

Metodologia para priorização de podas de árvores em redes elétricas

Giovanni Moura de Holanda

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Rua Aguaçu, 79, Campinas - SP, 13098-321
gholanda@fitec.org.br

Fabício Cristófani

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Rua Aguaçu, 79, Campinas - SP, 13098-321
fabrioci Cristofani@fitec.org.br

Jorge Moreira de Souza

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Rua Aguaçu, 79, Campinas - SP, 13098-321
jmdsouza@fitec.org.br

Laura Giovanna Freitas Castro

Equatorial
Alameda A, 100, São Luís - MA, 65070-636
laura.castro@equatorialenergia.com.br

Matheus Chaves Menezes

EQT Lab
Alameda A, 100, São Luís - MA, 65070-636
matheus.menezes@eqtlab.com.br

Djelson C. Sales

Equatorial
Alameda A, 100, São Luís - MA, 65070-636
djelson.sales@equatorialenergia.com.br

Adélio B. Bastos Barbosa

Equatorial
Alameda A, 100, São Luís - MA, 65070-636
adelio.barbosa@equatorialenergia.com.br

Orlando da Silva Santos

Equatorial
Alameda A, 100, São Luís - MA, 65070-636
orlando.santos@equatorialenergia.com.br

RESUMO

Este artigo, desenvolvido no âmbito de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da ANEEL, apresenta uma metodologia para priorização de podas de árvores em redes elétricas, visando aumentar a confiabilidade do sistema e reduzir interrupções causadas por contato da vegetação com redes energizadas. A abordagem utiliza tecnologias de sensoriamento remoto para extração de parâmetros críticos da vegetação. Os resultados preliminares apresentaram correlação entre a metodologia automatizada e a análise humana dos resultados, aumentando a assertividade de identificação de áreas com vegetação crítica para a confiabilidade da rede. A metodologia em desenvolvimento representará um avanço na gestão de vegetação em redes elétricas, promovendo automação, eficiência e capacidade de decisão embasada em dados objetivos. Trata-se de uma solução alinhada com as regras de negócio de uma concessionária de distribuição de energia, capaz de reduzir riscos operacionais e otimizar alocação de recursos para controle preventivo da vegetação.

PALAVRAS CHAVE. Gestão da vegetação, otimização, poda de árvores, confiabilidade de redes elétricas.

Tópicos. EN&OG – PO na Área de Energia, Óleo e Gás; AS&DS – Análise e Ciência de Dados; OMO – Otimização Multiobjetivo.

ABSTRACT

This paper, developed within the scope of ANEEL's Research, Development and Innovation projects, presents a methodology for prioritizing tree pruning in power grids, aiming at increasing system reliability and reducing damage caused by vegetation contact with energized grids. The approach uses remote sensing technologies to extract critical parameters from vegetation images. Preliminary results presented the correlation between the automated methodology and human analysis of the results, seeking to increase the assertiveness of identifying areas with critical growth for grid reliability. The methodology in progress will represent a significant advance in vegetation management in power grids, promoting automation, efficiency and decision-making capacity based on objective data. It is a solution aligned with business rules of an energy distribution utility, able of reducing operational risks and optimizing resource allocation for preventive control of the vegetation.

KEYWORDS. Vegetation management, optimization, tree pruning, reliability of power grids.

Topics. EN&OG – OR in Energy, Oil and Gas; AS&DS- Data Science and Analytics; OMO- Multi objective optimization.

1. Introdução

Para uma concessionária de energia elétrica, a gestão da vegetação contribui diretamente para garantir a confiabilidade e a segurança de suas redes de transmissão e distribuição de energia, evitando interrupções relacionadas à vegetação. Isso requer o estabelecimento de faixas de segurança adequadas entre a vegetação e as linhas de energia para prevenir interrupções por crescimento excessivo e reduzir o risco de incêndio, o aprimoramento dos procedimentos de poda, o manejo por meio da alocação otimizada de equipes e equipamentos, e a adoção de práticas que promovam a conservação ambiental e valorizem a biodiversidade. Nesse sentido, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabelece algumas normas diretivas sobre faixas de segurança entre a rede elétrica e a vegetação, para garantir segurança e continuidade do serviço, entre elas, as Resoluções Normativas ANEEL nº 9015/2021 e 905/2020 [ANEEL 2021a], [ANEEL 2020].

A interferência da vegetação nas linhas da rede elétrica é uma causa significativa de quedas de energia e incêndios, representando aproximadamente 30% das interrupções não programadas no fornecimento de energia no Brasil, se considerarmos dados anteriores a 2022 [Curtarelli et al. 2022]. Portanto, práticas específicas de gestão da vegetação, que permitam um controle mais efetivo do planejamento e operação de podas de árvores, desempenham um papel significativo para reduzir os riscos relacionados à interrupção não programada do fornecimento de energia elétrica de uma concessionária. Estudos europeus e norte-americanos – [DOE 2015], [Wismer 2018], [Tervo et al. 2020] – demonstram que programas de poda de árvores priorizando áreas de maior risco e com predominância de interferências podem reduzir o risco de interrupções entre 33% e 50%.

Atuando nesse sentido, um sistema de gestão operacional baseado no uso de imagens de sensoriamento remoto e em algoritmos de inteligência artificial (IA) possibilita às concessionárias agilizar as operações, com informações sobre como segmentar a vegetação com precisão e prever riscos de interrupção do fornecimento de energia, levando a uma alocação otimizada dos recursos de controle da vegetação sobre as linhas de transmissão e distribuição - ver, por exemplo, [Jumbo e Moghaddass 2022] e [Jaramillo-Leon e Leite 2022], este último apresentando um cronograma de podas para redes aéreas de distribuição de energia elétrica, obtido com a aplicação de processos de otimização e função multiobjetivo.

A partir de imagens aéreas de segmentos da vegetação ao redor da rede elétrica, são observados vários parâmetros relativos, como a menor distância da vegetação em relação à linhas de transmissão e distribuição, volume da vegetação acima de uma determinada altura, altura média e máxima etc. Os limites de criticidade desses parâmetros em relação à ação da vegetação devem ser ajustados conforme a característica da região, ou seja, não existe um padrão a ser aplicado; não obstante, deve-se analisar toda a região a ser supervisionada e determinar um padrão que atenda os setores críticos e tenha bom grau de certeza nos demais setores de atuação da concessionária.

O trabalho de pesquisa objeto deste artigo compreende o desenvolvimento da metodologia sistemática para calibragem dos limiares de criticidade derivados de parâmetros extraídos de imagens de sensoriamento remoto da vegetação, intitulada “Metodologia de Ajustes de Parametrização para Cálculo de Índices de Vegetação”. Essa metodologia faz parte do projeto Rede Limpa da Equatorial Energia, conduzido no âmbito do programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). A abordagem metodológica é aplicada de forma setorial em uma área de interesse, comparando-se as prioridades definidas por especialistas da concessionária com aquelas inferidas a partir de limiares preestabelecidos, baseados nos atributos obtidos nas imagens. Os índices de vegetação são computados por meio da plataforma IBM EIS-Vegetation, que também gera um indicador de prioridade de poda. Esse indicador resulta de uma otimização ponderada dos limiares críticos, assegurando que as decisões de manutenção reflitam tanto o conhecimento técnico de campo quanto as informações quantitativas derivadas do sensoriamento remoto.

Esse conhecimento fundamenta o desenvolvimento subsequente de uma abordagem multicritério, integrando indicadores de vegetação derivados de sensoriamento remoto e

parâmetros operacionais específicos da concessionária. Dessa forma, torna-se possível gerar um modelo de priorização robusto, capaz de fornecer informações consolidadas para a seleção de intervenções de controle de vegetação em trechos da rede elétrica com maior probabilidade de comprometimento dos serviços.

Para expor os princípios fundamentais da metodologia de ajustes de parametrização e demonstrar sua aplicação por meio de dados reais fornecidos por uma concessionária, voltados à priorização das operações de poda arbórea, o presente artigo está estruturado da seguinte forma. Inicialmente, no Capítulo 2, discute-se o impacto da vegetação sobre a confiabilidade da rede elétrica de distribuição. Em seguida, o Capítulo 3 aborda as contribuições iniciais para a identificação de setores sensíveis, cuja priorização de poda apoia-se nos indicadores de continuidade (DEC/FEC) da ANEEL, permitindo quantificar a influência da vegetação nas interrupções de fornecimento. O Capítulo 4 define os indicadores de priorização alinhados à política interna de gestão de poda e sintetiza as etapas de otimização dos ajustes paramétricos, avaliadas pelo índice de acerto relativo à priorização e pela taxa de concordância entre o parecer dos especialistas e os resultados obtidos por sensoriamento remoto. Por fim, no Capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões do estudo e os desdobramentos futuros desta metodologia.

2. Identificação do problema e metodologia

2.1 Uma análise da ocorrência de falhas na rede

Todas as ocorrências de falta de energia com duração superior a três minutos são reportadas à ANEEL e registradas na base de dados da concessionária com informações detalhadas sobre a causa, o tempo de reparação, o número de consumidores afetados, a seccional responsável pela intervenção e a localização (município e bairro) do evento. Para avaliar a frequência desses episódios e sua distribuição por causa, a Figura 1 apresenta as principais categorias de falhas registradas pela concessionária analisada, evidenciando que as interrupções por falhas de conexão correspondem a aproximadamente 40 % do total, seguidas por eventos relacionados à interferência de árvores na rede, que representam 13,64 % do conjunto de ocorrências. Ressalta-se que os percentuais são calculados considerando todas as cerca de 30 categorias de causa existentes, embora apenas as quatro de maior expressão sejam destacadas no gráfico. Os dados utilizados para a construção destes gráficos referem-se ao mês de janeiro de 2025.

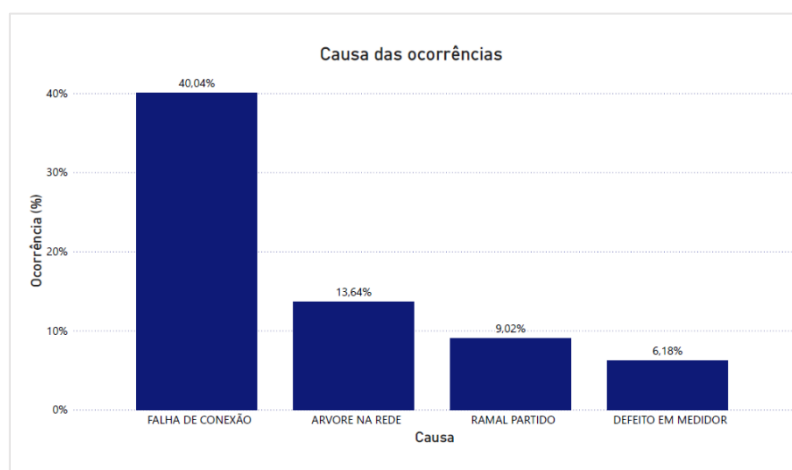


Fig. 1 – Porcentagem de ocorrências em função de suas causas

Fonte: elaboração própria

Na Figura 2, analisa-se a relação da duração das interrupções em função de suas causas, demonstrando que os maiores tempos de restabelecimento também estão associados a falhas de conexão, seguidos pelos eventos de interferência vegetal. A mesma lógica de seleção das quatro

principais causas é aplicada nas Figuras 3 e 4, permitindo comparações consistentes entre frequência e duração dos diferentes tipos de falha.

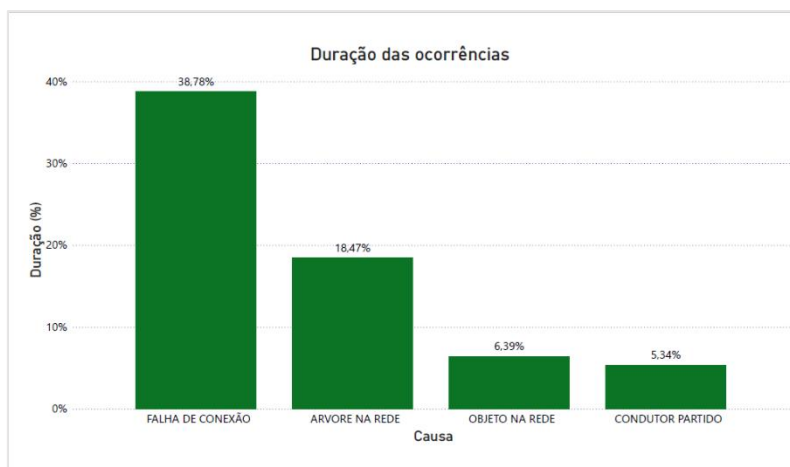


Fig 2 – Porcentagem da duração da interrupção em função de suas causas. *Fonte: elaboração própria*

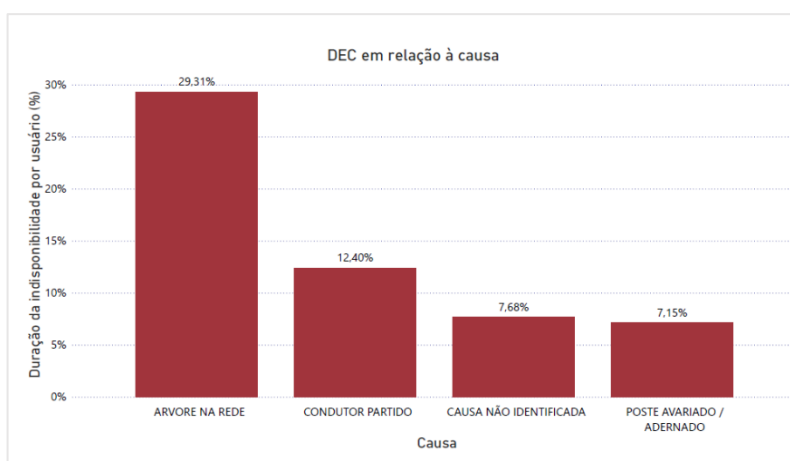


Fig 3 – Porcentagem da duração equivalente por consumidor (DEC) em função da causa. *Fonte: elaboração própria.*

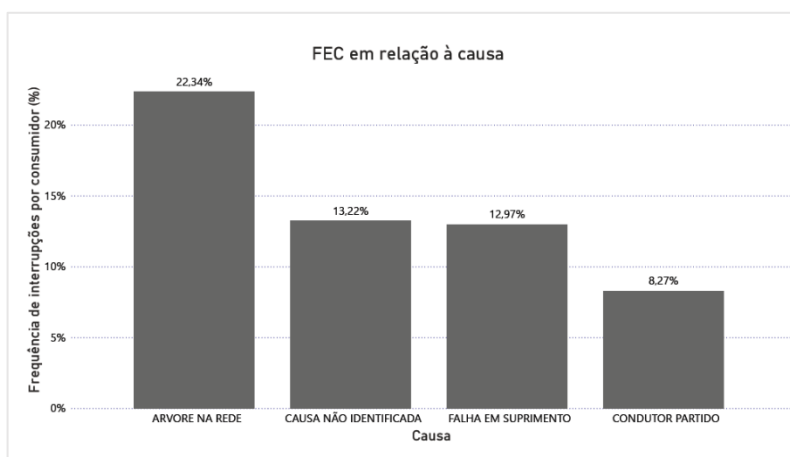


Fig. 4 - Porcentagem da frequência equivalente por consumidor (FEC) em função da causa. *Fonte: elaboração própria.*

Na Fig. 3, pode-se observar a duração da indisponibilidade do serviço por unidade consumidora para cada causa de ocorrência, uma vez que está associada à DEC definida pela ANEEL, que corresponde à duração equivalente de interrupção por unidade consumidora. Dito de outra forma, a DEC representa a duração total de interrupções dividida pelo total de unidades consumidoras afetadas, conforme formulação matemática apresentada no próximo capítulo. Nessa figura, nota-se que a maior duração de interrupção do serviço se deve a problemas decorrentes de árvores na rede, representando quase 30% de todo o tempo de indisponibilidade sofrido por uma unidade consumidora. Esse índice vai ao encontro dos estudos supracitados, tanto para o cenário nacional, quanto para o internacional.

Por fim, a Fig. 4 apresenta a frequência de interrupções do serviço por unidade consumidora para cada causa de ocorrência, uma vez que está associada à FEC definida pela ANEEL, que corresponde à frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora. Em outras palavras, a FEC representa a quantidade total de ocorrências dividida pelo total de unidades consumidoras afetadas, conforme formulação matemática também apresentada no próximo capítulo. Na Fig. 4, nota-se que a maior frequência de interrupção do serviço também se deve a problemas decorrentes de árvores na rede, representando mais de 22% da quantidade total de interrupções sofridas por uma unidade consumidora.

Ao analisar em conjunto os quatro gráficos, observa-se que, considerando isoladamente frequência (Figura 1) e duração (Figura 2), o fator “árvore na rede” ocupa a segunda posição. Contudo, quando se avalia o impacto combinado de frequência e duração sob a ótica da percepção do consumidor, por meio dos indicadores DEC e FEC apresentados nas Figuras 3 e 4, as falhas atribuídas à interferência vegetal emergem como a principal causa de interrupções. Esse resultado evidencia a relevância de investigações direcionadas à gestão da vegetação em redes elétricas, uma vez que seu efeito integrado sobre a continuidade do serviço supera outras fontes de falha.

2.2 Metodologia de análise

Como procedimento metodológico voltado a refinar o ajuste de parâmetros para cálculo dos índices de prioridade de podas, baseado nos registros de ocorrência e observações em campo, foram adotados os seguintes passos. Primeiro, identificou-se a importância do fator “árvore na rede” para a concessionária, como mostrado no item 2.1. Segundo, foram identificadas as áreas mais impactadas por problemas ocasionados pela vegetação, por seccionais e bairros, baseado nos registros das ocorrências que integram a base de dados operacionais. Para possibilitar essa identificação, foram criados indicadores que levassem à priorização das áreas em função dos impactos decorrentes. Esses indicadores são baseados nos índices de continuidade de serviço DEC/FEC. Como passo seguinte, foi dimensionado o procedimento amostral para validação em campo e refinamento dos parâmetros usados para cálculo dos índices de prioridade de podas, o qual se encontra em fase de definição. Por último, procede-se a análise de sensibilidade e otimização dos pesos e faixas de classificação usados no cálculo de prioridade de poda. As análises associadas a esses passos são apresentadas a seguir, incluindo uma análise preliminar de sensibilidade, com amostras iniciais para validar os conceitos metodológicos.

3. Análises e resultados

3.1 Análise com DEC/FEC para seleção de setores prioritários

Uma primeira análise foi feita em um setor/região piloto, onde se explorou métodos para orientar a priorização de setores passíveis de ações de poda. Essa priorização baseou-se nos indicadores de continuidade da ANEEL para quantificar o impacto da vegetação nas ocorrências que levam à falta de energia.

Os indicadores DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) são calculados de acordo com o Módulo 8 do *Prodlist* da ANEEL (2021b), cujas formulações numéricas são apresentadas a seguir.

a) Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC):

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} DIC(i)}{NUC} \quad (1)$$

b) Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC):

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} FIC(i)}{NUC} \quad (2)$$

Onde,

NUC = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em Baixa Tensão ou Média Tensão;

$DIC(i)$ = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras, expressa em horas e centésimos de hora; e

$FIC(i)$ = Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras, expressa em interrupções e centésimos de interrupções.

O foco da presente análise é na seccional da rede elétrica e não no conjunto de consumidores, como definido no *Prodist*. Dessa forma, podemos trabalhar com o DEC expresso em função do *CHI* (consumidor hora interrompida), que representa, para cada ocorrência, o produto no número de consumidores afetados pela duração da falta. A Eq. (3) expressa essa relação do DEC seccional (DEC_S).

$$DEC_S = \frac{\sum_{i=1}^{NOc} CHI}{NUC_S} \quad (3)$$

Onde,

NOc = número de ocorrências;

NUC_S = número total de unidades consumidoras faturadas da seccional S que está sendo avaliada.

DEC_S = DEC da seccional S. A seccional S representa o conjunto de unidade consumidoras que são atendidos por um ou mais alimentadores da rede elétrica.

A razão de usar a Eq. (3) se deve à necessidade de focar a análise em seccionais e não no conjunto que representa um agrupamento de unidades consumidoras aprovadas pela ANEEL, como está na formulação do *Prodist*, que é diferente do domínio de uma seccional. Ou seja, ao fazer a análise por seccional, é possível visualizar os indicadores por regiões geográficas mais específicas, como município e bairros, auxiliando o planejamento de podas.

Vale destacar também que, devido às premissas adotadas, a formulação dos indicadores de duração foi feita com o somatório de CHI e não de DIC, uma vez que CHI representa a duração por ocorrência e os dados disponíveis para análise são por ocorrência. Isso não compromete a precisão dos resultados, uma vez que as formulações são equivalentes.

3.2 Proposta de novos indicadores

Cada seccional da concessionária apresenta uma porcentagem de ocorrência de falta de energia devida ao fator “árvore na rede”, ou seja, interrupção do fornecimento de energia por interferência da vegetação na rede elétrica. Essa relação é expressa pela Eq. (4), que denominamos de porcentagem de ocorrências verde ($\%Oc_Verde$). Esse indicador se baseia em uma base de dados de ocorrências e é apresentado na Fig. 1, considerando as ocorrências de todo o estado de concessão analisado.

$$\%Oc_{Verde} = \frac{Oc_{\text{Árvore}}}{Oc_{Total}} \quad (4)$$

Onde,

$Oc_{\text{Árvore}}$ - representa a quantidade de ocorrências devidas a árvores na rede;

Oc_{Total} - representa a quantidade total de ocorrências.

Outro indicador contextualizado à forma de organização dos dados pode ser expresso por uma porcentagem que contabiliza o tempo de interrupção do serviço considerando o total de consumidores afetados. Esse indicador, denominado porcentagem CHI_{verde} é calculado pela Eq. (5).

$$\%CHI_{Verde} = \frac{\sum_{i \in S} CHI(i)}{\sum_{i \in T} CHI(i)} \quad (5)$$

Considerando que para uma determinada região, o total de unidades consumidoras é o mesmo. Para orientar o processo de planejamento de podas de árvores, uma alternativa é escolher as seccionais com maior porcentagem de $\%CHI_{Verde}$ devido a árvore na rede. A Fig. 5 apresenta esse indicador em ordem decrescente para todas as seccionais analisadas.

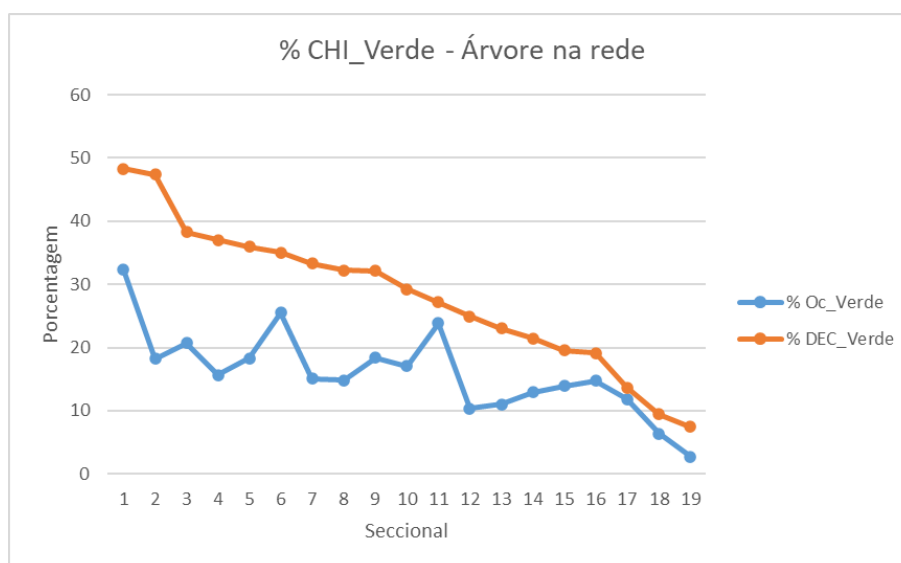


Fig. 5 - $\%CHI_{Verde}$ para as seccionais analisadas.
 Fonte: elaboração própria.

Observa-se nessa figura que a Seccional 1 apresenta maior número de ocorrências devidas a árvores na rede, levando o impacto de interrupção a um maior número de consumidores, sendo, portanto, uma candidata de maior prioridade, quanto à questão de vegetação, para o processo de planejamento de podas.

3.3 Indicadores de priorização e otimização dos ajustes

Este item detalha os indicadores de priorização de acordo com a política de gestão de poda da concessionária, além de sintetizar as etapas de análise para otimizar os ajustes. Os critérios considerados englobam o índice de acerto na priorização, obtido a partir da confrontação da avaliação do especialista com os resultados da análise das imagens.

Baseando-se em práticas de processos internos de gestão de podas da concessionária pré-definidos e na experiência de poda adquirida em campo, visando atender às necessidades

específicas da concessionária, foram escolhidos dois principais indicadores de vegetação para serem considerados no cálculo do índice de priorização:

- Distância mínima entre a vegetação e a rede de energia (2d): representa a menor distância horizontal entre o polígono de vegetação e o fio em um segmento. Zero metro de distância indica que a vegetação está em contato com o fio.
- Árvores > 4 m: representa o número de árvores com altura superior a 4 metros.

O processo de otimização, que integrou o sistema de gestão da vegetação às diretrizes operacionais da concessionária, teve como objetivo calibrar intervalos críticos e atribuir pesos ótimos no cálculo dos indicadores de priorização. Como resultado desse procedimento, foi estabelecida uma classificação de prioridade em quatro níveis: P1 (máxima prioridade), P2 (alta prioridade), P3 (média prioridade) e P4 (baixa prioridade). Essa hierarquização assegura uma coordenação eficiente e segura das atividades de controle vegetal, em consonância com os objetivos estratégicos da empresa.

Os indicadores empregados foram obtidos a partir de imagens de sensoriamento remoto, processadas por algoritmos avançados de reconhecimento de padrões na plataforma IES-Vegetation. Tal abordagem proporcionou uma avaliação rigorosa e confiável das condições da vegetação, fundamentando as decisões de priorização em dados quantitativos de alta precisão.

A Tabela 1 apresenta as faixas consideradas para classificação do score de vegetação e posteriormente para cálculo do índice de prioridade. As quatro primeiras colunas da tabela representam os indicadores de vegetação 2d e >4m, definidos acima, e suas respectivas faixas e valores de classificação. O *score* é obtido pela ponderação dos valores de classificação. As três últimas colunas apresentam a assertividade do cálculo e os pesos associados aos indicadores de vegetação 2d e >4m, respectivamente, que foram simulados para encontrar os valores ótimos. A assertividade P1 considera especialmente os acertos de prioridade mais crítica, ou seja, a porcentagem de acerto do algoritmo quanto à predição de P1 em relação à confirmação em campo. A assertividade geral, por sua vez, corresponde aos acertos de todos os níveis de prioridade frente ao observado em campo. Nota-se a sensibilidade da assertividade quanto aos pesos, o que justifica a importância de buscar os valores que otimizam a assertividade algorítmica.

Similarmente à determinação dos pesos ótimos, o comportamento das faixas também requer uma análise detalhada, como nas simulações que levaram aos valores apresentados na Tabela 1, uma vez que o balanceamento da variabilidade dos fatores e níveis de classificação é determinante para um resultado mais próximo da realidade observada em campo.

A prioridade P1 é particularmente crítica por corresponder a uma situação que clama por ações imediatas de poda, indicando que a vegetação está se sobrepondo à fiação elétrica com riscos iminentes de paralisação do serviço. Acertar a sinalização de prioridade aqui pode ser uma questão de preservar a confiabilidade ou, do contrário, em caso de erro, de contratempo logístico e custos indevidos, por deslocar uma equipe de campo em função de um falso positivo. Assim não é só a prioridade que é crítica, mas a assertividade também.

Além disso, é importante ressaltar a dificuldade de ponderar esses fatores pela própria natureza empírica da análise, na qual não foi possível se basear em processos pré-definidos ou canônicos de classificação.

Tabela 1 – Simulação para priorização e otimização dos ajustes de indicadores e pesos

Faixa 2d	Valor de classificação	Faixa >4m	Valor de classificação	Prioridade	Faixa Score			
5m < x	70	90% ≤ x	0	P1	<20	Assert. P1 86%	Assert. Geral 63%	Pesos 70-30
1,5m ≤ x ≤ 5m	30	50% ≤ x < 90%	25	P2	[20;44)			
x < 1,5m	0	30% ≤ x < 50%	50	P3	[44;56)			
		10% ≤ x < 30%	75	P4	≥56			
		x < 10	100					
Faixa 2d	Valor de classificação	Faixa >4m	Valor de classificação	Prioridade	Faixa Score			
5m < x	70	90% ≤ x	0	P1	<20	Assert. P1 86%	Assert. Geral 60%	Pesos 80-20
1,5m ≤ x ≤ 5m	30	50% ≤ x < 90%	25	P2	[20;44)			
x < 1,5m	0	30% ≤ x < 50%	50	P3	[44;56)			
		10% ≤ x < 30%	75	P4	≥56			
		x < 10	100					

Os resultados apresentados neste capítulo correspondem à fase inicial do estudo de análise dos indicadores de priorização e da otimização de seus parâmetros, configurando-se como um ensaio de sensibilidade metodológica. Em paralelo, realiza-se um sistemático processo de validação em campo que confronta as avaliações de especialistas com os índices de vegetação e de priorização gerados pela metodologia. As coletas de amostras em campo foram dimensionadas para garantir um intervalo de confiança de 95 %, distribuídas entre os quatro níveis de prioridade (P1 a P4). Esta primeira etapa confirma a robustez da abordagem e estabelece as bases para ajustes contínuos, assegurando que o planejamento de poda e a gestão integral da vegetação permaneçam responsivos às variações ambientais e às exigências operacionais da concessionária.

4. Conclusão

Neste artigo, apresentamos o estágio atual de desenvolvimento de uma metodologia para ajustes dos limites de criticidade dos parâmetros obtidos pelas imagens satelitais da vegetação, denominada de metodologia de ajustes de parametrização para o cálculo dos índices de vegetação. Essa metodologia de análise faz parte de um projeto em execução no âmbito do programa de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PDI) da ANEEL, e tem o intuito de maximizar uma função que oriente ações em um plano de podas, incluindo os múltiplos fatores que são relevantes.

Compreende uma primeira etapa de uma abordagem multicritério que utiliza indicadores de vegetação e parâmetros relativos às regras de negócio da concessionária, de modo a fornecer informações integradas para priorizar ações de controle de vegetação em segmentos das redes de energia com maior risco de interferência em seus serviços. A abordagem multicritério contempla

fatores que vão além dos índices de vegetação aqui apresentados, incluindo aspectos financeiros, sociais e ambientais. A inclusão dos indicadores de continuidade DEC/FEC da ANEEL já é um primeiro nessa linha multidimensional de análise, incluindo além dos aspectos de confiabilidade da rede, a perspectiva dos consumidores e os impactos dos custos associados à interrupção do fornecimento de energia. O avanço do desenvolvimento dessa abordagem multicritério aplicada à gestão da vegetação será objeto de publicações futuras.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto Rede Limpa, sob o código PD-00037-0046/2022. O projeto é uma iniciativa de PDI (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que foi responsável pelo fornecimento e implantação de plataforma SaaS IBM EIS com vegetation management. Agradecem também ao time de pesquisadores e técnicos envolvidos nesse projeto.

Referências

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2021a). *Resolução Normativa nº 915, de 23 de fevereiro de 2021*. Regulamenta a Lei nº 11.934/2009 quanto aos limites de exposição humana a campos elétricos e magnéticos. Web page: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021915.pdf>. Acesso em: 12/05/2025.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2020). *Resolução Normativa nº 905, de 23 de novembro de 2020*. Estabelece as Regras dos Serviços de Transmissão. Web page: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020905.html. Acesso em: 12/05/2025.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2021b). *PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica*. Anexo VIII da Resolução Normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021.

Curtarelli, M. P., Kurtz, D. J., & Salgueiro, T. P. (2022). Identifying Priority Areas for Vegetation Management in the Context of Energy Distribution Networks Using PlanetScope Images. *Remote Sensing*, 14(9), 2170.

Department of Energy – DOE. (2015). State of Connecticut Energy Sector Risk Profile. Web page: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f22/CT_Energy%20Sector%20Risk%20Profile.pdf. Acesso em: 30/4/2025.

Jaramillo-Leon, B., e Leite, J. B. (2022). Multi-objective optimization for preventive tree trimming scheduling in overhead electric power distribution networks. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 1-11.

Jumbo, O., e Moghaddass, R. (2022). Resource optimization and image processing for vegetation management programs in power distribution networks. *Applied Energy*, 319, 119234.

Tervo, R., Láng, I., Jung, A., & Mäkelä, A. (2020). Predicting power outages caused by extratropical storms. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2020, 1-26.

Wismer, S. (2018, May). Targeted Tree Trimming Offers Reliability Benefit. *T&D World*, May, 16, 2018. Web page: <https://www.tdworld.com/vegetation-management/article/20971285/targeted-tree-trimming-offers-reliability-benefits>. Acesso em: 27/9/2024.