



# Gestão Inteligente de Ativos de Energia com IA e Visão Computacional

**Tema:** Gestão Ativos e Manutenção

**Autores:** Grégori da Cruz Balestra; Horácio Henrique Fortunato

**Co-Autores:** Antonio Roberto Donadon; Juliana Cardoso Amaral; Vitor Tosetto; Flavia Manica Siviero; Luciane Calabria; Klysman Hoentsch; Tales Brumon Medeiros de Figueiredo

**Empresa:** Pix Force

---

## Resumo

A gestão eficiente de ativos de distribuição de energia é um desafio significativo para as concessionárias, devido à complexidade das redes elétricas, ao compartilhamento de postes com empresas de telecomunicações e à necessidade de monitoramento contínuo da iluminação pública e das unidades consumidoras. Métodos tradicionais de inspeção são demorados, onerosos e suscetíveis a erros, demandando soluções tecnológicas que otimizem esses processos. Este estudo propõe um sistema automatizado baseado em inteligência artificial e visão computacional para aprimorar a identificação, monitoramento e análise de ativos elétricos urbanos. A solução combina sensores LiDAR, câmeras 360°, georreferenciamento GNSS e modelos de aprendizado profundo para segmentação, classificação e auditoria de infraestruturas de energia e telecomunicações. Para viabilizar essa abordagem, foi desenvolvida a plataforma web Street View Imagery (SVI), que permite a visualização interativa dos dados coletados, facilitando auditorias automatizadas, identificação de anomalias e gestão da manutenção preditiva. A plataforma possibilita o rastreamento de missões de inspeção, a detecção de eventos críticos e a análise detalhada dos ativos, reduzindo custos operacionais e otimizando a tomada de decisão. Os testes realizados demonstraram a eficiência do modelo na identificação automatizada de postes, classificação de fachadas comerciais e residenciais, auditoria do uso compartilhado de infraestrutura e detecção de falhas na iluminação pública, com taxas de precisão superiores a 90% em diversas tarefas. Os resultados evidenciam que a integração de IA e visão computacional pode transformar a gestão de ativos de energia, promovendo maior eficiência, precisão e sustentabilidade operacional. O estudo destaca a escalabilidade da solução e seu potencial para ser replicado em outras concessionárias, consolidando-se como uma ferramenta estratégica para modernizar o setor elétrico. Como trabalhos futuros, propõe-se a expansão do sistema para inspeções aéreas com drones e o aprimoramento da detecção de anomalias por meio de aprendizado contínuo.

## 1. Introdução

A gestão de ativos de distribuição de energia representa um grande desafio em termos de eficiência e alocação de recursos para as concessionárias devido aos desafios de monitorar e manter redes extensas e pelos métodos tradicionais, como inspeções manuais, serem demorados, propensos a erros e exigirem deslocamentos longos (Badfar et al., 2024). Além disso, a utilização compartilhada de postes com empre-

sas de telecomunicações, a gestão da iluminação pública, a classificação das unidades consumidoras e a manutenção dos sistemas geram dificuldades adicionais, cada uma com seus próprios desafios (Bieser, 2024). Esse monitoramento é crucial para as concessionárias de energia, pois contribui para aumentar a vida útil dos componentes, garantir a confiabilidade da rede e prevenir interrupções não programadas (Rajora et al., 2022).

Uma alternativa em constante crescimento é o uso de Inteligência Artificial para facilitar o monitoramento em tempo real e a análise preditiva, melhorando as avaliações da saúde dos ativos (Bieser, 2024; Rajora et al., 2024). Técnicas de aprendizado profundo são especialmente apropriadas para aplicações em sistemas de distribuição, devido à sua capacidade de representar relações entre variáveis complexas com alta precisão (Goodfellow et al., 2016; Mahoor et al., 2018). Essas técnicas aliadas ao uso de dados LiDAR, podem facilitar o mapeamento e a catalogação de ativos de energia de forma precisa, já tendo alcançado taxas de sucesso de 83% em ambientes urbanos e rurais (Massicotte et al., 2024).

O uso de visão computacional para classificação de imagens e extração de características, são amplamente utilizadas para identificar estruturas de redes elétricas e potenciais riscos associados à infraestrutura de distribuição (Zaidi & Tariq, 2023). A integração com IA, por sua vez, aprimora significativamente a inspeção dos ativos de distribuição de energia ao automatizar processos que tradicionalmente são trabalhosos, reduzindo a dependência de inspeções manuais e aumentando a velocidade das avaliações (Neugebauer et al., 2020). A combinação de dados de imagem sintética com imagens reais de drones têm demonstrado um excelente desempenho de detecção de defeitos, alcançando até 92% de precisão na detecção de ativos (Mandati et al., 2024).

Além disso, as estratégias dinâmicas de distribuição de energia orientadas por IA se adaptam aos dados em tempo real, otimizando o gerenciamento de energia e reduzindo as taxas de erro (Oukaira et al., 2024), enquanto robôs móveis autônomos equipados com IA podem realizar inspeções e fornecer informações em tempo real, aprimorando a integridade operacional (Sánchez-Cubillo et al., 2024).

Embora os avanços em IA e visão computacional apresentem benefícios significativos para a inspeção de ativos, ainda existem desafios para garantir a confiabilidade e a validação dessas tecnologias em diversas condições reais. Esses desafios decorrem de questões como qualidade dos dados, adaptabilidade do modelo e necessidade de treinamento contínuo para manter o desempenho (Lopes et al., 2024; Mandati et al., 2024).

Diante do exposto, este trabalho utilizou tecnologias de aprendizado profundo para segmentar imagens e localizar ativos de energia. Como parte da solução, foi desenvolvida uma plataforma web que centraliza as informações coletadas, permitindo a visualização e localização dos ativos e a geração de alertas sobre irregularidades, como uso indevido de postes por empresas de telecomunicações e problemas na iluminação pública. O sistema, que combina hardware e software, integra sensores de visão computacional e modelos de IA para automatizar o monitoramento e oferecer análises precisas e com menor tempo.

## **2. Desenvolvimento**

A gestão eficiente de ativos de energia demanda a integração de diversas tecnologias para aprimorar a identificação, monitoramento e análise desses elementos. O avanço das soluções baseadas em visão computacional e sensores avançados possibilita a coleta automatizada e precisa de dados, facilitando auditorias, manutenções preditivas e controle operacional. Este capítulo apresenta o desenvolvimento do sistema proposto, descrevendo a arquitetura de hardware utilizada para captura de dados e a plataforma web desenvolvida para visualização e gestão das informações processadas.

## 2.1 Sistema de Hardware

Para automatizar o monitoramento e alimentar a plataforma web com imagens e dados georreferenciados, o sistema de hardware desenvolvido foi composto por um conjunto avançado de sensores e dispositivos para captura e análise de dados de infraestrutura elétrica. Entre os principais componentes estão câmeras 360° e RGB de alta resolução, unidade de processamento, sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) e GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite). A integração desses dispositivos possibilita a coleta eficiente e precisa de informações fundamentais para a identificação, monitoramento e análise de ativos da rede elétrica. O sistema foi projetado para ser instalado em qualquer tipo de veículo de passeio ou utilitário leve, garantindo versatilidade e adaptabilidade às necessidades operacionais das concessionárias. O conjunto está representado nas imagens da Figura 1, instalado em dois diferentes veículos.



Figura 1- Configuração do sistema de captura instalado em veículo automotor

A utilização de câmeras 360° de alta resolução e sensores LiDAR permite a criação de bancos de dados robustos para o monitoramento de diversos tipos de ativos, possibilitando o monitoramento dos alvos de interesse conforme as necessidades da distribuidora. E com o emprego de modelos de IA, aprendizado profundo e visão computacional, o monitoramento pode ter ganhos em eficiência, rapidez e precisão (Munir et al., 2023).

No contexto do monitoramento de ativos, a reconstrução de linhas de energia com tecnologias LiDAR e câmeras 3D tem se destacado como uma alternativa superior aos métodos tradicionais, que dependem de inspeções manuais demoradas. Essa abordagem proporciona maior precisão, aquisição ágil de dados e redução significativa de custos operacionais (Ghadimzadeh Alamdari & Ebrahimkhanlou, 2023). Especificamente, o sistema LiDAR permite a reconstrução detalhada da infraestrutura elétrica, utilizando algoritmos para modelagem estocástica da catenária das linhas, tornando a análise mais robusta e confiável (Jwa et al., 2009).

Além disso, no âmbito da gestão de ativos, a digitalização das inspeções visuais desempenha um papel essencial na determinação da condição estrutural e operacional dos elementos da rede elétrica. A automação desse processo possibilita a aquisição eficiente de informações detalhadas sobre estruturas de distribuição, permitindo a definição de intervalos de inspeção mais adequados. Como resultado, essa abor-

dagem pode reduzir custos operacionais e prolongar a vida útil dos ativos, garantindo maior previsibilidade e confiabilidade ao sistema elétrico (Rajora et al., 2022).

A implementação desse sistema foi essencial para viabilizar a proposta deste estudo, pois tornou possível a captura e processamento de dados visuais e espaciais com alto nível de precisão e automação. A capacidade de integrar sensores avançados e algoritmos de IA permitiu identificar ativos da rede elétrica para realizar diagnósticos automatizados de suas condições estruturais e operacionais, aumentando a eficiência da gestão.

Além disso, o sistema foi projetado para ser montado em diferentes veículos, proporcionando escalabilidade e cobertura ampla, permitindo inspeções rápidas e abrangentes em áreas urbanas e remotas, reduzindo a dependência de inspeções manuais tradicionais. Assim, o estudo propõe um modelo que pode ser facilmente replicado e escalado, oferecendo uma solução robusta e inovadora para concessionárias de energia que buscam otimizar suas operações e reduzir custos operacionais.

## *2.2 Modelos de Inteligência Artificial*

O sistema foi desenvolvido com o intuito de capturar imagens e dados das vias públicas para detectar irregularidades e ativos da infraestrutura elétrica, incluindo iluminação pública, redes compartilhadas de telecomunicações, possíveis fraudes elétricas e postes da distribuidora. Para isso, os dados das câmeras 360° e do sensor LiDAR são integrados para criar uma nuvem de pontos tridimensional, permitindo a reconstrução da infraestrutura urbana por meio da tecnologia Street View Imagery (SVI). Essa abordagem possibilitou medir distâncias com alta precisão, geolocalizar elementos da rede elétrica e identificar padrões estruturais.

A Figura 2 apresenta uma nuvem de pontos tridimensional gerada pelo sistema LiDAR, na qual diferentes elementos urbanos foram segmentados automaticamente. Essa representação visual é resultado da fusão de dados de sensores LiDAR e câmeras RGB, permitindo a reconstrução digital do trecho urbano. Na imagem, diferentes elementos da infraestrutura urbana foram segmentados e destacados, incluindo prédios, árvores, postes, vias e sinalização. A abordagem baseada em nuvens de pontos 3D é amplamente utilizada para monitoramento de ativos urbanos, permitindo uma análise precisa de elementos de infraestrutura elétrica, redes compartilhadas de telecomunicações e condições viárias. Essa tecnologia possibilita a criação de modelos digitais altamente detalhados, essenciais para inspeções automatizadas e tomada de decisões estratégicas em concessionárias de energia e órgãos de infraestrutura.



Figura 2 -Segmentação de objetos realizada pelo sistema.

Já a Figura 3 exibe um mapeamento panorâmico 360° gerado pela câmera embarcada, com segmentação automática de objetos. Com essa abordagem foi possível criar um ambiente imersivo e interativo, possibilitando análises detalhadas diretamente na plataforma de visualização.



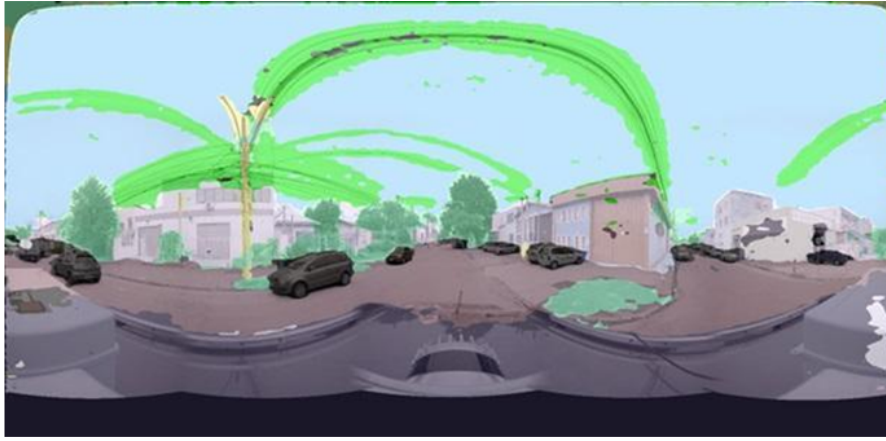


Figura 3 - Detalhe da segmentação de diferentes componentes com uso de redes neurais convolucionais. Ambas as imagens representam diferentes técnicas de captura e processamento de dados espaciais. A nuvem de pontos LiDAR (Figura 2) fornece modelos tridimensionais precisos, ideais para medições de distâncias e volumes, enquanto a imagem panorâmica segmentada (Figura 3) oferece contexto visual detalhado e realista, facilitando a identificação manual de ativos. A fusão dessas informações enriquece a análise e aprimora a gestão automatizada de ativos urbanos, contribuindo para um monitoramento eficiente da infraestrutura elétrica, iluminação pública e redes de telecomunicações.

Para uma visualização eficiente e uma gestão estruturada dos ativos urbanos, foi essencial realizar a identificação automatizada e o georreferenciamento dos postes de energia. A primeira etapa desse processo envolveu o treinamento de modelos de aprendizado de máquina, utilizando redes neurais convolucionais (CNNs) para detectar e classificar automaticamente os postes em ambientes urbanos diversos.

Foram rotuladas aproximadamente 2.300 imagens de diferentes tipos de postes, abrangendo variações de estrutura, iluminação e ângulos de captura. Essas imagens foram então utilizadas para o treinamento de um modelo baseado na FCN-ResNet50, que combina segmentação semântica profunda e aprendizado de características robustas para identificar e diferenciar postes de outros elementos urbanos.

Os testes conduzidos demonstraram uma acurácia de 77% e um recall de 71%, métricas que validam a eficácia do modelo e se alinham a estudos anteriores, como o de Nabeyama et al. (2021), que reportaram acurácia superior a 80% na recuperação de topologias ausentes em redes elétricas. Essa abordagem representa um avanço significativo na digitalização e gestão automatizada de infraestrutura urbana, reduzindo a necessidade de inspeções manuais e otimizando o monitoramento contínuo.

A Figura 4 apresenta exemplos dos resultados da identificação automatizada de postes em imagens panorâmicas. Os postes detectados foram destacados em roxo, demonstrando a capacidade do sistema em reconhecer e segmentar estruturas verticais mesmo em cenários complexos e com sobreposição de fios e outros elementos urbanos.



Figura 4 - Identificação automatizada de postes com uso de redes neurais convolucionais.

A primeira imagem (a) evidencia a capacidade do sistema na detecção precisa de múltiplos desses ativos em um ambiente com grande quantidade de cabos e estruturas próximas, como uma passarela e vegetação, demonstrando a robustez do modelo na separação de elementos urbanos. Já na imagem à direita (b), a segmentação ocorre em um ambiente mais aberto, com menor interferência de objetos no fundo, demonstrando a versatilidade do sistema em diferentes cenários.

Após a identificação dos postes, realizou-se a geolocalização precisa utilizando os dados de GPS do sistema de captura. Esses dados foram sincronizados com as imagens capturadas pelas câmeras, permitindo a estimativa exata da latitude e longitude de cada poste. Para garantir a precisão das informações, os dados obtidos foram comparados com a Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD), possibilitando a validação e auditoria automatizada da infraestrutura.

A Figura 5 apresenta o mapeamento resultante desse processo, evidenciando a correspondência entre os postes identificados pela inteligência artificial (marcados em verde) e os postes já registrados no BDGD (representados em laranja). Além disso, o trajeto percorrido pelo veículo equipado com sensores (indicado em roxo) demonstra a estratégia de captura dinâmica dos dados em campo.



Figura 5 - Mapeamento de postes.

Em termos de eficiência operacional, estima-se que uma equipe a pé percorra aproximadamente 3 km/h para mapear a infraestrutura, enquanto o veículo equipado pode trafegar a até 20 km/h. Essa abordagem proporciona um ganho de eficiência de aproximadamente sete vezes, garantindo maior precisão na geolocalização, redução de custos e otimização das operações de monitoramento e manutenção da rede elétrica.

Com a identificação dos postes de energia, tornou-se possível extrair informações adicionais sobre esses ativos, incluindo a identificação das empresas que utilizam os postes para a fixação de cabos de telecomunicações e a caracterização das luminárias instaladas, como o tipo e a potência das lâmpadas. No primeiro caso, a identificação das plaquetas das empresas foi essencial para contabilizar a quantidade de pontos ocupados por cada operadora nos postes compartilhados. Esse processo foi realizado por meio de uma plataforma web, permitindo o registro e a organização sistemática das informações. As imagens capturadas também foram empregadas no treinamento de uma rede neural, capaz de detectar automaticamente as etiquetas e classificar as empresas, otimizando a auditoria e o gerenciamento do uso compartilhado dos postes. A Figura 6 exemplifica esse processo, destacando diferentes etiquetas afixadas nos cabos e estruturas dos postes.



Figura 6 - Visualização detalhada de etiquetas de identificação em postes para uso compartilhado.

Além da auditoria do uso compartilhado, a solução também foi aplicada à iluminação pública. Para isso, uma rede neural foi treinada para classificar automaticamente as luminárias entre modelos LED e convencionais. A precisão do modelo superou 90%, demonstrando a capacidade do sistema em diferenciar os diferentes tipos de lâmpadas instaladas. A Figura 7 ilustra esse processo, onde as luminárias são identificadas e classificadas por meio de detecção visual, sendo a imagem (a) uma luminária de LED e a imagem (b) uma luminária convencional.



Figura 7 - Classificação entre lâmpadas de LED e convencional

Além da classificação, o sistema foi projetado para realizar a leitura automatizada das etiquetas presentes nas luminárias, utilizando técnicas de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR). Com isso, tornou-se possível extrair informações como a potência das lâmpadas instaladas, permitindo a criação de um inventário detalhado de todo o parque de iluminação pública. A Figura 8 apresenta um exemplo desse processo, onde a luminária é capturada e analisada para extração de suas especificações.



Figura 8 - Exemplo de análise de luminárias de iluminação pública

O uso de redes neurais e visão computacional permitiu uma abordagem automatizada para a detecção e classificação de estruturas elétricas, contribuindo para a otimização da gestão de redes compartilhadas, iluminação pública e unidades consumidoras. Esses dados, uma vez processados, foram integrados a uma plataforma web Street View Imagery (SVI), que facilita a visualização e análise das informações coletadas. A plataforma SVI combinou análise automatizada com validação humana, permitindo um mapeamento



detalhado das condições dos ativos e a detecção de potenciais problemas, reduzindo a necessidade de inspeções manuais demoradas e possibilitando uma resposta mais ágil a falhas e irregularidades.

Um dos principais desafios enfrentados pelas distribuidoras de energia e telecomunicações é a atualização cadastral das unidades consumidoras, especialmente em casos de mudanças de uso não declaradas. Para lidar com essa questão, foi implementado um modelo de rede neural especializado na classificação automática de fachadas de edifícios, diferenciando-os entre uso comercial e residencial.

A classificação de fachadas desempenha um papel crucial na gestão tarifária e regulatória, pois muitas unidades cadastradas como residenciais operam, na prática, como estabelecimentos comerciais, sem a devida atualização junto à distribuidora. Essa discrepância pode gerar distorções na cobrança tarifária e impactar a alocação de recursos para manutenção da infraestrutura. O sistema desenvolvido permitiu que a distribuidora identificasse essas situações de forma rápida e eficiente, garantindo um cadastro mais preciso e transparente.

A Figura 9 ilustra um mapa urbano georreferenciado, onde as edificações foram classificadas e destacadas por cor: verde para residências e amarelo para estabelecimentos comerciais. O trajeto percorrido pelo veículo equipado com sensores está representado por uma linha escura, enquanto os pontos de captura das câmeras são indicados pelas marcações azuis. Esse mapeamento possibilitou uma visão abrangente da distribuição dos diferentes tipos de imóveis ao longo da rede elétrica, permitindo à concessionária direcionar auditorias e atualizações cadastrais de forma estratégica.



Figura 9 - Resultados da classificação automatizada de fachadas de edifícios.

A Figura 10 apresenta exemplos visuais de fachadas classificadas pelo sistema de inteligência artificial. Na primeira imagem (a) observa-se um conjunto de edifícios identificados como comerciais, incluindo lojas e restaurantes. Na imagem à direita (b), um imóvel foi classificado como residencial, destacando a capacidade do modelo de reconhecer padrões arquitetônicos e elementos que diferenciam os tipos de construções.



Figura 10 - Exemplos de fachadas comerciais e residenciais classificadas pelo sistema.

A precisão do modelo na classificação de fachadas ultrapassou 80%, o que permite à distribuidora atualizar seus dados cadastrais de forma mais rápida e representa um avanço significativo na automação da classificação de unidades consumidoras. O cruzamento das informações extraídas pelo modelo com dados cadastrais permite a criação de alertas automáticos para auditorias e ações corretivas. Além disso,



o sistema SVI possibilita a análise visual detalhada de áreas estratégicas, apoiando tomadas de decisão baseadas em dados e promovendo uma maior transparência regulatória.

### 2.3 Plataforma Web para Street View Imaginary (SVI)

Para potencializar a eficiência do monitoramento de ativos urbanos, foi desenvolvida uma plataforma web interativa capaz de integrar, visualizar e analisar os dados processados pelos modelos de inteligência artificial. Com uma interface intuitiva e amigável, a plataforma permite que os usuários acessem as informações de forma dinâmica, facilitando a identificação de falhas, anomalias e tendências operacionais.

A plataforma combina tecnologia de IA e visão computacional para fornecer ferramentas avançadas de análise, permitindo que gestores realizem auditorias automatizadas, acompanhem o ciclo de vida dos ativos e implementem estratégias de manutenção preditiva e corretiva. Além disso, os usuários podem navegar pelos dados de forma interativa, acessando registros detalhados sobre missões realizadas, eventos detectados e histórico de inspeções.

A Figura 11 ilustra a interface da plataforma, destacando a funcionalidade de visualização de missões e trajetos percorridos pelos veículos equipados com sensores de captura de imagens e LiDAR. Esses trajetos são registrados automaticamente no sistema, permitindo um rastreamento preciso das áreas monitoradas e possibilitando comparações entre diferentes períodos de inspeção.

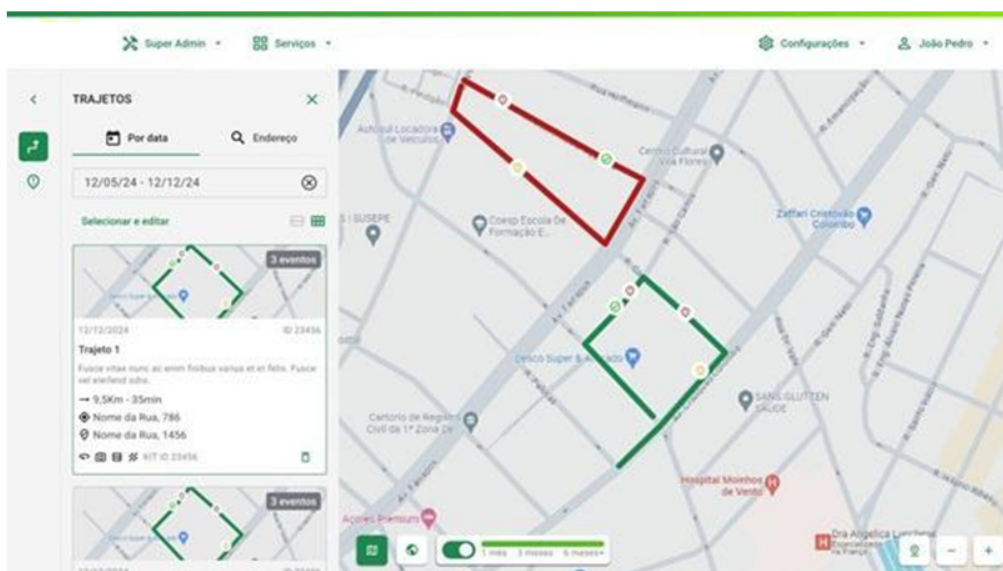


Figura 11 - Interface da plataforma web com trajetos realizados pelos veículos.

A imagem apresenta dois trajetos distintos por polígonos de cores diferentes: verde e vermelho. Cada trajeto é acompanhado por pontos de eventos, indicando registros de ocorrências detectadas ao longo do percurso. A interface permite que os usuários filtrem trajetos por data e endereço, possibilitando uma análise detalhada das áreas monitoradas e facilitando o rastreamento das inspeções realizadas. No painel lateral esquerdo, são exibidos detalhes de trajetos específicos, incluindo distância percorrida, tempo total e endereços de início e fim. O sistema também apresenta um indicador de eventos detectados, permitindo que gestores identifiquem rapidamente anomalias e irregularidades ao longo dos percursos monitorados. Além do rastreamento de missões, a plataforma web SVI oferece um módulo específico para a detecção e análise de eventos e anomalias, conforme ilustrado na Figura 12. Esse recurso permite que os gestores identifiquem rapidamente falhas em ativos urbanos, como postes danificados, luminárias apagadas, cabos irregulares ou invasões de faixas de domínio. Os modelos de IA analisam automaticamente as imagens capturadas e sinalizam possíveis problemas, otimizando o tempo de resposta e reduzindo custos operacionais com inspeções manuais.

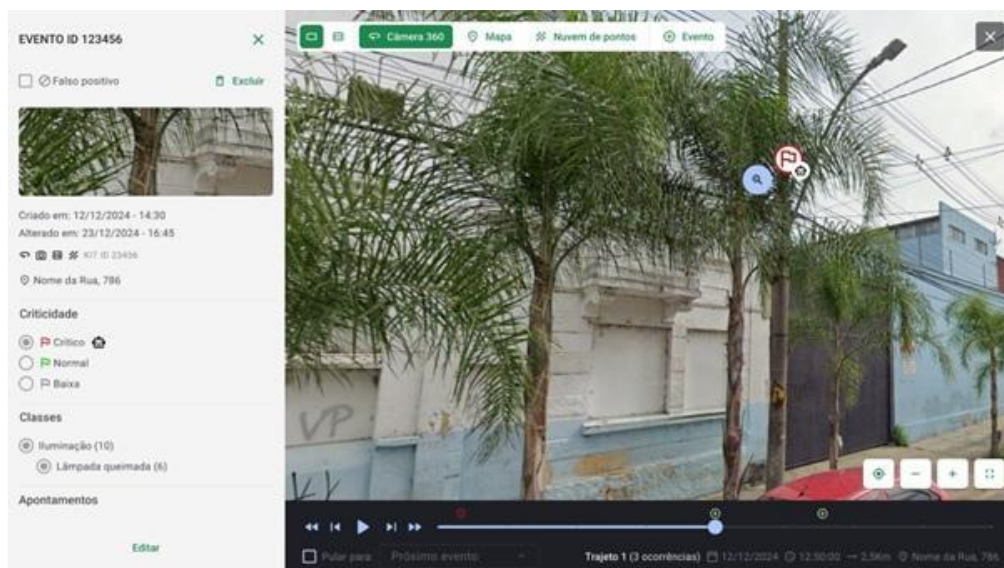


Figura 12 - Evento detectado pela plataforma (lâmpada queimada).

No painel lateral esquerdo da imagem, são exibidas informações detalhadas do evento, incluindo: ID e opções para classificar como falso positivo ou excluir a ocorrência, data e hora da criação e última alteração do evento, endereço do local monitorado, classificação da criticidade, que pode ser crítica, normal ou baixa, categorias da ocorrência, como iluminação pública e lâmpadas queimadas e seção de apontamentos, onde os usuários podem editar e adicionar informações complementares. Na parte superior da interface, há ferramentas de navegação que permitem alternar entre mapa, nuvem de pontos e captura de câmera 360°, possibilitando uma análise detalhada do cenário. Na parte inferior da tela, um player de vídeo exibe um trecho da gravação do trajeto realizado pelo veículo equipado com sensores, permitindo revisão e validação da ocorrência em tempo real.

Outro diferencial da plataforma é a possibilidade de intervenção manual por parte dos usuários, como demonstrado na Figura 13. Caso um evento não tenha sido identificado automaticamente pelos modelos de IA, operadores podem registrar manualmente as anomalias e classificá-las dentro do sistema. Esse recurso amplia a flexibilidade e eficiência da gestão, garantindo que situações específicas ou incomuns sejam documentadas sem a necessidade de retraining imediato dos modelos de IA. Essa abordagem híbrida, que combina inteligência artificial e validação humana, permite um monitoramento mais robusto e preciso, maximizando a confiabilidade dos dados e garantindo a integridade das análises realizadas.

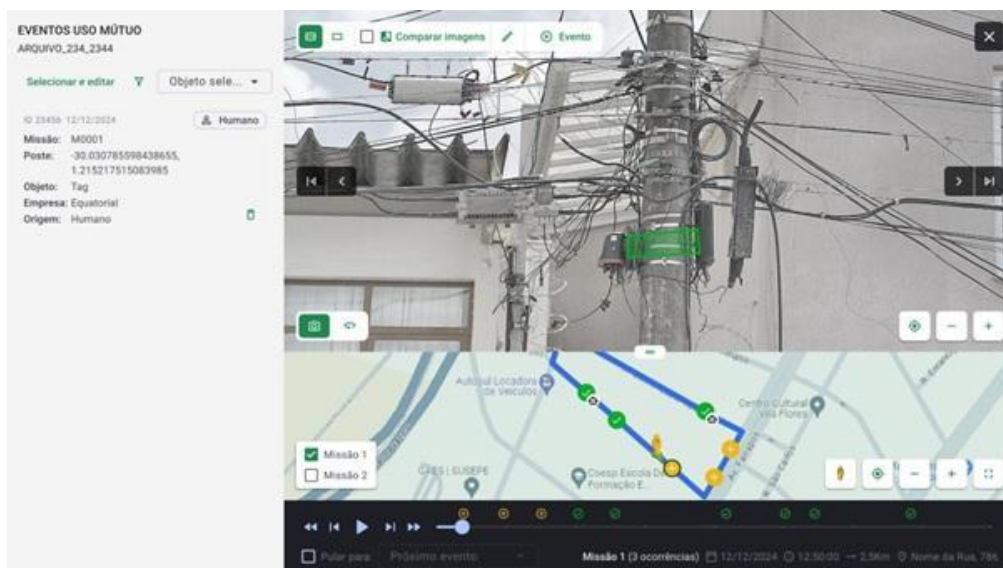


Figura 13 - Exemplo de etiquetas identificadas em ativos de infraestrutura elétrica.

A imagem representando a tela de uso mútuo apresenta, no painel lateral esquerdo, as informações detalhadas sobre o evento detectado, incluindo sua identificação, a possibilidade de edição e seleção de objetos monitorados, a missão associada e as coordenadas geográficas do poste, o que possibilita o georreferenciamento preciso do ativo. Além disso, o painel apresenta a identificação do objeto analisado, como etiquetas e tags, e a empresa responsável pela ocupação do poste, além de informar se a análise foi conduzida por inteligência artificial ou um auditor humano. A parte central da interface exibe uma fotografia detalhada do poste, capturada pela câmera 360°, na qual é possível visualizar etiquetas de identificação e cabos conectados à estrutura, permitindo uma auditoria eficaz do compartilhamento entre empresas. Logo abaixo, encontra-se um mapa interativo que representa a rota percorrida durante a missão de inspeção. Nele, os postes analisados são sinalizados por ícones coloridos, diferenciando aqueles que possuem eventos registrados. Na parte inferior da interface, há um player de vídeo sincronizado com os dados da missão, permitindo a revisão detalhada dos eventos registrados ao longo do trajeto. Essa funcionalidade possibilita análises retrospectivas e a comparação de registros anteriores, proporcionando uma visão ampla e precisa das inspeções realizadas.

A implementação da plataforma web SVI oferece uma organização e facilidade de localização das informações, agilizando a tomada de decisões, contribuindo significativamente para a gestão dos ativos, permeando diferentes estruturas e gerando diversos impactos positivos para a concessionária, como a recuperação de receita, ao reduzir perdas não técnicas, melhor gestão dos usuários de compartilhamento mútuo, e melhor gestão na base de unidades consumidoras.

### 3. Conclusão

A implementação de modelos de IA e visão computacional para a gestão de ativos de energia demonstrou um avanço significativo na otimização das operações das concessionárias. O uso de câmeras 360°, sensores LiDAR e algoritmos de aprendizado profundo permitiu a automatização do monitoramento e a inspeção eficiente de infraestruturas urbanas, incluindo postes, iluminação pública e redes de telecomunicações. A combinação dessas tecnologias possibilitou uma análise detalhada dos ativos, reduzindo a necessidade de inspeções manuais demoradas e promovendo maior precisão nos diagnósticos.

A plataforma web SVI desempenhou um papel central na integração e visualização dos dados coletados, permitindo que gestores acompanhassem os ativos em tempo real e realizassem auditorias automatizadas. A interface interativa facilitou o rastreamento de missões, a detecção de eventos críticos e a geração de alertas sobre possíveis irregularidades. Além disso, a funcionalidade híbrida, que combina IA e intervenção manual, garantiu maior flexibilidade e confiabilidade na análise dos dados, minimizando erros e aprimorando a tomada de decisão.

Os resultados obtidos destacam benefícios diretos na redução de custos operacionais e no aumento da eficiência na manutenção preditiva e corretiva. A identificação automatizada de postes e sua geolocalização possibilitou uma auditoria mais ágil e precisa, enquanto a classificação de fachadas contribuiu para a atualização cadastral de unidades consumidoras, promovendo maior transparência regulatória. Da mesma forma, a detecção automatizada do uso compartilhado de postes entre concessionárias de energia e empresas de telecomunicações auxiliou no controle e gestão desses recursos, evitando ocupações irregulares. A adoção dessa tecnologia representa um modelo escalável e replicável para outras concessionárias e setores de infraestrutura, garantindo a digitalização e modernização das operações. Por fim, este estudo demonstra que a aplicação de IA e visão computacional no setor energético é um caminho promissor para aprimorar a confiabilidade da rede elétrica, otimizar a alocação de recursos e reduzir perdas operacionais.

#### **Agradecimentos**

Agradecemos à CEMIG e a todos os técnicos envolvidos pelo suporte e financiamento deste trabalho, realizado no âmbito do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel nº P&D-04950-0661. Esse apoio foi essencial para o desenvolvimento das soluções apresentadas, contribuindo significativamente para a inovação do setor de energia.

## **4. Referências bibliográficas**

- Badfar, M.; Chinnam, R. B.; Yildirim, M. Adaptable and Generic Methods for Monitoring and Prognostics of Energy Assets. In: Annual Conference of the PHM Society, v. 16, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.36001/phmconf.2024.v16i1.4216>
- Bieser, G. 35 Asset Management in the Energy Transition: Requirements and Technologies. In: O. Doleski & M. Freunek (Ed.), Handbook of Electrical Power Systems: Energy Technology and Management in Dialogue, p. 695-714. Berlin, Boston: De Gruyter. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783111264271-035>
- GHADIMZADEH ALAMDARI, A.; EBRAHIMKHANLOU, A. A robotic approach for crack detection through the integration of cameras and LiDARs. In: (Z. Su, M. P. Limongelli, B. Glisic, Org.) 2023, Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2023. : SPIE, 2023. p. 4. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.2658110>
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. Deep Learning. [S. l.]: MIT Press, 2016. E-book. Disponível em: <http://www.deeplearningbook.org>. Acesso em: 1 dez. 2024.
- JWA, Y.; SOHN, G.; KIM, H. B. AUTOMATIC 3D POWERLINE RECONSTRUCTION USING AIRBORNE LiDAR DATA Commission III WG 2. [S. l.: s. n.].
- Lopes, F.; Rocha, P.; Coelho, A. Towards Automated Visual Inspection of Electrical Grid Assets for the Smart Grid - An Application to HV Insulators. In: IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm), Oslo, Norway, 2024, p. 347-352. DOI: 10.1109/SmartGridComm60555.2024.10738034.



MAHOOR, M.; MAJZOBI, A.; KHODAEI, A. Distribution asset management through coordinated microgrid scheduling. *IET Smart Grid*, v. 1, n. 4, p. 159–168, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2018.0076>

Mandati, R.; Anderson, V.; Chen, P.; Agarwal, A.; Dokic, T.; Barnard, D.; Finn, M.; Cromer, J.; Mccauley, A.; Tutaj, C.; Dave, N.; Besharati, B.; Barnett, J.; Krall, T. Integrating Artificial Intelligence Models and Synthetic Image Data for Enhanced Asset Inspection and Defect Identification. *Computer Vision and Pattern Recognition*, v. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.11967>

Massicotte, P.; Leclaire, L-A.; Gaha, M.; Houle, G.; Buteau, C. Automated Inventory of Electrical Distribution Assets Based on Image Recognition and Ground LiDAR. In: 32nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Lyon, France, 2024, p. 486-490. DOI: <https://doi.org/10.23919/EUSIP-CO63174.2024.10715006>.

MUNIR, N.; AWRANGJEB, M.; STANTIC, B. Power Line Extraction and Reconstruction Methods from Laser Scanning Data: A Literature Review. *Remote Sensing*, v. 15, n. 4, p. 973, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs15040973>

NABEYAMA, G. N.; ASADA, E. N.; MATRAKAS, M. Identificação de Topologia de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica por Métodos de Aprendizagem Inteligentes. In: 2021, Anais [...]. : Sociedade Brasileira de Automatica, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.48011/sbse.v1i1.2487>

NEUGEBAUER, T.; WOLGAST, T.; NIESSE, A. Dynamic Inspection Interval Determination for Efficient Distribution Grid Asset-Management. *Energies*, v. 13, n. 15, p. 3875, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13153875>

Oukaira, A.; Karime, A.; Roberge, V.; Tarbouchi, M. Toward Increased Energy Efficiency and Proactive Management of Electrical Grids Based on AI. In: International Conference on Computing, Internet of Things and Microwave Systems (ICCIMS), Gatineau, QC, Canada, 2024, p. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCIMS61672.2024.10690565>.

RAJORA, G. Ial; SANZ-BOBI, M. A.; DOMINGO, C. M. Application of Machine Learning Methods for Asset Management on Power Distribution Networks. *Emerging Science Journal*, v. 6, n. 4, p. 905–920, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.28991/ESJ-2022-06-04-017>

Sanchez-Cubillo, J.; Del Ser, J.; Martin, J.L. Toward Fully Automated Inspection of Critical Assets Supported by Autonomous Mobile Robots Vision Sensors, and Artificial Intelligence. *Sensors*, v.24, n.12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24123721>

ZAIDI, M. A.; TARIQ, F. Revolutionizing power line inspection: automated data acquisition through autonomous UAVs in simulated environment. *South Florida Journal of Development*, v. 4, n. 3, p. 1199–1215, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n3-014>