Disponível em:

<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/6515>. Acesso em 16 de agosto de 2025.