

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE REDES AÉREAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: DIAGNÓSTICO DE FALHAS, CONFIABILIDADE E SEGURANÇA OPERACIONAL

INSPECTION AND MAINTENANCE OF OVERHEAD ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS: FAULT DIAGNOSIS, RELIABILITY AND OPERATIONAL SAFETY

INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA: DIAGNÓSTICO DE FALLAS, FIABILIDAD Y SEGURIDAD OPERATIVA

José Israel de Almondes¹

DOI: 10.54899/dcs.v23i94.6755

Recibido: 24/07/2026 | Aceptado: 17/08/2026 | Publicación en línea: 24/08/2026.

RESUMO

As Redes Aéreas de Distribuição (RDAs) permanecem submetidas a condições ambientais, elétricas, mecânicas e operacionais capazes de provocar degradação de componentes e interrupções no fornecimento de energia. Este artigo tem como objetivo analisar a integração entre planejamento, inspeção, diagnóstico de falhas e estratégias de manutenção aplicadas às RDAs, considerando sua contribuição para a confiabilidade e para a segurança operacional. O estudo caracteriza-se como pesquisa de natureza aplicada, abordagem qualitativa e caráter descritivo, desenvolvida mediante análise bibliográfica e documental de normas, manuais e referências técnicas relacionadas à manutenção de redes elétricas. Foram examinadas as estratégias corretiva, preventiva e preditiva, as inspeções visuais e instrumentais, a termografia, os critérios de avaliação dos principais componentes, a priorização das intervenções, os indicadores de continuidade e os procedimentos de segurança associados às atividades de manutenção. Os resultados evidenciam que a manutenção apresenta maior efetividade quando estruturada como processo integrado, no qual as informações das inspeções subsidiam o diagnóstico, a definição de prioridades e a programação dos recursos. Conclui-se que a combinação entre inspeção sistemática, diagnóstico técnico, planejamento e execução segura contribui para reduzir falhas, orientar intervenções preventivas e preservar a continuidade operacional das redes.

Palavras-chave: Redes de Distribuição Aérea. Inspeção. Manutenção. Diagnóstico de Falhas. Confiabilidade.

ABSTRACT

Overhead Electrical Distribution Networks (ODNs) are continuously exposed to environmental, electrical, mechanical, and operational conditions that may cause component degradation and

¹ Mestrando em Energia e Ambiente, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão.
E-mail: israel-almondes@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-9292-087X>

interruptions in electricity supply. This article aims to analyze the integration among planning, inspection, fault diagnosis, and maintenance strategies applied to ODNs, considering their contribution to reliability and operational safety. The study is characterized as applied research with a qualitative and descriptive approach, developed through bibliographic and documentary analysis of standards, manuals, and technical references related to electrical network maintenance. Corrective, preventive, and predictive maintenance strategies, visual and instrumental inspections, thermography, evaluation criteria for major network components, intervention prioritization, continuity indicators, and safety procedures associated with maintenance activities were examined. The results indicate that maintenance is more effective when structured as an integrated process in which inspection information supports diagnosis, priority setting, and resource scheduling. It is concluded that the combination of systematic inspection, technical diagnosis, planning, and safe execution contributes to reducing failures, guiding preventive interventions, and preserving the operational continuity of overhead distribution networks.

Keywords: Overhead Distribution Networks. Inspection. Maintenance. Fault Diagnosis. Reliability.

RESUMEN

Las redes de distribución aérea están expuestas a condiciones ambientales, eléctricas, mecánicas y operativas que pueden provocar la degradación de los componentes e interrupciones en el suministro eléctrico. Este artículo tiene como objetivo analizar la integración de estrategias de planificación, inspección, diagnóstico de fallas y mantenimiento aplicadas a las redes de distribución aérea, considerando su contribución a la confiabilidad y la seguridad operativa. El estudio se enmarca como una investigación aplicada de enfoque cualitativo y naturaleza descriptiva, realizada mediante un análisis bibliográfico y documental de normas, manuales y referencias técnicas relacionadas con el mantenimiento de redes eléctricas. Se examinaron estrategias correctivas, preventivas y predictivas, así como inspecciones visuales e instrumentales, termografía, criterios de evaluación de componentes clave, priorización de intervenciones, indicadores de continuidad y procedimientos de seguridad asociados a las actividades de mantenimiento. Los resultados demuestran que el mantenimiento es más eficaz cuando se estructura como un proceso integrado, en el que los datos de inspección sirven de base para el diagnóstico, la definición de prioridades y la programación de recursos. Se concluye que la combinación de inspección sistemática, diagnóstico técnico, planificación y ejecución segura contribuye a reducir las fallas, orientar las intervenciones preventivas y preservar la continuidad operativa de las redes.

Palabras clave: Redes de Distribución Aérea. Inspección. Mantenimiento. Diagnóstico de Fallas. Confiabilidad.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A distribuição de energia elétrica constitui a interface mais próxima entre o Sistema Elétrico de Potência e os consumidores. A disponibilidade das Redes Aéreas de Distribuição (RDAs) influencia diretamente atividades residenciais, comerciais, industriais e serviços públicos, tornando a preservação das condições técnicas e operacionais dessas redes uma atividade relevante para a continuidade e a confiabilidade do fornecimento de energia.

Diferentemente de instalações confinadas em ambientes controlados, as RDAs permanecem expostas a condições ambientais, solicitações elétricas e mecânicas, interferências externas e diferentes ocorrências operacionais. Postes, cruzetas, ferragens, isoladores, condutores, estais, para-raios, chaves, transformadores, reguladores, religadores e capacitores podem apresentar deterioração ao longo da vida útil, exigindo inspeção, diagnóstico e ações de manutenção compatíveis com a condição observada (AES Eletropaulo, 2011; CPFL, 2012).

A manutenção, nesse contexto, ultrapassa a simples substituição de um componente após sua falha. As intervenções precisam considerar planejamento, disponibilidade de recursos, condições ambientais, criticidade do circuito, comunicação operacional, requisitos técnicos e medidas de controle dos riscos. O conjunto dessas variáveis transforma a manutenção em um processo de decisão que começa antes da atividade de campo e se estende à avaliação dos resultados obtidos.

As estratégias de manutenção podem assumir caráter corretivo, preventivo ou preditivo. A manutenção corretiva busca restabelecer as condições de funcionamento após a identificação de uma falha; a preventiva utiliza intervenções programadas para reduzir a probabilidade de ocorrências; e a abordagem preditiva emprega acompanhamento e diagnóstico da condição dos ativos para apoiar a definição do momento mais adequado para intervir. A utilização combinada dessas estratégias favorece a gestão dos recursos e a redução da exposição da rede a falhas não programadas.

A inspeção constitui uma das principais fontes de informação desse processo. Critérios de inspeção de redes urbanas e rurais podem abranger avaliações terrestres e aéreas e considerar as características específicas dos componentes e das instalações (CEMIG, 2005; CEMIG, 2007). A identificação e o registro sistemático das anomalias permitem que a manutenção seja direcionada por evidências coletadas em campo, em vez de depender exclusivamente da ocorrência de desligamentos.

Além das inspeções visuais, recursos instrumentais ampliam a capacidade de diagnóstico. A termografia permite identificar aquecimentos anormais em conexões, emendas, chaves e outros componentes, fornecendo indícios de aumento de resistência de contato ou condições que podem evoluir para falhas. Dessa forma, a inspeção baseada em condição pode contribuir para antecipar intervenções antes que o defeito comprometa integralmente a função do componente.

A manutenção das RDAs também apresenta relação direta com a confiabilidade. A programação das intervenções deve considerar o impacto dos desligamentos, o perfil dos consumidores, as características do alimentador e a criticidade das cargas atendidas. Indicadores associados à duração e à frequência das interrupções auxiliam a observar o comportamento da rede, mas a interpretação dos resultados da manutenção requer também análise das causas, histórico das ocorrências e desempenho dos componentes.

Paralelamente à confiabilidade, a segurança constitui elemento transversal a todo o processo de manutenção. Atividades em instalações elétricas exigem planejamento, análise dos riscos, controle operacional, confirmação das condições elétricas da instalação, utilização adequada de equipamentos de proteção, sinalização e adoção das medidas de segurança previstas nos procedimentos internos e nos requisitos aplicáveis.

Diante desse contexto, estabelece-se como problema de pesquisa: de que forma a integração entre inspeção, diagnóstico de falhas, planejamento da manutenção e procedimentos de segurança pode contribuir para a confiabilidade e para a adequada manutenção das Redes Aéreas de Distribuição de energia elétrica?

A investigação justifica-se pela necessidade de compreender a manutenção como um processo integrado, e não apenas como conjunto de ações executadas após a ocorrência de defeitos. A identificação antecipada das condições dos componentes, associada à análise técnica das anomalias e à programação das intervenções, permite estabelecer prioridades, otimizar recursos e orientar ações preventivas.

Assim, este artigo tem como objetivo analisar a integração entre planejamento, inspeção, diagnóstico de falhas e estratégias de manutenção aplicadas às Redes Aéreas de Distribuição de energia elétrica, considerando sua contribuição para a confiabilidade do sistema e para a segurança operacional das intervenções.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU REVISÃO DA LITERATURA

Estratégias de Manutenção Aplicadas às Redes Aéreas de Distribuição

As atividades de manutenção em redes de distribuição exigem conhecimento das características construtivas e operacionais da infraestrutura, uma vez que diferentes componentes apresentam mecanismos distintos de deterioração e falha. Os manuais de construção e manutenção das concessionárias transformam requisitos técnicos em critérios de inspeção, procedimentos e orientações aplicáveis à conservação e à intervenção nos ativos (AES Eletropaulo, 2011; CPFL, 2012).

A manutenção corretiva ocorre após a identificação de falha ou defeito e tem como objetivo restabelecer as condições normais de funcionamento. Embora indispensável diante de ocorrências já estabelecidas, uma estratégia predominantemente corretiva tende a manter a organização em condição reativa, podendo elevar a exposição a atendimentos emergenciais, interrupções não programadas e restrições de planejamento.

A manutenção preventiva desloca parte das ações para um momento anterior à falha. Os serviços são programados a partir de periodicidades, critérios técnicos e informações provenientes de inspeções, podendo envolver substituição ou reparo de condutores, chaves, para-raios, isoladores, conectores, cruzetas, ferragens, postes e estais, além de reapertos, limpeza, adequação de tensionamento, manejo de vegetação e verificação de aterramentos.

A manutenção preditiva complementa essa abordagem ao utilizar informações sobre a condição dos ativos para subsidiar a decisão de manutenção. Em vez de intervir apenas por calendário, busca-se acompanhar sinais de degradação e tendências que indiquem necessidade de intervenção. Essas estratégias não são excludentes; sua utilização depende da criticidade do componente, da condição identificada, dos recursos disponíveis e das consequências potenciais da falha.

Planejamento e Programação das Intervenções

O planejamento estabelece as condições para que a manutenção seja executada com organização, segurança e eficiência. Antes da intervenção, devem ser avaliadas as características do serviço, recursos materiais, ferramentas, equipamentos, veículos, composição da equipe,

condições ambientais, acesso ao local, riscos existentes e necessidade de interação com os centros de operação. Os procedimentos e manuais das concessionárias constituem referências para a definição dessas condições (COPEL, 2011; AES Eletropaulo, 2011).

A programação deve considerar a natureza do serviço. Uma intervenção emergencial possui restrições distintas de uma atividade preventiva planejada. Da mesma forma, serviços em redes desenergizadas e intervenções realizadas com técnicas específicas em redes energizadas demandam equipes, recursos e procedimentos diferentes.

Na manutenção preventiva, os relatórios de inspeção fornecem subsídios para identificar e quantificar os serviços necessários. A periodicidade e a prioridade podem variar conforme critérios da distribuidora, condição dos componentes e importância do circuito. Essa relação demonstra que o planejamento não deve ocorrer de forma dissociada das condições reais da infraestrutura.

Inspeção Visual e Avaliação dos Componentes

A inspeção constitui uma das principais ferramentas de obtenção de informações para a manutenção. Os dados coletados em campo podem ser registrados em relatórios e empregados na definição das intervenções, prioridades e recursos necessários. Especificações técnicas de inspeção de redes urbanas e rurais reforçam a importância de critérios sistemáticos para avaliação das instalações (CEMIG, 2005; CEMIG, 2007).

A avaliação deve abranger os diferentes elementos da RDA. Postes podem apresentar deterioração, inclinação, erosão na base ou comprometimento estrutural; cruzetas podem sofrer deslocamentos, rachaduras e perda de resistência; ferragens podem apresentar corrosão ou deformações; isoladores podem apresentar trincas, contaminação e danos; e condutores podem apresentar fios partidos, desgastes, emendas inadequadas ou problemas de tensionamento.

Também devem ser avaliados sistemas de aterramento, estais, para-raios, chaves, transformadores, reguladores de tensão, religadores, seccionadores, capacitores, ramais de serviço, iluminação pública, faixas de servidão e outros elementos associados à infraestrutura. A diversidade dos itens inspecionados evidencia a natureza sistêmica da manutenção, pois a condição de um componente pode influenciar o comportamento de outros elementos da rede.

Em componentes de madeira, critérios específicos de inspeção podem ser empregados para identificar perda de integridade e necessidade de intervenção. Procedimentos técnicos

direcionados a cruzetas e outras estruturas auxiliam a uniformizar a avaliação e a classificação das condições encontradas (CEMIG, 2006).

Inspeção Instrumental e Termografia

Nem todas as anomalias podem ser identificadas exclusivamente por observação visual. Conexões com aumento de resistência elétrica, por exemplo, podem apresentar aquecimento antes que sinais físicos evidentes sejam observados. A inspeção instrumental amplia a capacidade de diagnóstico ao adicionar informações mensuráveis à avaliação dos ativos.

Entre os recursos utilizados na manutenção encontra-se o termovisor digital, que detecta radiação infravermelha e permite identificar diferenças de temperatura sem contato físico direto. Nas RDAs, a termografia pode evidenciar aquecimento localizado em conexões, emendas, buchas de transformadores, chaves-faca e chaves-fusíveis, auxiliando a identificar condições associadas a mau contato ou aumento da resistência elétrica.

A utilização da termografia deve considerar as condições de inspeção. A influência da radiação solar, o nível de carregamento do circuito, as condições ambientais e a comparação entre componentes equivalentes interferem na interpretação. Por isso, a imagem térmica deve ser compreendida como evidência técnica a ser analisada em conjunto com as demais informações da instalação.

A principal contribuição da inspeção instrumental está na possibilidade de reconhecer a evolução de determinadas anomalias antes da perda completa da função do componente. Essa característica aproxima a manutenção de uma abordagem orientada pela condição e amplia a capacidade de programação das intervenções.

Diagnóstico de Falhas e Priorização

A inspeção adquire valor para a gestão da manutenção quando seus resultados são convertidos em diagnóstico. Identificar uma condição anormal constitui a primeira etapa; interpretar sua relevância, provável evolução e necessidade de intervenção corresponde a uma etapa posterior.

O diagnóstico permite distinguir situações que requerem correção imediata daquelas que podem ser acompanhadas ou incorporadas a um programa preventivo. Essa diferenciação é

essencial quando a quantidade de anomalias identificadas supera a capacidade de intervenção simultânea das equipes.

A investigação das causas também evita que a manutenção se restrinja à correção dos efeitos. Falhas recorrentes podem estar associadas a problemas de material, condições ambientais, vegetação, conexões, sobrecarga, envelhecimento ou práticas inadequadas de instalação. O histórico das ocorrências pode revelar padrões importantes para aperfeiçoar a manutenção e os próprios critérios de projeto e montagem.

Confiabilidade, Continuidade e Ambiente Operacional

A confiabilidade das RDAs é influenciada por fatores internos e externos. A degradação dos componentes pode ser tratada por ações de manutenção, enquanto fenômenos atmosféricos, interferências de terceiros e vegetação introduzem outras fontes de risco. Dessa forma, a análise das interrupções deve considerar não apenas a quantidade de ocorrências, mas também suas causas e a possibilidade de atuação preventiva.

Indicadores de continuidade associados à duração e à frequência das interrupções podem auxiliar o acompanhamento do desempenho dos circuitos e a definição das prioridades de manutenção. Entretanto, a avaliação dos resultados deve combinar esses indicadores com o histórico de falhas, os componentes envolvidos, a criticidade do alimentador e as intervenções realizadas.

A vegetação representa exemplo relevante de fator externo. Galhos e árvores próximos aos condutores podem contribuir para desligamentos e danos, exigindo inspeções e serviços periódicos nas faixas de servidão. Portanto, a manutenção deve considerar simultaneamente os ativos elétricos, as estruturas mecânicas e o ambiente no qual a rede está inserida.

METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como pesquisa de natureza aplicada, abordagem qualitativa, objetivo descritivo e caráter técnico-documental, direcionada à sistematização dos principais fatores relacionados à inspeção, diagnóstico e manutenção de Redes Aéreas de Distribuição de energia elétrica.

Quanto aos procedimentos, adotou-se pesquisa bibliográfica e documental, tendo como corpus manuais de construção e manutenção, especificações técnicas de inspeção, normas e materiais técnicos utilizados na estruturação do manuscrito-base. Entre os documentos considerados estão os manuais da AES Eletropaulo, CPFL e COPEL e as especificações da CEMIG referentes a inspeções aéreas, terrestres e de cruzetas em redes de distribuição (AES Eletropaulo, 2011; CEMIG, 2005; CEMIG, 2006; CEMIG, 2007; COPEL, 2011; CPFL, 2012).

Para a organização da análise, o processo de manutenção foi dividido em seis categorias: estratégias de manutenção; planejamento e programação; inspeção visual e instrumental; diagnóstico e priorização das intervenções; confiabilidade e avaliação dos resultados; e segurança operacional.

Na primeira categoria foram analisadas as características das intervenções corretivas, preventivas e preditivas. A segunda reuniu as relações entre relatórios de inspeção, recursos, equipes, programação e características operacionais do circuito. A terceira concentrou-se nos métodos de inspeção e nos principais componentes avaliados, incluindo a termografia. A quarta examinou a transformação das informações coletadas em diagnóstico e decisão de manutenção. A quinta considerou a relação entre intervenções, histórico de falhas e continuidade operacional. A sexta avaliou os requisitos de planejamento seguro, confirmação das condições elétricas, proteção da zona de trabalho e controle da reenergização.

A análise foi realizada de maneira interpretativa, buscando identificar relações de dependência entre as categorias e organizar um modelo integrado para a manutenção das RDAs. O estudo não realiza experimento em campo, levantamento estatístico próprio ou comparação quantitativa entre concessionárias. Os resultados correspondem à sistematização técnico-conceitual do conteúdo documental analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

Da Manutenção Reativa à Manutenção Orientada pela Condição

A análise permite compreender a manutenção das RDAs como um continuum entre reação à falha e antecipação da falha. Na extremidade reativa encontra-se a manutenção corretiva, realizada quando a anomalia já comprometeu ou ameaça diretamente o funcionamento do

componente. Embora necessária, sua predominância pode ampliar a exposição da operação a emergências e interrupções não programadas.

A manutenção preventiva desloca parte das ações para um momento anterior à falha, utilizando programações e informações de inspeção para definir serviços de conservação, substituição ou recuperação. A inspeção instrumental acrescenta uma terceira dimensão ao processo ao permitir acompanhar a condição dos componentes e reconhecer sinais de degradação.

As três estratégias podem ser organizadas conceitualmente como: falha e correção; periodicidade ou inspeção e prevenção; condição e diagnóstico para intervenção orientada. Essa organização evidencia que não existe uma estratégia única aplicável a todos os ativos. A combinação deve considerar criticidade, condição, consequência da falha e recursos disponíveis.

A Inspeção como Origem do Ciclo Decisório

Um dos principais resultados da análise é a identificação da inspeção como origem do ciclo decisório da manutenção. O relatório de inspeção transforma observações de campo em informação organizada, permitindo registrar anomalias, caracterizar serviços necessários e subsidiar o planejamento.

Com base nessa relação, o processo pode ser representado pela sequência: inspeção, identificação da anomalia, diagnóstico, classificação e priorização, programação, intervenção e avaliação. Essa leitura diferencia claramente inspeção de manutenção. Inspecionar não significa necessariamente intervir de imediato; significa produzir informação capaz de sustentar uma decisão técnica.

A qualidade da inspeção influencia todas as etapas seguintes. Uma anomalia não detectada deixa de entrar no processo de decisão, enquanto uma condição classificada inadequadamente pode receber prioridade incompatível com seu risco. Os critérios sistemáticos de inspeção defendidos pelas especificações técnicas analisadas contribuem para reduzir essa variabilidade (CEMIG, 2005; CEMIG, 2007).

Integração entre Inspeção Visual e Instrumental

As inspeções visual e instrumental apresentam características complementares. A inspeção visual possui ampla aplicabilidade e permite reconhecer deterioração mecânica,

inclinações, corrosão, trincas aparentes, componentes ausentes, interferências da vegetação e diversas condições físicas da infraestrutura.

Entretanto, determinadas falhas apresentam manifestações pouco perceptíveis visualmente. Uma conexão pode manter aparência externa aparentemente adequada e, ao mesmo tempo, apresentar aumento de resistência elétrica e aquecimento localizado. Nesse contexto, a termografia acrescenta informação sobre o comportamento térmico do componente.

A combinação pode ser interpretada da seguinte forma: a inspeção visual avalia predominantemente a condição física aparente; a inspeção instrumental acrescenta evidências de comportamento que podem não ser percebidas diretamente; e a análise técnica integra essas informações para definir o diagnóstico. Dessa maneira, a tecnologia amplia a quantidade de informações disponíveis, mas não elimina a necessidade de competência técnica na interpretação.

Diagnóstico como Elo entre Inspeção e Manutenção

O diagnóstico representa o elo entre a inspeção e a execução da manutenção. Sem essa etapa, a inspeção tende a produzir apenas uma relação de anomalias. O diagnóstico procura interpretar cada evidência, associando-a ao funcionamento, à criticidade do ativo e ao potencial de evolução da condição.

Uma conexão aquecida, por exemplo, não deve ser tratada apenas pela presença de maior temperatura. É necessário avaliar carregamento, localização, estado dos conectores e diferença térmica em relação a componentes equivalentes. Da mesma forma, a deterioração de uma cruzeta, a inclinação de um poste ou uma trinca em isolador precisa ser interpretada em relação às condições mecânicas e elétricas da instalação.

Assim, o processo de decisão pode ser organizado como dado, informação, diagnóstico e decisão de manutenção. A inspeção produz o dado; a contextualização transforma-o em informação; a interpretação técnica estabelece o diagnóstico; e o diagnóstico orienta a ação mais adequada.

Programação Baseada em Condição e Criticidade

Os resultados demonstram que nem todas as anomalias apresentam a mesma prioridade. A programação precisa considerar a condição física, a probabilidade de evolução, as consequências de uma falha, a criticidade do circuito e os recursos disponíveis.

Duas anomalias tecnicamente semelhantes podem receber prioridades diferentes quando instaladas em circuitos com impactos distintos. Alimentadores principais, áreas com elevada densidade de carga e circuitos que atendem instalações prioritárias demandam avaliação diferenciada na definição das intervenções.

Essa abordagem permite interpretar a programação da manutenção como aplicação de critérios de risco. A decisão deixa de considerar apenas a existência do defeito e passa a incorporar a combinação entre condição do ativo e consequência operacional.

Relação entre Manutenção e Confiabilidade

A confiabilidade das redes resulta de múltiplos fatores e não pode ser atribuída exclusivamente à manutenção. Fenômenos atmosféricos, vegetação, interferências de terceiros, acidentes e condições ambientais também influenciam as interrupções. Entretanto, a manutenção pode atuar diretamente sobre uma parcela relevante das ocorrências associadas à degradação dos componentes e às condições detectáveis antes da falha.

A avaliação da efetividade da manutenção deve, portanto, relacionar indicadores de continuidade, causas das ocorrências, componentes envolvidos, intervenções executadas e evolução histórica. Essa associação evita a interpretação simplificada de que qualquer variação dos indicadores decorre exclusivamente das atividades de manutenção.

O volume de serviços executados, isoladamente, também não constitui medida suficiente de resultado. Uma estratégia de manutenção eficaz precisa produzir melhoria sustentável das condições dos ativos e reduzir a recorrência das causas sob controle da organização.

Segurança como Condição do Processo de Manutenção

A análise evidencia que a segurança não constitui etapa adicional à manutenção, mas condição para que a intervenção possa ser executada. Planejamento, análise de riscos, utilização

de equipamentos adequados, comunicação e controle da instalação precisam acompanhar o serviço desde sua preparação até o retorno do circuito à operação.

Nas intervenções em redes desenergizadas, a abertura de um equipamento de manobra não deve ser interpretada isoladamente como condição suficiente para início do trabalho. A equipe precisa confirmar as condições elétricas da instalação e aplicar as barreiras de proteção previstas nos procedimentos da empresa antes da execução.

A confirmação da ausência de tensão representa etapa indispensável, mas precisa estar associada às demais medidas de proteção, especialmente à equipotencialização e ao aterramento temporário quando aplicáveis. A razão é que uma instalação inicialmente sem tensão pode sofrer energização acidental, indução ou outras condições inesperadas durante a intervenção.

A segurança deve ainda permanecer presente no encerramento da atividade. A retirada de aterramentos, dispositivos de proteção, sinalização e bloqueios e o posterior retorno do circuito à operação exigem sequência controlada e comunicação entre os profissionais envolvidos.

Aterramento Temporário como Barreira Coletiva

O aterramento temporário apresenta função central nas atividades realizadas em redes desenergizadas porque contribui para manter os condutores em condição equipotencial durante a intervenção. Sua finalidade não se limita ao atendimento formal de um requisito; trata-se de uma barreira de proteção coletiva contra energizações indevidas e diferenças de potencial perigosas.

A possibilidade de contato acidental com circuitos adjacentes, falhas de isolamento, manobras incorretas, tensões induzidas, fontes externas e fenômenos transitórios demonstra que a condição elétrica da zona de trabalho pode se alterar após a verificação inicial. Por essa razão, o processo de manutenção segura requer medidas complementares e sequenciadas.

Sob a perspectiva deste estudo, a lógica da intervenção segura pode ser sintetizada como planejamento, seccionamento ou desligamento, impedimento de reenergização quando aplicável, confirmação da condição elétrica, equipotencialização e aterramento, proteção da zona de trabalho, execução, retirada controlada das proteções e retorno à operação. A supressão ou inversão das etapas aumenta a exposição aos riscos elétricos.

Vegetação e Ambiente Operacional

Outro resultado relevante é a constatação de que a manutenção das RDAs não está limitada aos equipamentos elétricos. Vegetação, edificações, condições do terreno, objetos e interferências externas podem modificar o risco e o desempenho da rede.

A presença de galhos próximos aos condutores pode provocar contatos, desligamentos e danos, exigindo inspeções das faixas de servidão e ações de manejo quando necessárias. Essas atividades devem respeitar procedimentos, requisitos ambientais, condições de segurança e autorizações aplicáveis.

Esse resultado reforça a necessidade de uma visão sistêmica da manutenção. A inspeção deve considerar simultaneamente o ativo elétrico, a estrutura mecânica, o ambiente e as interferências externas, pois todos esses elementos podem influenciar a continuidade do fornecimento.

Modelo Integrado para Inspeção e Manutenção de RDAs

A síntese das categorias analisadas permite propor um modelo integrado para a manutenção das Redes Aéreas de Distribuição: planejar, inspecionar, diagnosticar, priorizar, programar, intervir com segurança, verificar, registrar e avaliar os resultados.

O planejamento define recursos, condições e objetivos. A inspeção identifica o estado da infraestrutura. O diagnóstico interpreta as anomalias. A priorização considera condição e criticidade. A programação converte prioridades em ações. A execução aplica a estratégia selecionada sob condições controladas. A verificação confirma o resultado técnico, o registro preserva o histórico e a avaliação utiliza ocorrências e indicadores para retroalimentar o processo.

Esse modelo representa o principal resultado conceitual do estudo. A manutenção deixa de ser entendida apenas como o momento em que um componente é reparado ou substituído e passa a ser compreendida como ciclo contínuo de obtenção de informação, decisão, intervenção e aprendizagem operacional.

CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise demonstra que a manutenção das Redes Aéreas de Distribuição deve ser compreendida como processo integrado entre planejamento, inspeção, diagnóstico, priorização, execução e avaliação dos resultados.

O objetivo do estudo é atingido ao se identificar que as estratégias corretiva, preventiva e preditiva apresentam funções complementares e que sua efetividade depende da qualidade das informações disponíveis sobre a condição dos ativos e a criticidade dos circuitos.

Em resposta ao problema de pesquisa, conclui-se que a integração entre inspeção, diagnóstico de falhas, planejamento e procedimentos de segurança contribui para uma manutenção mais estruturada ao possibilitar a identificação antecipada de anomalias, a definição técnica das prioridades e a programação das intervenções de acordo com os riscos e consequências potenciais.

A combinação entre inspeções visuais e instrumentais amplia a capacidade de avaliação da infraestrutura. Enquanto a observação visual permite identificar condições físicas e ambientais, técnicas instrumentais acrescentam informações sobre comportamentos que podem indicar evolução de falhas antes da perda completa da função dos componentes.

O diagnóstico constitui o elo entre as informações coletadas e a decisão de manutenção. A identificação de uma anomalia, isoladamente, não determina a ação necessária; é preciso interpretar sua condição, criticidade, possibilidade de evolução e consequência para o sistema.

A confiabilidade também não deve ser avaliada apenas pela quantidade de serviços executados ou por um único indicador. A análise integrada de interrupções, causas, taxas de falha, histórico dos componentes e comportamento posterior às intervenções permite avaliar de forma mais consistente os efeitos da manutenção.

No campo da segurança, as intervenções exigem uma sequência estruturada de controles e não podem ser reduzidas ao simples desligamento do circuito. A confirmação das condições elétricas, a equipotencialização, o aterramento temporário quando aplicável, a sinalização, os bloqueios e o controle do retorno à operação constituem barreiras complementares para a realização segura dos serviços.

Como contribuição, o artigo propõe organizar a manutenção das RDAs segundo o ciclo planejar, inspecionar, diagnosticar, priorizar, programar, intervir com segurança, verificar,

registrar e avaliar resultados. Essa estrutura integra atividades frequentemente analisadas de forma isolada e reforça o caráter contínuo da gestão da manutenção.

O estudo apresenta como limitação seu caráter bibliográfico e documental, sem análise quantitativa de uma rede ou concessionária específica. Pesquisas futuras podem aplicar o modelo proposto a dados reais de alimentadores, avaliar a correlação entre anomalias identificadas em inspeções e falhas posteriores, comparar estratégias preventivas e preditivas ou analisar os efeitos das intervenções sobre indicadores de continuidade.

Conclui-se que a confiabilidade das Redes Aéreas de Distribuição não depende apenas da capacidade de corrigir falhas, mas da capacidade de identificar condições anormais, interpretar seus sinais, planejar intervenções e executar a manutenção de forma tecnicamente adequada e segura.

REFERÊNCIAS

AES ELETROPAULO S/A. **Manual de construção e manutenção de redes de distribuição aérea**. São Paulo: AES Eletropaulo, 2011.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Procedimento operacional padrão: inspeção de cruzetas de madeira em redes de distribuição urbanas e rurais**. Belo Horizonte, MG: CEMIG, dez. 2006.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Especificação técnica: critérios de inspeções terrestres em redes de distribuição urbanas e rurais**. Belo Horizonte, MG: CEMIG, dez. 2007.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de instruções técnicas. 2. versão**. Curitiba: COPEL, set. 2011.

CPFL – COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Manual de construção e manutenção de redes de distribuição aérea**. São Paulo: CPFL, 2012.