



Monitoramento Automático de Vegetação em Faixas de Servidão com Uso de Inteligência Artificial

Tema: ESG - Environmental, Social and Governance

Autores: Matheus Felipe Gremes (1,2), Klysman Hoentsch (1), Luciane Calabria (1)

Co-Autores: Antonio Oseas de C. Filho (3), Andressa Ullmann Duarte Heberle (1), Janice Adamski (1), Leonardo Menezes (1), Fábio Grubert (1), Oswaldo Curty da Motta Lima (2), Pedro Henrique Tancredo Campos, Thales Gonçalves de Queiroz (4), Irauadi Machado da Silva Mendes (4). (1) Pix Force Tecnologia S.A, 90240-200, Porto Alegre, RS, Brasil; (2) Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá (UEM), 87020-900, Maringá, PR, Brasil; (3) Departamento de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Teresina, PI, 64049-550, Brasil. (4) Eletrobras Centrais Elétricas Brasileiras S.A., 20091-005, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Empresa: Pix Force S.A.

Resumo

O manejo inadequado da vegetação em faixas de servidão representa um dos maiores desafios para as concessionárias de energia elétrica, contribuindo significativamente para interrupções no fornecimento, danos estruturais e até mesmo incêndios, gerando implicações significativas nas dimensões ambiental, social e de governança. Tradicionalmente, o monitoramento dessas áreas é realizado por meio de inspeções in loco, que demandam alto custo e apresentam limitações logísticas. Diante desse cenário, avanços recentes em sensoriamento remoto e inteligência artificial oferecem alternativas promissoras para abordar o problema de maneira mais eficiente e econômica. Neste artigo, apresentamos uma solução inovadora desenvolvida pela Pix Force em parceria com a Eletrobras, por intermédio do projeto PD-00394-2203/2022, com a implementação do monitoramento automatizado de vegetação em faixas de servidão de linhas de transmissão de energia, com foco em segurança, eficiência e redução de custos. A metodologia combina imagens multiespectrais gratuitas da missão Sentinel-2 e técnicas de inteligência artificial, utilizando redes neurais profundas para estimar a altura da vegetação. Os resultados preliminares apresentaram a estimativa de altura da vegetação, validado em diferentes condições sazonais e seu potencial para mitigar riscos ambientais. Este estudo destaca o potencial das tecnologias de sensoriamento remoto e inteligência artificial para modernizar e tornar mais sustentável a gestão de faixas de servidão no setor elétrico.

1. Introdução

O monitoramento de vegetação em faixas de servidão é uma tarefa essencial para garantir a segurança e a continuidade no fornecimento de energia elétrica e a sustentabilidade das operações das concessionárias. Vegetação excessiva próxima às linhas de transmissão pode causar interrupções no fornecimento, danos estruturais e até mesmo incêndios, configurando um desafio significativo para as concessionárias de energia. Estudos indicam que cerca de 40% das interrupções em redes de transmissão são atribuídas ao manejo inadequado da vegetação (RAMOS, 2024). Tradicionalmente, a inspeção dessas áreas é realiza-

da por helicópteros ou equipes terrestres, métodos que, apesar de eficientes, apresentam altos custos e limitações logísticas, tornando inviável a realização frequente dessas atividades (GAZZEA, 2021).

Nos últimos anos, avanços em tecnologias de sensoriamento remoto e inteligência artificial abriram novas possibilidades para o monitoramento de vegetação em larga escala. Imagens orbitais, como as fornecidas pela missão Sentinel-2, têm se mostrado uma ferramenta promissora devido à sua alta disponibilidade, resolução espacial moderada e curto intervalo de revisita, permitindo a coleta frequente de dados sobre o uso e cobertura da terra (LANG, 2023; GREMES, 2024). Essa combinação de alta frequência e acessibilidade tem sido explorada para uma ampla gama de aplicações, incluindo o monitoramento da saúde de florestas, a agricultura de precisão e, mais recentemente, o gerenciamento de vegetação em faixa de servidão das linhas de transmissão de energia (DE BEM, 2020).

Paralelamente, as redes neurais profundas têm revolucionado a análise de dados complexos, proporcionando soluções inovadoras para problemas antes considerados intratáveis. No contexto de imagens de satélite, essas técnicas têm permitido a extração de informações detalhadas, como a estimativa de altura da vegetação e a identificação de padrões de crescimento, com alta acurácia (SHAFIQUE, 2022). Estudos recentes demonstram que a combinação de imagens multiespectrais e modelos baseados em inteligência artificial pode superar as abordagens tradicionais em termos de custo e eficiência (SRIVASTAVA, 2024).

Apesar dos avanços mencionados, a aplicação integrada dessas tecnologias para o monitoramento recorrente e automatizado de faixas de servidão ainda é pouco explorada. Além disso, poucos sistemas conseguem equilibrar a precisão necessária para identificar áreas de risco com a viabilidade econômica, especialmente utilizando dados orbitais gratuitos. A necessidade de soluções que possam reduzir custos, otimizar o planejamento de recursos e ampliar a frequência das inspeções é cada vez mais evidente. Essa necessidade reflete o compromisso com a eficiência operacional e a sustentabilidade, elementos cruciais para atender às expectativas ambientais, sociais e de governança no setor elétrico.

Este artigo apresenta uma abordagem inovadora que utiliza imagens de satélite gratuitas e técnicas de inteligência artificial para monitorar o crescimento horizontal e vertical da vegetação em faixas de servidão. O sistema proposto será capaz de identificar áreas que necessitam de corte seletivo, as quais serão exibidas em uma plataforma capaz de emitir alertas automáticos e exibir as informações em um mapa interativo. Os resultados preliminares mostram que a solução é capaz de estimar a altura da vegetação em diferentes condições sazonais e ambientais. Assim, a solução apresentada oferece uma alternativa viável e escalável para enfrentar os desafios associados ao monitoramento de vegetação, contribuindo para a modernização e eficiência do setor elétrico, além de promover o uso eficiente de recursos e a mitigação de impactos ambientais.

2. Desenvolvimento

A solução proposta integra tecnologias de sensoriamento remoto e inteligência artificial para monitorar e gerenciar a vegetação em faixas de servidão de forma automatizada e econômica, além disso, promove a eficiência operacional e reduz os impactos ambientais. A metodologia desenvolvida segue a linha de estudos relatados por LANG, 2023, com adaptações para o contexto de monitoramento de redes elétricas. O desenvolvimento do sistema seguiu as etapas descritas a seguir:

- **Coleta de Dados:** Foram utilizadas imagens multiespectrais obtidas pelos satélites da missão Sentinel-2, que oferecem alta frequência de revisita e resolução espacial de 10 metros. Essas imagens permitem o monitoramento recorrente da vegetação ao longo do tempo, possibilitando a detecção de mudanças na altura e densidade da vegetação. Para garantir a robustez dos modelos, foram selecionados intervalos de

coleta durante diferentes estações do ano, permitindo análises sob diversas condições de cor e densidade da vegetação.

- **Processamento e Análise de Imagens:** As imagens coletadas passaram por pré-processamento, que incluiu correção atmosférica, remoção de ruídos e georreferenciamento. Em seguida, redes neurais convolucionais profundas (CNN) foram empregadas para estimar a altura da vegetação a partir dos dados espectrais. O treinamento da rede utilizado neste estudo foi disponibilizado à comunidade científica por meio do trabalho de Lang et al. (2023). O modelo, descrito detalhadamente no artigo, foi calibrado com base em dados de referência obtidos por métodos tradicionais de medição de altura das copas, garantindo a precisão dos resultados. Essa abordagem nos permitiu aplicar o modelo diretamente ao nosso contexto de monitoramento, validando sua eficácia nas condições específicas do estudo.
- **Geração de Alertas Automáticos:** Com base nas estimativas de altura de vegetação geradas pelo modelo, o sistema identifica automaticamente áreas que ultrapassam os limites de segurança definidos pelas normas da concessionária. Essas áreas são sinalizadas como prioritárias para inspeção e corte seletivo. O sistema emite alertas automáticos, integrados a uma plataforma web com exibição em mapa interativo, permitindo a visualização rápida e eficiente das zonas que requerem ação.

Os resultados obtidos no desenvolvimento e testes iniciais do sistema mostram que a abordagem proposta é viável, trazendo benefícios quando comparada a métodos tradicionais. Para este estudo, relatamos os testes realizados em uma das faixas de servidão da Eletrobras, utilizando como referência a “LT 500 kV Serra da Mesa - Samambaia C2,” que abrange os vãos entre as torres 470 e 488, com uma distância total de 7,5 km.

A seguir, apresentamos os dados coletados em 13/09/2024, Figura 1. As áreas analisadas com foco na altura da vegetação, estão representadas pelos polígonos brancos.

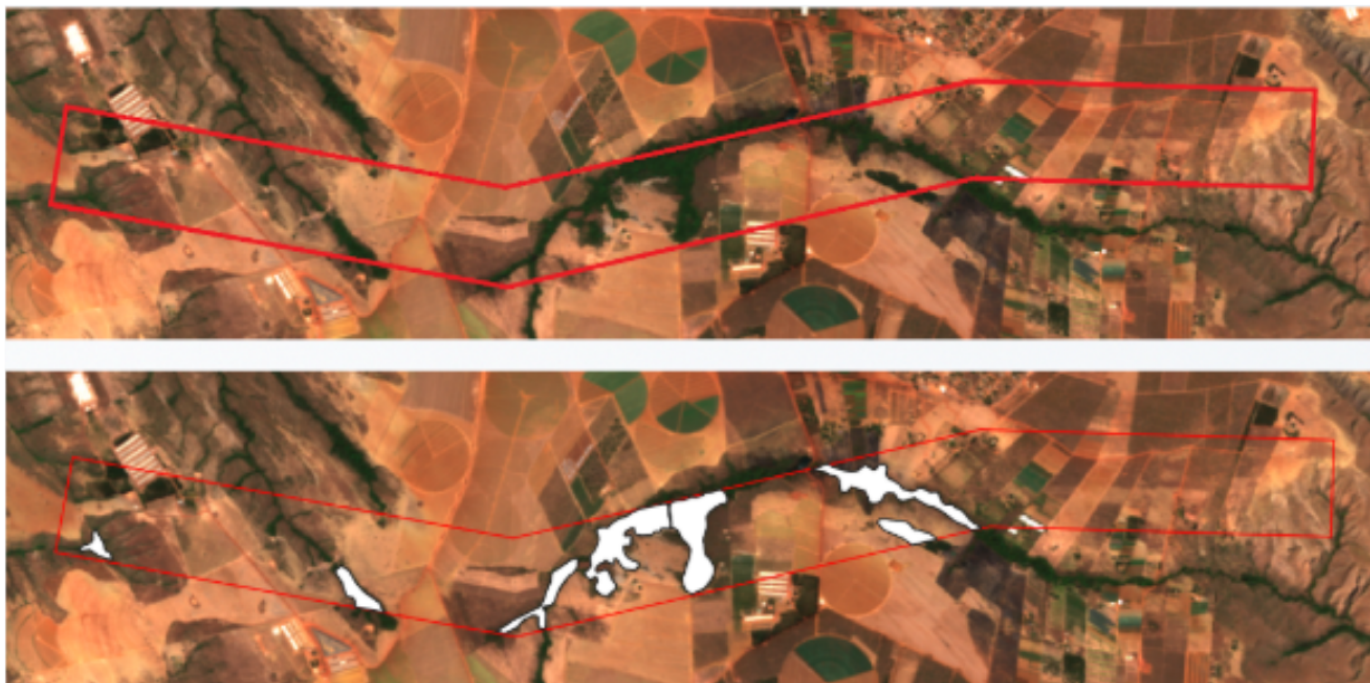


Figura 1 - Imagens de satélite da área a ser analisada.

A área analisada foi subdividida em regiões menores (Figura 2) e a diferença entre as coordenadas do topo da vegetação e do solo foi calculada.



Figura 2 - Subdivisões da área analisada.

A média das alturas dessas subdivisões foi comparada com as informações de altura do solo obtidas pelos dados de drone, permitindo uma avaliação da estimativa gerada pelo modelo de satélite. A Tabela 1 apresenta o comparativo entre a altura da vegetação determinada via imagens de satélite vs drone.

Tabela 1 - Comparativo da altura de vegetação determinada via satélite vs drone.

Modelo Sentinel 2	Modelo Drone	Diferença
8,7 metros	9,9 metros	1,2 metros
11,5 metros	12,2 metros	0,7 metros
12,5 metros	9,51 metros	2,99 metros
12,1 metros	8,86 metros	3,24 metros
7,3 metros	8,23 metros	0,93 metros
9,54 metros	5,68 metros	3,86 metros
5,61 metros	6,67 metros	1,06 metros

O modelo de estereoscopia foi desenvolvido para obter o Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de duas cenas de satélite da mesma localização geográfica, mas com perspectivas angulares distintas. Então, o MDE foi utilizado para extrair dados altimétricos da vegetação e outras feições no terreno. A partir dessas estimativas, foi possível calcular a cota do topo da vegetação e compará-la com o modelo de altura gerado por aerofotogrametria realizada com dados de drone.

Uma vez validada a altura da vegetação, a projeção da catenária do vão foi realizada para verificar se a distância entre o topo da vegetação e a rede elétrica estava dentro dos parâmetros de segurança predefinidos, Figura 3.

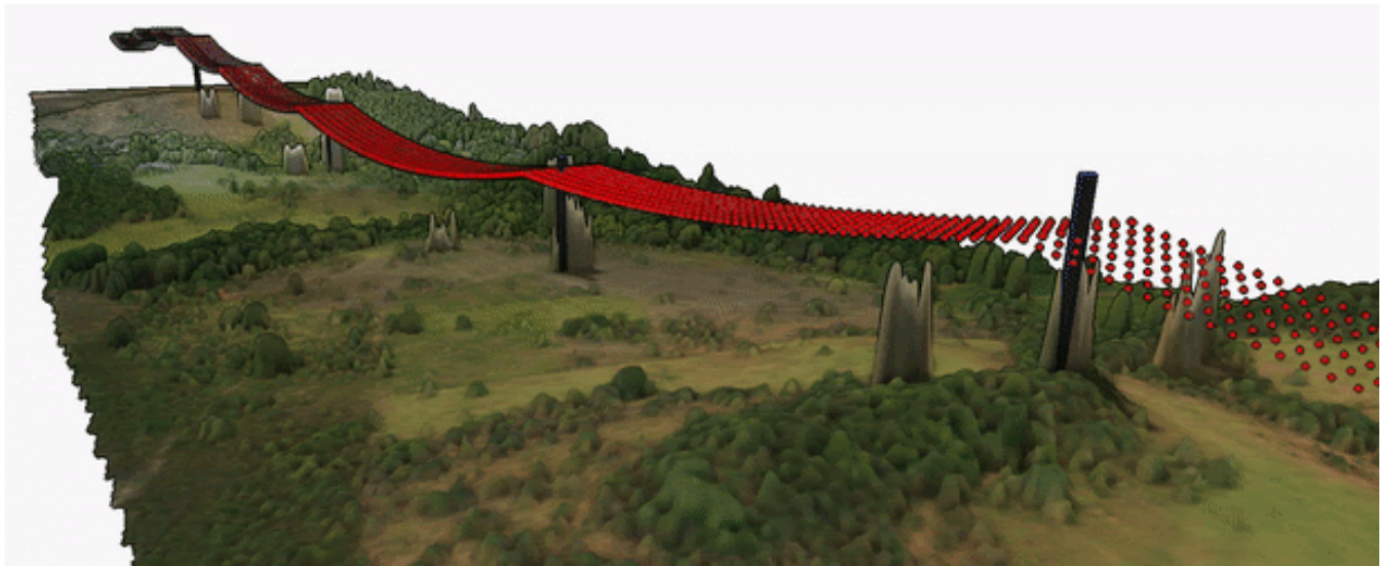


Figura 3 - Projeção da catenária do vão da linha de transmissão analisada.

O estudo vem sendo conduzido com testes em duas abordagens metodológicas distintas: uma baseada em inteligência artificial aplicada a imagens do Sentinel-2 e outra que utiliza pares estéreos de imagens da constelação SkySat, fornecidos pela Planet. Para os próximos passos da metodologia que utiliza IA e Sentinel-2, planejamos expandir os levantamentos de dados em campo para investigar possíveis padrões estatísticos nos desvios e aprimorar a consistência dos resultados.

Todavia, os resultados obtidos neste estudo demonstram o potencial de integração de tecnologias de sensoriamento remoto e inteligência artificial para o monitoramento eficiente e econômico de vegetação em faixas de servidão. A metodologia desenvolvida, baseada na combinação de imagens do Sentinel-2 e redes neurais convolucionais profundas (CNN), apresentou resultados promissores, especialmente considerando a natureza gratuita dos dados orbitais utilizados.

A implementação do sistema de monitoramento automatizado proposto neste estudo traz uma série de benefícios operacionais significativos para o setor elétrico. Primeiramente, destaca-se a redução expressiva nos custos operacionais. As inspeções in loco, realizadas tradicionalmente por equipes terrestres ou helicópteros, podem ter seus custos diminuídos em até 50%, devido à substituição parcial por análises automatizadas com base em imagens de satélite. Além disso, os custos com manutenções corretivas serão reduzidos, pois o sistema será capaz de prever áreas críticas e priorizar ações preventivas. Essa abordagem também resulta em uma economia nos gastos com deslocamentos de equipes, já que os alertas automáticos permitem um direcionamento mais preciso e eficiente para os locais que realmente necessitam de intervenção.

Outro benefício relevante é o aumento da eficiência e da eficácia das operações. O tempo necessário para realizar inspeções pode ser reduzido em 60%, otimizando a frequência e a abrangência das análises, sem a necessidade de presença física constante em campo. Além disso, a eficácia na detecção de áreas críticas aumenta em 90%, pois os alertas gerados pelo sistema automatizado permitem ações mais rápidas e direcionadas, reduzindo erros humanos e melhorando a confiabilidade nas tomadas de decisão.

O sistema também promove uma otimização significativa no uso de recursos humanos e materiais. As equipes técnicas podem concentrar seus esforços em atividades mais estratégicas e complexas, enquanto

as inspeções repetitivas ou de baixa prioridade são realizadas de forma automatizada. Além disso, há uma redução no desgaste e na necessidade de manutenção de veículos e equipamentos, devido à menor frequência de deslocamentos.

Por fim, o sistema contribui para a sustentabilidade e a segurança das operações. A redução no uso de veículos e helicópteros nas inspeções não apenas diminui os custos operacionais, mas também mitiga o impacto ambiental, reduzindo as emissões de carbono associadas às atividades tradicionais de monitoramento. Simultaneamente, a segurança das equipes é ampliada, pois a exposição a ambientes de risco ou de difícil acesso é consideravelmente reduzida. Esses benefícios evidenciam o potencial transformador da solução proposta, promovendo maior eficiência operacional e alinhamento com as demandas de modernização e sustentabilidade do setor elétrico.

3. Conclusão

O monitoramento de vegetação em faixas de servidão de linhas de transmissão é um desafio crítico para a operação segura e eficiente das concessionárias de energia elétrica. Neste contexto, a solução apresentada neste estudo, desenvolvida pela Pix Force em parceria com a Eletrobras, representa um avanço significativo ao demonstrar como a integração de imagens de satélite gratuitas e técnicas avançadas de inteligência artificial pode superar as limitações dos métodos tradicionais de inspeção.

Os resultados alcançados evidenciam a viabilidade técnica e econômica da abordagem proposta. O sistema desenvolvido mostrou-se capaz de estimar a altura da vegetação permitindo a identificação de áreas que requerem corte seletivo. Além disso, a implementação dessa tecnologia resultará em reduções substanciais nos custos operacionais e no tempo necessário para inspeções in loco, além de um aumento expressivo na eficácia das inspeções em campo.

Esses benefícios têm implicações diretas para o setor elétrico, contribuindo para a otimização do planejamento e da alocação de recursos, bem como para a redução de riscos associados ao crescimento descontrolado da vegetação. A solução também possibilitará uma maior frequência de monitoramento, aumentando a previsibilidade e a capacidade de resposta das concessionárias às demandas operacionais. Com base nos resultados apresentados, este estudo reforça a importância da adoção de tecnologias emergentes, como o sensoriamento remoto e a inteligência artificial, para modernizar a gestão de infraestruturas críticas.

4. Referências bibliográficas

DE BEM, Pablo Possobon; CARVALHO Jr, Osmar Abílio; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. Change detection of deforestation in the Brazilian Amazon using landsat data and convolutional neural networks. *Remote Sensing*, 2020, 12(6), 901. <https://doi.org/10.3390/rs12060901>

GAZZEA, Michele; PACEVICIUS, Michel; DAMMANN, Dyre Oliver; SAPRONOVA, Alla; LUNDE, Torleif Markussen; ARGHANDEH, Reza. Automated power lines vegetation monitoring using high-resolution satellite imagery. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2021, 37(1), 308-316. doi: 10.1109/TPWRD.2021.3059307

GREMES, M. F., GOMES, R. C., HEBERLE, A.U. D., BERGMANN, M. A., RIBEIRO, L. T., ADAMSKI, J., SANTOS, F. A.; MOREIRA, A. V. R.; LAMEIRÃO, A. M. M. S.; TOLEDO, R. F.; FILHO, A. O. C.; ANDRADE, C. M. G.; LIMA, O. C. M. NTL-Unet: A Satellite-Based Approach for Non-Technical Loss Detection in Elec-

tricity Distribution Using Sentinel-2 Imagery and Machine Learning. *Sensors*, 2024, v. 24, n. 15, p. 4924. <https://doi.org/10.3390/s24154924>

LANG, Nico; JETZ, Walter; SCHINDLER, Konrad; WEGNER, Jan Dirk . A high-resolution canopy height model of the Earth. *Nature Ecology & Evolution*, 2023, v. 7, n. 11, p. 1778-1789. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02206-6>

RAMOS, Daniel, Os Desafios da Redução das Interrupções no Fornecimento de Energia no Brasil". *O Setor Elétrico*. Setembro de 2024. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SRIVASTAVA, Anubhava; SHARMA, Himanshu. AI-driven environmental monitoring using Google Earth Engine. In: *IoT Sensors, ML, AI and XAI: Empowering A Smarter World*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 375-385. DOI:10.1007/978-3-031-68602-3_19.

SHAFIQUE, Ayesha; CAO, Guo; KHAN, Zia; ASAD, Muhammad; ASLAM, Muhammad. Deep learning-based change detection in remote sensing images: A review. *Remote Sensing*, 2022, 14(4), 871. <https://doi.org/10.3390/rs14040871>