

**CENTRO PAULA SOUZA ETEC “PROF. JADYR SALLES”
Técnico em Segurança do Trabalho**

Alyfer Basto Agnelli

Felipe Barioni

Giliano José da Silva

Laion Dos Santos Venancio

Rodrigo Gaspar Lago

**O uso de dispositivos eletrônicos para monitoramento de redes
elétricas em áreas de mata.**

Descalvado

2025

Alyfer Basto Agnelli
Felipe Barioni
Giliano José da Silva
Laion Dos Santos Venancio
Rodrigo Gaspar Lago

**O uso de dispositivos eletrônicos para monitoramento de redes
elétricas em áreas de mata.**

Este trabalho de conclusão de curso, foi julgado e aprovado para a obtenção do título de Técnico de segurança do trabalho da ETEC Professor Jadry Salles Descentralizada Professora Antônia Tenan Schilinter de Descalvado/SP.

Descalvado, 26 de Novembro de 2025.

Coordenador do Curso Professor Marcos Santos Coordenador de
Classes Decentralizadas

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Marcos Dos Santos Silva

Prof.º André Luis Segatto

Prof.º Tatiana Regina Jorge Monteiro

Orientador: Prof.º Edmo Rodrigo Gonçalves

Alyfer Basto Agnelli
Felipe Barioni
Giliano José da Silva
Laion Dos Santos Venancio
Rodrigo Gaspar Lago

**O uso de dispositivos eletrônicos para monitoramento de redes
elétricas em áreas de mata.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Técnico em Segurança do Trabalho da
ETEC Profº Jadyr Salles, orientado pelo Profº.
Esp. Edmo Rodrigo Gonçalves, como requisito
parcial para obtenção do título de técnico em
Segurança do Trabalho.

Descalvado
2025

Dedicatória

Dedicamos este Trabalho aos funcionários da
companhia elétrica da cidade de Descalvado

Epígrafe

“Nunca ande por trilhas, pois assim só ira até onde outros já foram”–Alexander Graham Bell

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a eficácia da utilização de drones equipados com sensores LiDAR, RGB e térmicos como ferramenta de apoio na gestão de segurança do trabalho e na manutenção de redes elétricas em áreas rurais. A pesquisa destaca que, devido à grande extensão territorial e às condições adversas do ambiente, os eletricitistas frequentemente enfrentam riscos elevados durante deslocamentos para identificação de falhas, como terrenos acidentados, más condições climáticas e presença de animais peçonhentos. Nesse contexto, a incorporação de drones profissionais representa uma solução tecnológica inovadora, capaz de realizar inspeções aéreas remotas, capturar imagens e dados de alta precisão e reduzir significativamente a exposição dos colaboradores a ambientes perigosos. Equipados com sistemas de GPS, sensores térmicos e tecnologia LiDAR, os drones permitem o mapeamento detalhado de áreas, identificação de pontos de superaquecimento, falhas estruturais e riscos de contato da vegetação com condutores elétricos. O estudo também aborda os procedimentos e regulamentações necessários para o uso profissional dessas aeronaves, incluindo o cadastro no SISANT, a autorização do DECEA e o cumprimento das normas da ANAC previstas no RBAC-E nº 94. Além disso, destaca-se a importância da integração das informações coletadas pelos drones ao Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), conforme a NR-01, e à Avaliação de Posto de Trabalho (APT), promovendo uma abordagem preventiva e estratégica de segurança. Os resultados esperados incluem maior eficiência operacional, redução de acidentes de trabalho e otimização do tempo de resposta nas manutenções de rede. Embora o investimento inicial na tecnologia seja elevado, o retorno a longo prazo se manifesta na diminuição de passivos trabalhistas e na modernização dos processos de inspeção. Assim, conclui-se que o uso de drones na manutenção de redes elétricas rurais contribui significativamente para o avanço da segurança, eficiência e sustentabilidade das operações do setor elétrico.

Palavras-Chave: Dispositivos eletrônicos; Rede Elétrica; área de Mata.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effectiveness of using drones equipped with LiDAR RGB, and thermal sensors as a support tool in occupational safety management and the maintenance of electrical networks in rural areas. The research highlights that, due to the large territorial extension and adverse environmental conditions, electricians often face high risks while traveling to identify network failures, such as rough terrain, harsh weather, and the presence of venomous animals. In this context, the incorporation of professional drones represents an innovative technological solution, capable of performing remote aerial inspections, capturing high-precision images and data, and significantly reducing workers' exposure to hazardous environments. Equipped with GPS systems, thermal sensors, and LiDAR technology, drones enable detailed area mapping and the detection of overheating points, structural failures, and vegetation risks near electrical conductors. The study also addresses the procedures and regulations required for professional drone operations, including registration in SISANT, authorization from DECEA, and compliance with ANAC regulations established by RBAC-E No. 94. Furthermore, it emphasizes the integration of drone-collected data into the Risk Management Program (PGR), in accordance with NR-01, and into the Workplace Assessment (APT), promoting a preventive and strategic approach to occupational safety. The expected results include greater operational efficiency, reduced workplace accidents, and improved response times in network maintenance. Although the initial investment in drone technology is significant, the long-term return is evident in the reduction of labor liabilities and the modernization of inspection processes. Therefore, the use of drones in rural electrical network maintenance represents a significant advancement in safety, efficiency, and sustainability within the electrical power sector.

Keywords: Electronic Devices; Power Grid; Movement in Forested Areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sensor LiDAR.....	9
Fonte: FLGUYS (2021)	
Figura 2 - Sensor em sistema automotivo	10
Fonte: Tudocelular (2025)	
Figura 3 - Drone auxiliando em trabalho de rede elétrica	10
Fonte: CPFL - RA23 (2023)	
Figura 4 - Sensor RGB (Red, Green, Blue).....	11
Fonte: Halo Robotics (2025)	
Figura 5 - Modelo de drones.....	12
Fonte: JOUAV (2025)	
Figura 6 - Comunicação via satélite.....	13
Fonte: Autoria própria	
Figura 7 - O drone e seu operador	14
Fonte: DUARTE (2024)	
Figura 8 - Análise prevencionista de risco	15
Fonte: Autoria própria	
Figura 9 - Ocorrências de quadro próprio	19
Fonte: Autoria própria	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Como funciona o sistema lidar	8
1.2 Drones como Ferramenta de Apoio na Gestão de Segurança do Trabalho	10
1.3 sistema e procedimentos	12
1.4 Problema.....	16
1.5 Hipótese.....	16
1.6 Justificativa	16
1.7 Objetivo Geral	17
1.8 Objetivos Específicos	17
2. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	17
2.1 Tipo e abordagem da pesquisa.....	17
2.2 Procedimentos metodológicos	18
2.3 Coleta de dados	18
2.4 Limitações da pesquisa.....	18
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

Devido à grande extensão territoriais das redes elétricas em áreas rurais, a identificação e manutenção de falhas nessas regiões apresentam inúmeros desafios. O eletricitista na maioria das vezes precisa percorrer longas distâncias a pé para localizar o defeito na rede, enfrentando diversos obstáculos como os terrenos acidentados, buracos, chuva, temporal, frio intenso, animais peçonhentos, todo esse percurso representa um grande risco de acidentes.

Após identificar o defeito, é necessário que o eletricitista retorne ao veículo, que normalmente fica estacionado há uma longa distância, para buscar ferramentas, EPI (Equipamento de proteção individual), EPC (Equipamento de Proteção coletivo) necessários, para a execução do serviço, este deslocamento só aumenta o tempo de reparo, como também dobra a exposição do eletricitista aos perigos.

Nesse contexto, o uso de dispositivos eletrônicos, como drones equipados com câmeras de alta qualidade, surgem como solução inovadora e eficaz. Os drones permitem inspeções aéreas das redes, reduzindo a necessidade de deslocamento arriscado por parte dos eletricitistas. Com essa tecnologia é possível localizar o defeito com maior agilidade e segurança, otimizando o planejamento das ações corretivas e minimizando os riscos.

Portanto, com a incorporação de drones na manutenção da rede elétrica em áreas rurais representa um avanço significativo em termos de segurança e eficiência além de contribuir para a modernização dos serviços prestados.

1.1 Como funciona o sistema LiDAR

LiDAR, sigla para "*light detection and ranging*" (detecção e alcance por luz), é uma tecnologia de sensoriamento remoto que usa feixes de laser para medir distâncias e movimentos com precisão, em tempo real. Surgiu pela primeira vez na década de 1960, originalmente para rastrear satélites e alvos militares. Nos anos 80, o sensor foi melhorado e o sistema começou a ser usado para mapear edifícios e terrenos usando aeronaves.

Os dados de LiDAR permitem criar desde mapas topográficos detalhados até modelos 3D precisos e dinâmicos, essenciais para orientar com segurança em ambientes que mudam o tempo todo. A tecnologia LiDAR também ajuda a avaliar

riscos e desastres naturais, como fluxos de lava, deslizamentos, tsunamis e enchentes. O LiDAR utiliza luz refletida, que mede distâncias de forma mais rápida representado na Figura 1, com mais precisão e resolução superior aos mesmos sistemas utilizados por navios e aviões, sendo seus componentes:

Figura 1 - Sensor LiDAR



Fonte - FLGUYS (2021)

Permitindo serem feitos modelos 3D de objetos, modelo de elevação e mapeamento de áreas, escanear a copa das florestas e monitorar a densidade, as espécies e a integridade da vegetação, ajudando a identificar áreas de risco para redes de energia e outras infraestruturas, medem temperatura, cobertura de nuvens, velocidade do vento, densidade do ar e outros parâmetros atmosféricos, fornecendo dados essenciais para modelos de previsão do tempo.

Atualmente sendo uma tecnologia com uma ampla implementação fazendo parte diariamente da rotina de várias pessoas sendo usado em smartphones, carros autônomos como mostra a figura 2, drones e dispositivos de realidade aumentada.

Figura 2 - Sensor em sistema automotivo



Fonte - Tudocelular (2025)

1.2 Drones como Ferramenta de Apoio na Gestão de Segurança do Trabalho

As aeronaves não tripuladas podem ajudar no deslocamento de colaboradores em locais de difícil acesso e levar materiais ajudando o colaborador em sua atividade como demonstra a figura 3.

Figura 3 - Drone auxiliando em trabalho de rede elétrica



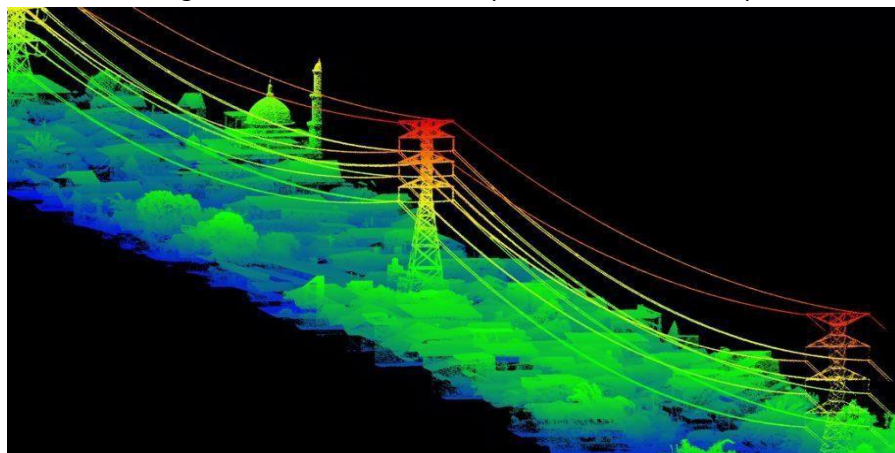
Fonte - CPFL - RA23 (2023)

Estas aeronaves podem fornecer dados georreferenciados através de imagens aéreas podendo ajudar na prevenção de riscos em algumas atividades. Inspeções aéreas de alta precisão equipados com câmeras de altíssima definição, sensores RGB (Red, Green, Blue, como demonstra a figura 4) que detecta e mede as intensidades das

cores primárias de luz: vermelho, verde e azul e térmicos capazes de identificar:

- Pontos de superaquecimento
- Conectores desgastados
- Oxidação, corrosão e rachaduras
- Falhas estruturais impercetíveis a olho nu
- Áreas com risco de vegetação em contato com condutores

Figura 4 - Sensor RGB (*Red, Green, Blue*)



Fonte - Halo Robotics (2025)

Os drones conseguem acessar áreas e estruturas de difícil acesso como estruturas elevadas, economizando tempo e recursos, dispensando o colaborador de uma atividade de possível risco, contribuindo assim para a prevenção de risco do PGR (programa de gerenciamento de riscos), em que cabe a responsabilidade ao técnico em segurança do trabalho fazer o levantamento dos riscos com base na NR-01.

A área de cobertura e seu tamanho pode variar como demonstra a figura 5 dependendo do modelo e a capacidade da bateria podendo chegar a mais de 30 km de distância para modelos profissionais.

Figura 5 - Modelo de drones



Fonte: Autoria própria

EQUIPAMENTO	ALCANCE MAXIMO	TEMPO DE VOU
JOUAV CW-30E VTOL	200 km (124,3 milhas)	480 minutos
JOUAV CW-15 VTOL	50 km (31 milhas)	180 minutos
Canivete 600	38,6 km (24 milhas)	40 minutos
DJI Mavic 3 Pro	15 km (9,3 milhas)	43 minutos
DJI Mini 2	10 km (6,2 milhas)	31 minutos
DJI Phantom 4	7 km (4,3 milhas)	28 minutos
Sky Viper Dash Nano	106,7 metros (0,06 milhas)	8 a 10 minutos

Fonte: Autoria própria

Dependendo da atividade que for executada o técnico de segurança precisa avaliar qual equipamento é mais viável para a realização da atividade. O drone pode servir como ferramenta de apoio para o colaborador que está executando a atividade em rede elétrica.

1.3 Sistema e procedimentos

Para conseguir fazer voos com aeronaves não tripuladas com uso profissional ou comercial acima de 250g, com mais de 400 pés (120 metros) é necessário uma autorização através do portal do DECEA (departamento de controle de espaço aéreo) e a aeronave deve estar cadastrada no sistema de aeronaves não tripuladas (SISANT), sendo o modelo automático ou manual.

A comunicação por radiofrequência (RF) é um meio bem utilizada, operando em faixas de frequência como 2,4 GHz ou 5,8 GHz, que fornecem conexões estáveis em longas distâncias. Drones de última geração também usam redes de celulares, como 4G ou 5G, para estender seu alcance de comunicação ou conexões via satélite como mostra a figura 6.

Figura 6 - Comunicação via satélite



Fonte - Autoria própria

Para áreas remotas onde os sinais de radiofrequência (RF) e celular podem ser fracos, a comunicação via satélite oferece uma solução robusta, retransmitindo sinais.

Figura 7 - O drone e seu operador



Fonte: Portal Serra Dourada News.

Drones profissionais possuem sistema de GPS (Sistema de Posicionamento Global), que permite um retorno seguro da aeronave memorizando o ponto de decolagem, tendo assim uma navegação mais precisa no procedimento de mapeamento, topografia e áreas pré-definidas. Aeronaves com este sistema de segurança evitam que o equipamento se perca facilmente em voos longos e de áreas remotas. As aeronaves não tripuladas podem fazer o trabalho de inspeção da linha permitindo que o colaborador não tenha de localizar o defeito no poste do quadrante, tornando assim o trabalho mais pontual e preciso com um melhor tempo de resposta, garantindo uma melhoria continua no processo em rastreabilidade e mapeamento das atividades.

Todos os veículos da companhia devem estar equipados com um drone, para poder fazer a análise do local, após ser feito o voo com o drone pelo colaborador capacitado (como demonstra a figura 7) utilizando a (fotogrametria – sistema lidar) os dados do local serão repassados ao técnico de segurança da empresa onde ele irá fazer a identificação de perigos segundo o anexo 1 da NR 01.

Enquanto é feita a análise de risco os funcionários devem assinar a (APR) Análise prevencionista de risco como demonstrada na figura 8 abaixo, verificando os equipamentos necessários, e fazendo a verificação dos EPI (Equipamento de Proteção individual), o drone deve ser incluído no preenchimento da APR.

Figura 8 - Análise prevencionista de risco

	APR - ANÁLISE PREVENICIONISTA DE RISCO - TAREFA PADRONIZADA / SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA	Nº da OS:
		Data:
Matrícula	Supervisor da tarefa - Nome	Assinatura
Matrícula	Nome dos executores	Assinatura
DISTRIBUIÇÃO		S N NA
O(s) colaborador(es) se encontra(m) em condições física, mental e emocional para realizar sua função na tarefa?		☐ ☐ ☒
A tarefa executada está sob o controle do CO ou COS?		☐ ☐ ☐
O trabalho será executado com circuito desenergizado?		☐ ☐ ☒
Todos os membros da equipe conhecem o(s) procedimento(s) e o que cada um irá executar?		☐ ☐ ☒
Definido o supervisor no planejamento da tarefa?		☐ ☐ ☒
Todos os equipamentos/ferramentas/EPI/EPC necessários e adequados estão disponíveis?		☐ ☐ ☐
Veículo estacionado/calçado/sinalizado, com livre trânsito de pedestres, veículos e acesso aos imóveis?		☐ ☐ ☐

40-000-015-445

DISTRIBUIÇÃO	S N NA
Previsto a delimitação e sinalização da área de trabalho?	☐ ☐ ☐
O local de trabalho está desobstruído; com boa visibilidade e acesso para execução da tarefa?	☐ ☐ ☐
Analizadas as condições físicas das estruturas?	☐ ☐ ☐
Definido(s) os ponto(s) de seccionamento?	☐ ☐ ☐
Necessário bloqueio de religamento?	☐ ☐ ☐
Estabelecido o(s) ponto(s) de teste de ausência de tensão?	☐ ☐ ☐
Estabelecido o ponto de instalação do detector de falta?	☐ ☐ ☐
Estabelecido o(s) ponto(s) de instalação do(s) conjunto(s) de aterramento temporário?	☐ ☐ ☐
Definido(s) o(s) ponto(s) de instalação da(s) proteção(ções) isolante(s)?	☐ ☐ ☐
Previsto a instalação de sinalização "Não opere este equipamento" e retirada dos cartuchos se possível?	☐ ☐ ☐
Prevista a proteção dos elementos energizados/passíveis de energização dentro da zona risco/controlada?	☐ ☐ ☐
Foram observadas outras situações que possam gerar riscos de acidentes? (detalhar no campo observação)	☐ ☐ ☐
OBSERVAÇÕES GERAIS E MEDIDAS DE CONTROLE	

Fonte: Autoria própria

Sendo concluído o preenchimento da (APR) os funcionários devem enviar a permissão de trabalho ao técnico de segurança do trabalho, este documento deverá ficar guardado por 5 anos (segundo a NR-33 anexo 33.3.3.5). Após ser concluída a permissão de trabalho e verificação dos equipamentos os colaboradores receberão

instruções do técnico de segurança antes que adentrem no local.

1.4 Problema

O deslocamento em áreas de difícil acesso que apresentam diversos desafios de manutenção em redes elétricas, tendo em vista a inexistência de estradas ou trilhas que limitam ou dificultam o acesso nestas áreas, como oferecer melhores condições para mitigar os riscos ao colaborador ?

1.5 Hipótese

Ferramentas de auxílio como drones que capturam imagens e vídeos de alta qualidade podem evitar riscos aos colaboradores em redes elétricas, ao substituir inspeções presenciais que oferecem riscos aos colaboradores, por voos automatizados e seguros fazendo a avaliação das linhas de difícil acesso ou lugares mais fechados, como matas, de forma remota reduzindo a exposição a perigos como choques e quedas ou acidentes com animais peçonhentos e ferimentos devido ao difícil acesso a estes locais. O drone pode estar equipado com sensores que coletam dados sobre temperatura sendo ela a umidade tensão ou outros parâmetros. Auxiliando na detecção de problemas, podendo assim fazer uma avaliação prévia do local auxiliando na tomada de decisões mudando a rota de entrada de difícil acesso para ter melhor acesso dos colaboradores no local em que for preciso fazer a manutenção presencial das redes elétricas.

1.6 Justificativa

A necessidade de uma pré-avaliação do local feita por um drone para minimizar os riscos que os colaboradores tem em deslocamentos de locais mais fechados e íngremes, tornando o trajeto mais seguro. A principal justificativa é a eliminação de colocar os colaboradores em locais perigosos, onde os riscos de acidentes são elevados.

1.7 Objetivo Geral

Analisar a eficácia da utilização de drones equipados com sensores para inspeções remotas em áreas de difícil acesso, visando melhorar o deslocamento e reduzir os riscos aos colaboradores durante a manutenção de redes elétricas e a coleta de dados para o PGR (programa de gerenciamento de riscos).

1.8 Objetivos Específicos

“A rede elétrica atende áreas de baixa densidade populacional, muitas vezes com longas distâncias entre os pontos de consumo. Por isso, os cabos percorrem trechos maiores e são mais expostos a intempéries, o que aumenta o risco de falhas.”

“Comparar os riscos e custos associados às inspeções manuais tradicionais nas áreas de difícil acesso realizadas por drones, considerando fatores como segurança dos colaboradores, tempo de deslocamento, eficiência na coleta de dados e impacto financeiro, visando demonstrar os benefícios da adoção de tecnologias remotas na manutenção de redes elétricas.”

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza qualitativa e descritiva, com o objetivo de analisar como o uso de drones pode contribuir para a prevenção de acidentes e a redução de riscos com inspeção no local de trabalho, especialmente em áreas de difícil acesso ou com potencial de exposição a perigos elétricos, ergonômicos ou por parte animal.

2.1 Tipo e abordagem da pesquisa

A pesquisa é aplicada, pois busca gerar conhecimento voltado à solução prática de problemas reais relacionados à segurança do trabalho.

A abordagem é qualitativa, uma vez que procura compreender o fenômeno por meio da observação, análise documental e interpretação dos resultados, e não por meio de dados estatísticos.

2.2 Procedimentos metodológicos

O estudo foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica e documental, fundamentada em normas regulamentadoras (NRs), artigos científicos, dissertações e documentos técnicos de órgãos de segurança e aviação civil.

Foram também analisados relatórios e estudos de caso sobre o uso de drones em inspeções de linhas de energia e estruturas industriais, de forma a identificar vantagens, limitações e boas práticas na aplicação dessa tecnologia.

2.3 Coleta de dados

A coleta de dados ocorreu por meio de:

- Levantamento bibliográfico.
- Análise de documentos técnicos e legislações vigentes (NR-01, NR-06, NR-10, NR-31 entre outras).
- Observação indireta de operações realizadas com drones em inspeções de risco e segurança.

Quando possível, foram coletadas informações de empresas ou órgãos que utilizam drones em rotinas de inspeção, a fim de compreender o impacto na redução de exposição dos trabalhadores a riscos.

2.4 Limitações da pesquisa

A principal limitação está na escassez de dados práticos e registros quantitativos sobre o uso de drones em segurança do trabalho no Brasil, o que restringe a análise comparativa entre diferentes setores. Além disso, a pesquisa não envolveu observação direta em campo, com foco em dados secundários e revisões teóricas.

2.5 Pesquisa de Campo

Figura 9 - Ocorrências de quadro próprio



Fonte: Autoria própria

A figura 9 “Ocorrências Quadro Próprio – Distribuidoras” da CPFL Energia demonstra a ocorrência de diversos incidentes envolvendo colaboradores próprios, sendo as principais causas os ataques de animais e insetos, movimentos involuntários, quedas de mesmo nível e choques elétricos. Esses dados evidenciam a necessidade de aprimoramento das estratégias de segurança e prevenção de acidentes nas atividades operacionais da empresa, especialmente nas inspeções e manutenções de redes elétricas. O uso de drones apresenta-se como uma solução tecnológica eficiente para reduzir a exposição humana a riscos ocupacionais. Drones equipados com câmeras de alta resolução, sensores térmicos e sistemas LiDAR permitem a realização de inspeções aéreas detalhadas sem a necessidade de que o colaborador ascende diretamente áreas elevadas ou de difícil alcance. Assim, é possível eliminar a exposição de riscos de quedas e choques elétricos, bem como

reduzir a presença em ambientes com fauna potencialmente perigosa, o que impacta diretamente na diminuição das ocorrências de ataques de insetos e animais.

Além disso, os drones contribuem para a segurança em terrenos irregulares e áreas com vegetação densa, permitindo a identificação de falhas estruturais, cabos danificados e interferências de árvores sem deslocamento físico do trabalhador. Essa abordagem evita redução das taxas de frequência (TF) e taxas de gravidade (TG), indicadores diretamente ligados à segurança do trabalho. A automatização das inspeções e o monitoramento remoto contribuem para uma atuação mais segura, eficiente e sustentável, alinhando-se aos objetivos estratégicos da CPFL Energia de promover inovação e garantir a integridade física de seus colaboradores.

Dessa forma, a utilização de drones pela CPFL Energia não apenas moderniza os processos de inspeção e manutenção, mas também reforça o compromisso da empresa com a segurança operacional, a prevenção de acidentes e a eficiência no fornecimento de energia elétrica. A pesquisa evidencia que o investimento em tecnologias de inspeção aérea é uma medida efetiva para a redução de riscos ocupacionais e a melhoria contínua do ambiente de trabalho no setor elétrico.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste TCC permitiu compreender, de forma ampla e aprofundada, o impacto que a introdução de tecnologias emergentes, especialmente os drones equipados com sensores LiDAR, RGB e térmicos, exerce sobre as práticas de segurança e manutenção no setor elétrico. As análises realizadas demonstram que essa inovação tecnológica não apenas moderniza o processo de inspeção de redes elétricas em áreas rurais e de difícil acesso, mas também representa um marco importante na prevenção de acidentes de trabalho e na promoção de uma cultura organizacional voltada à integridade física e mental dos trabalhadores.

A pesquisa revelou que, historicamente, os profissionais responsáveis pela manutenção das redes elétricas enfrentam inúmeros desafios decorrentes das condições adversas de trabalho, como terrenos acidentados, longas distâncias, variações climáticas severas e riscos biológicos provenientes da fauna e da flora locais. A substituição parcial das inspeções manuais por inspeções aéreas automatizadas, realizadas por drones, reduz substancialmente esses riscos, uma vez que elimina a necessidade de deslocamentos físicos perigosos e permite que o trabalhador atue de forma remota e estratégica. Essa transformação reforça a aplicação dos princípios fundamentais da Norma Regulamentadora nº 1 (NR-01), que preconiza a antecipação, reconhecimento e controle dos riscos ocupacionais.

Outro ponto relevante é a integração dos dados capturados pelos sensores embarcados nos drones, como imagens de alta resolução, medições térmicas e mapeamentos tridimensionais, aos programas de Gerenciamento de Riscos (PGR) e às Avaliações de Posto de Trabalho (APT). Essa integração possibilita uma análise técnica muito mais precisa das condições operacionais, permitindo a elaboração de planos preventivos embasados em informações concretas e atualizadas. Tal prática eleva o nível de confiabilidade das decisões gerenciais e reduz consideravelmente o índice de incidentes e de passivos trabalhistas, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo. Adicionalmente, constatou-se que a adoção de drones no contexto das empresas de energia elétrica está em consonância com as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), cujas normas garantem a utilização responsável, regulamentada e segura dessas aeronaves. Esse alinhamento regulatório reforça o caráter ético e técnico da proposta, assegurando que a inovação

tecnológica seja acompanhada de conformidade legal e segurança operacional.

Mesmo diante do investimento inicial necessário que inclui aquisição de equipamentos, capacitação de operadores e regularização junto aos órgãos competentes, os benefícios obtidos justificam amplamente os custos. A pesquisa evidenciou ganhos expressivos em eficiência, precisão e agilidade, bem como na redução de horas-homem expostas ao risco. A longo prazo, as organizações que investem em tecnologias como o LiDAR e a termografia embarcada em drones observam não apenas uma significativa redução de acidentes, mas também um fortalecimento da imagem institucional perante órgãos fiscalizadores e a sociedade, consolidando-se como empresas comprometidas com a inovação e a sustentabilidade.

Outro aspecto que merece destaque é a contribuição ambiental da tecnologia. O uso de drones permite uma atuação mais direcionada e eficiente, diminuindo a necessidade de deslocamentos com veículos pesados, dessa forma, a aplicação da tecnologia aumenta a segurança dos colaboradores.

Diante de todos esses elementos, conclui-se que o uso de drones equipados com sensores avançados constitui uma solução inteligente e de alto impacto para o setor elétrico. Essa prática redefine a forma como as inspeções são realizadas, elevando o padrão de segurança, otimizando os recursos humanos e financeiros e abrindo caminho para um modelo de gestão pautado em tecnologia e prevenção. Portanto, a presente pesquisa reforça a necessidade de que empresas do setor elétrico invistam continuamente em inovação tecnológica e capacitação profissional, de modo que a integração entre homem e máquina ocorra de forma harmoniosa, produtiva e segura. A incorporação definitiva dos drones nas rotinas de inspeção e manutenção não representa apenas um avanço técnico, mas um novo paradigma de atuação, em que a eficiência operacional e o bem-estar do trabalhador se tornam metas indissociáveis. Assim, pode-se afirmar que a implementação de dispositivos eletrônicos para monitoramento e inspeção aérea em redes elétricas de áreas de mata é uma estratégia transformadora, capaz de reduzir riscos, aprimorar a gestão de segurança e consolidar um futuro mais seguro, sustentável e tecnológico para o setor energético brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABIMDE. *ANAC regulamenta o mercado de drones: veja o que muda, em detalhes.* Disponível em: <https://abimde.org.br/pt-br/noticias/anac-regulamenta-o-mercado-de-drones-veja-o-que-muda-em-detalhes/>. Acesso em: 15 set. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). *ANACpedia: unmanned aerial vehicle / veículo aéreo não tripulado.* Disponível em: <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/ing-por/tr1445.htm>. Acesso em: 15 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. *Estudo sobre a indústria brasileira e europeia de veículos aéreos não tripulados.* Brasília, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/images/publicacaoa_DRONES-20161130-20012017-web.pdf. Acesso em: 19 set. 2025.

CIPINHA. *Drones na inspeção de segurança: acesso a áreas difíceis e redução de riscos.* Disponível em: <https://cipinha.com.br/drones-na-inspecao-de-seguranca/>. Acesso em: 10 set. 2025.

CPFL ENERGIA. *Situação de emergência.* Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/rge/situacao-de-emergencia>. Acesso em: 29 out. 2025.

CPFL ENERGIA S.A. *Relatório Anual 2023.* Campinas, 2024. Disponível em: <https://www.grupocpfl.com.br/sites/default/files/2024-03/CPFL-RA23.pdf>. Acesso em: 7 out. 2025.

CPFL ENERGIA S.A. *Relatório Anual 2023.* (Figura 3 – Drone auxiliando em trabalho de rede elétrica). Campinas, 2024. Disponível em: <https://www.grupocpfl.com.br/sites/default/files/2024-03/CPFL-RA23.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

CPFL ENERGIA S.A. *Relatório Anual 2024.* Campinas, 2025. Disponível em: https://www.grupocpfl.com.br/sites/default/files/2025-04/250107_CPFL_RA24_VF%20Final2.pdf. Acesso em: 2 out. 2025.

CPFL SOLUÇÕES. *O impacto da inovação nos sistemas de transmissão de energia.* Disponível em: <https://cpflsolucoes.com.br/blog/artigos/o-impacto-da-inovacao-nos-sistemas-de-transmissao-de-energia/>. Acesso em: 6 out. 2025.

DUARTE, Carlos. *Equatorial Goiás usa drones para agilizar inspeções na rede elétrica.* Portal Serra Dourada News, 26 set. 2024. Disponível em: <https://sdnews.com.br/noticia/10790/equatorial-goias-usa-drones-para-agilizar-inspecoes-na-rede-eletrica.html>. Acesso em: 18 out. 2025.

FUTURISTE TECNOLOGIA. *Inspeção de linha de transmissão com drone: mais precisão, menos risco e muito mais eficiência.* Disponível em: <https://futuriste.com.br/blog/inspecao-de-linha-de-transmissao-com-drone/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

FUTURISTE TECNOLOGIA. *O mercado de drones no Brasil: crescimento, oportunidades e aplicações.* Disponível em: <https://futuriste.com.br/blog/mercado->

[drones-brasil-2025/](#). Acesso em: 14 ago. 2025.

HALO ROBOTICS. *LiDAR sensor terbaik untuk inspeksi de linhas de transmissão.* (Figura 4 – Sensor RGB). Disponível em: <https://halorobotics.com/lidar-sensor-terbaik-untuk-inspeksi-power-line/>. Acesso em: 13 out. 2025.

HATCH LABS. *The Rise of LiDAR Technology: Innovations and Applications.* Disponível em: <https://hatchlabs.substack.com/p/the-rise-of-lidar-technology-innovations>. Acesso em: 25 ago. 2025.

HATCH LABS. *The Rise of LiDAR Technology.* (Figura 1 – Sensor LiDAR). Disponível em: <https://hatchlabs.substack.com/p/the-rise-of-lidar-technology-innovations>. Acesso em: 30 ago. 2025.

IBM. *O que é LiDAR?* Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/lidar>. Acesso em: 14 ago. 2025.

JOUAV. *How far can a drone fly?* Disponível em: <https://www.jouav.com/blog/how-far-can-a-drone-fly.html>. Acesso em: 22 set. 2025.

MAX DRONE. *Uso de drones é permitido no Brasil?* Disponível em: <https://www.maxdrone.com.br/uso-de-drones-e-permitido/>. Acesso em: 6 out. 2025.

QUALI VIDA ONLINE. *Saúde e qualidade de vida.* Disponível em: <https://www.qualividaonline.com.br/>. Acesso em: 15 maio 2025.

TUDO CELULAR. *Importância do sensor LiDAR em carros autônomos.* (Figura 2 – Sensor em sistema automotivo). Disponível em: <https://www.tudocelular.com/seguranca/noticias/n233143/importancia-sensor-lidar-carros-autonomos.html>. Acesso em: 2 out. 2025.

TRACTION TECNOLOGIA LTDA. *Segurança na manutenção: conheça algumas tecnologias.* Atualizado em 18 jul. 2025. Disponível em: <https://traction.com/blog/conheca-algumas-tecnologias-inovadoras-que-aumentam-a-seguranca-de-trabalho>. Acesso em: 18 ago. 2025.

UBLINK TECNOLOGIA. *O sensor LiDAR e suas principais inovações no mercado.* Disponível em: <https://blog.ublink.com.br/tecnologia-lidar/>. Acesso em: 8 set. 2025.