

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia de Energia

**Sistema para Gestão de manutenção em instalações
elétricas de baixa tensão: levantamento de requisitos
e caracterização de ensaios**

Autor: Anderson Santos de Sousa
Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Brasília, DF

2024



Anderson Santos de Sousa

Estudo de técnicas de manutenção preventiva e preditiva para instalações elétricas de baixa tensão

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Brasília, DF

2024

Anderson Santos de Sousa

Estudo de técnicas de manutenção preventiva e preditiva para instalações elétricas de baixa tensão/ Anderson Santos de Sousa. – Brasília, DF, 2024- 49 p.: il; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB Faculdade UnB Gama - FGA, 2024.

1. Instalações Elétricas. 2. Manutenção. I. Prof. Dr. Alex Reis. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Sistema para Gestão de manutenção em instalações elétricas de baixa tensão: levantamento de requisitos e caracterização de ensaios

CDU 02:141:005.6

Anderson Santos de Sousa

Estudo de técnicas de manutenção preventiva e preditiva para instalações elétricas de baixa tensão

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 26 de setembro de 2024:

Prof. Dr^o Alex Reis

Orientador

Prof. Dr^a Loana Nunes Velasco

Convidado 1

Eng. Augusto César Oliveira

Convidado 2

Brasília, DF
2024

Resumo

Os sistemas de energia elétrica têm passado, nas últimas décadas, por grandes alterações em paradigmas de projeto, operação e manutenção de instalações, bem como modernização de processos, as quais estão associadas aos diversos avanços tecnológicos e preocupações com as mudanças climáticas, eficiência energética e sustentabilidade, segurança de suprimento, dentre outros aspectos. De forma a preservar a vida útil de edificações, é de muita importância o estudo de técnicas para manutenção e retrofiting, sobremaneira as instalações elétricas, tendo em vista os impactos à saúde, segurança e meio ambiente que a má operação destes componentes podem ocasionar. Este Trabalho de Conclusão de Curso possui enfoque no levantamento de informações de instalações elétricas em uma edificação, a fim de ter uma referência para trabalhos de manutenção. Baseado em tais dados, este Trabalho de Conclusão de Curso avança no sentido de definir requisitos para a elaboração de um sistema de software para automatizar a gestão de manutenção em uma instalação elétrica predial.

Palavras-chave: Plano de manutenção. Instalações elétricas. Segurança. Inspeção. Manutenção preventiva.

Abstract

Over the past decades, electrical power systems have undergone significant changes in design, operation, and maintenance. These changes are associated with various technological advancements and concerns about climate change, energy efficiency and sustainability, supply security, among other aspects. To preserve the lifespan of buildings, it is crucial to study maintenance and retrofitting techniques, especially for electrical installations, considering the health, safety, and environmental impacts that poor operation of these components can cause. This Final Course Project focuses on gathering information about electrical installations in a building to serve as a reference for maintenance work. Based on this data, it advances towards defining requirements for the development of a software system to automate maintenance management in a building's electrical installation.

Key-words: Maintenance plan, Electrical Installations, Safety, Inspection, Preventative maintenance.

Lista de ilustrações

Figura 1 - Fluxograma do ciclo de vida das instalações elétricas (Adaptado de VELASCO, 2020).	13
Figura 2 - Fluxograma das etapas seguidas neste trabalho (Autoria própria, 2023). ...	31
Figura 3 - Checklist de Inspeção Preventiva (Autoria própria, 2024).	37
Figura 4 - Checklist de Inspeção Preventiva – Ensaio – Termografia e Medições (Autoria própria, 2024).	38
Figura 5 - Ordem de Serviço para manutenção elétrica corretiva (Autoria própria, 2024).	39
Figura 6 - Ficha Histórica de Manutenção (Autoria própria, 2023).	40

Lista de tabelas

Tabela 1 - Competência das pessoas (Adaptado de ABNT NBR, 2004).	25
Tabela 2 - Periodicidades recomendadas para as inspeções a serem realizadas (Autoria própria, 2023).	35

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACOPEL	Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
DISP	Disponibilidade
IBAPE	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO GERAL	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	CICLO DE VIDA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	13
2.2	CONCEITOS E DEFINIÇÕES DE MANUTENÇÃO	16
2.2.1	<i>Tipos de manutenção</i>	17
2.2.2	<i>Estratégias de manutenção</i>	17
2.3	INDICADORES DE MANUTENÇÃO	20
2.3.1	<i>Tempo médio entre falhas - MTBF</i>	21
2.3.2	<i>Tempo médio para reparos</i>	21
2.3.3	<i>Disponibilidade</i>	22
2.3.4	<i>Confiabilidade</i>	22
2.4	PERIODICIDADE DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO	23
2.4.1	<i>Rotineiras</i>	23
2.4.2	<i>Periódicas</i>	23
2.4.3	<i>Emergenciais</i>	23
2.5	INSPEÇÃO PREDIAL.....	23
2.6	NORMAS RELATIVAS AO TEMA.....	24
3	METODOLOGIA	30
4	RESULTADOS	32
4.1	PLANO BASE DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	32
4.2	COMPONENTES E RESPECTIVAS PERIODICIDADES	34
4.3	CHECK-LIST DE ROTINAS DE MANUTENÇÃO	36
4.4	LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PARA SUBSIDIAR A ELABORAÇÃO DE APLICATIVO	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	Referências	46

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de energia elétrica têm passado, nas últimas décadas, por grandes alterações em paradigmas de projeto, operação e manutenção de instalações, bem como modernização de processos, as quais estão associadas aos diversos avanços tecnológicos e preocupações com as mudanças climáticas, eficiência energética e sustentabilidade, segurança de suprimento, dentre outros aspectos. Nesse sentido, o aumento acelerado da demanda por energia elétrica em todo o mundo, associado à necessidade de diminuir a dependência por combustíveis fósseis, têm alavancado a busca por fontes de energia renováveis e a implementação de ações de eficiência energética.

Nesse contexto, ações de Eficiência Energética ganham destaque como uma alternativa para reduzir a demanda mundial de energia. Ela pode ser definida como sendo a capacidade de realizar a mesma tarefa utilizando menos energia e é composta por um conjunto de medidas como, por exemplo, trocas de equipamentos por modelos mais eficientes, programas de etiquetagem e medidas de conscientização sobre o tema, dentre outros.

Nesse cenário, constata-se que as edificações, de um modo geral, com o passar dos anos, tendem a se tornar obsoletas, seja pelos avanços tecnológicos atrelados a novas concepções de projeto, desenvolvimento de novos materiais e/ou equipamentos, bem como a perda de funcionalidade, decorrente de modificações de uso ou final de vida útil dos equipamentos. Nesse contexto, é de muita importância o estudo de técnicas para manutenção e retrofitting ou reabilitação das edificações, sobremaneira as instalações elétricas, tendo em vista os impactos à saúde, segurança e meio ambiente que a má operação destes componentes podem ocasionar.

De acordo com o Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica 2023 – ano base 2022, produzido pela Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (Abracopel), ocorreram 1.828 acidentes no Brasil, resultando em 686 mortes (ABRACOPEL, 2023). Embora o número seja significativo, a Abracopel sugere que a quantidade real de ocorrências pode ser até três vezes superior, já que nem todos os incidentes são oficialmente relatados à associação. Os principais fatores que contribuem para os acidentes envolvem instalações elétricas em condições precárias. Além disso, no setor da construção civil, há incidentes que ocorrem quando trabalhadores são expostos a riscos elétricos durante suas tarefas, tanto no ambiente de trabalho como em situações de contato acidental com as redes de distribuição de energia.

Conscientes da importância de preservar as instalações e o estado técnico das edificações, tanto os administradores de prédios quanto as autoridades públicas não podem negligenciar a responsabilidade de realizar uma manutenção predial eficaz nas instalações elétricas. Isso é essencial para garantir o bem-estar, a segurança e a proteção de todas as pessoas que frequentam esses locais.

A realização de serviços de manutenção pode ser feita de duas maneiras: internamente pela própria organização ou empresa, utilizando sua própria equipe de trabalho, ou por meio da contratação de serviços terceirizados. A escolha da terceirização dos serviços parece oferecer vantagens consideráveis, pois envolve a transferência das responsabilidades e tarefas para uma empresa especializada da área, que teoricamente possui maior domínio e conhecimento em Engenharia de Manutenção. Isso pode resultar em redução de custos e estoques, ao mesmo tempo, em que eleva a especialização e qualidade dos serviços. No entanto, para colher essas vantagens e outras, é fundamental adotar uma abordagem de Gestão de Manutenção que se concentre no gerenciamento de forma estratégica das atividades de manutenção rotineiras.

Nesse contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso possui enfoque no levantamento de informações de instalações elétricas em uma edificação, a fim de ter uma referência para trabalhos de manutenção. Baseado nas informações anteriores, este Trabalho de Conclusão de Curso avança no sentido de definir requisitos para a elaboração de um sistema de software para automatizar a gestão de manutenção em uma instalação elétrica predial.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo a realização de estudos acerca de metodologias, procedimentos e testes voltados para manutenção de instalações elétricas prediais, bem como definir os requisitos básicos para subsidiar o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de manutenção.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudos das normas técnicas NBR 5410:2004, NBR 14.136:2012, NBR 5674:2012, NBR 5462:1994, NR-10, dentre outras, de forma a identificar rotinas de inspeção de instalações elétrica;
- Desenvolver pesquisa de equipamentos existentes no mercado que subsidiam a manutenção preditiva de instalações elétricas.

- Desenvolver um plano de manutenção para instalações elétricas de edificações de uso público, de forma a viabilizar a identificação de patologias e a definição de soluções cabíveis de correção dos problemas.
- Caracterizar requisitos básicos para subsidiar a elaboração de softwares de gestão de manutenção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CICLO DE VIDA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

De acordo com o [Velasco et al., 2020], as instalações elétricas devem seguir algumas diretrizes que serão tomadas como referência para o desenvolvimento de projetos elétricos. Tais critérios abrangem o ciclo de vida das instalações e se apresentam como elementos referencias para subsidiar a tomada de decisão e verificação de conformidade de produtos e serviços. A Figura (1) apresenta o fluxograma do ciclo de vida das instalações elétricas.

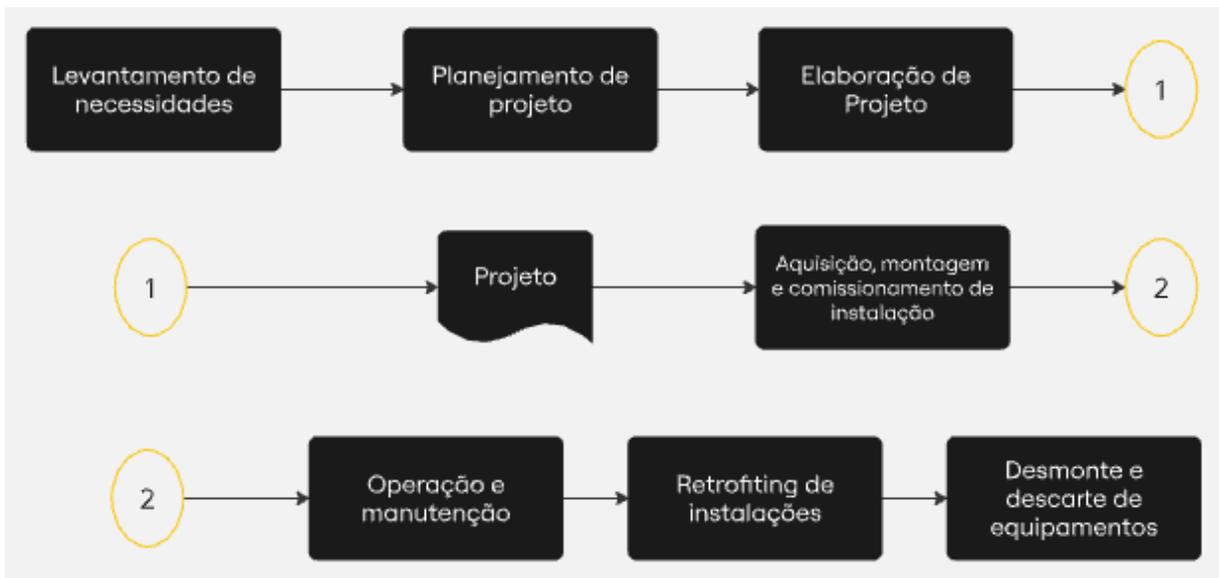


Figura 1 - Fluxograma do ciclo de vida das instalações elétricas (Adaptado de VELASCO, 2020).

Nesse contexto, destacam-se as seguintes fases:

- Levantamento de necessidades e planejamento do projeto: Esta etapa deve ser norteada pela obtenção de requisitos e informações necessárias para subsidiar a execução das etapas subsequentes de projeto.
- Elaboração do projeto: Com base no levantamento de necessidades, procede-se à elaboração do projeto das instalações elétricas. Esta etapa se baseia na elaboração de cálculos e desenhos técnicos, bem como a adoção de soluções de engenharia, que garantam o funcionamento do sistema dentro dos requisitos mínimos de desempenho; não proporcionem riscos à saúde e segurança dos

usuários; assegurem baixos impactos no ambiente; e flexibilizem a utilização, expansão e integração de novas tecnologias.

- Aquisição, montagem e comissionamento de instalações: com base no projeto executivo, procede-se às etapas subsequentes voltadas à aquisição e montagens de materiais/sistemas e realização de procedimentos para comissionamento de instalações, de forma a garantir que a execução do projeto foi realizada seguindo as melhores práticas de engenharia e que o início de operação se dará de forma segura.
- Operação e manutenção das instalações: em sequência, iniciam-se as etapas de operação e manutenção da instalação. Nesse sentido, as seguintes atividades podem integrar esta fase: garantir a operação dos equipamentos dentro das condições nominais; executar ações de manutenção corretiva e preventiva.
- Retrofitting de instalações: Ao longo da vida útil da instalação, pode ser necessária a realização de ações de retrofitting da instalação, de modo a garantir a continuidade de operação, viabilizar a inclusão de novas tecnologias e/ou modernizar o sistema.
- Desmonte e descarte de equipamentos: Ao longo do ciclo de vida da instalação, diversas ações de desmonte e descarte de equipamentos são necessárias, em função da montagem, operação e manutenção da instalação. Nesse sentido, esta fase deve levar em consideração o desmonte e descarte de equipamentos de acordo com as legislações ambientais e identificar a disponibilidade de planos de logística reversa de equipamentos (quando existentes) para descarte de materiais.

De acordo com Kardec e Nascif (2001), a evolução da manutenção é dividida em três gerações:

- A primeira geração de manutenção ocorreu antes da Segunda Guerra Mundial, em uma época em que a indústria era pouco automatizada, utilizando equipamentos simples e frequentemente dimensionados de forma excessiva. Nesse contexto, a manutenção consistia predominantemente em ações corretivas, uma vez que não havia uma necessidade premente de realizar

manutenção de forma sistematizada, mas sim de executar tarefas como limpeza, lubrificação e reparos quando necessário.

- A segunda geração engloba o período da Segunda Guerra Mundial até a década de 1960. Devido à intensa demanda por uma variedade de produtos durante a guerra, houve a necessidade de aumentar a disponibilidade de equipamentos, o que levou à adoção de práticas de manutenção preventiva.
- A terceira geração de manutenção surgiu após os anos de 1970, impulsionada pela adoção do conceito de produção just-in-time. Nesse cenário, a necessidade de manter estoques limitados, pequenas paradas na produção poderiam significar grandes perdas. Portanto, a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos passou a desempenhar um papel crucial, conduzindo à implementação da manutenção preditiva como meio de alcançar esses objetivos.

Portanto, as abordagens e as práticas relacionadas à manutenção foram evoluídas ao longo do tempo. Embora possam ter passado despercebidas em épocas anteriores, a manutenção sempre foi uma parte intrínseca da operação de equipamentos e sistemas.

Segundo o Instituto de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo, a sociedade depende enormemente da energia elétrica, que desempenha um papel fundamental em diversas aplicações essenciais para as atividades cotidianas das pessoas. Portanto, é crucial que as instalações elétricas sejam tratadas com cuidado especial, garantindo a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança tanto das pessoas quanto das instalações (IBAPE/SP, 2020).

Em relação a todas as instalações elétricas, é essencial que sua concepção e/ou renovação siga as diretrizes dos documentos normativos, que, no contexto brasileiro, são desenvolvidos pela ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas (FILHO, 2002).

A produção de edificações está intrinsecamente ligada a uma necessidade social fundamental: a criação de espaços para atividades humanas, com destaque para a moradia. Para atender às demandas dos usuários, é imprescindível que essas construções ofereçam segurança, saúde, conforto, adequação ao uso e eficiência econômica, conforme previsto na Norma NBR 5674:2012. No entanto, para garantir a resistência contínua dessas estruturas aos desafios ambientais e ao desgaste decorrente do uso, a própria norma ressalta a importância da realização de manutenções específicas. A eficiência dessas intervenções está diretamente ligada à adoção

de procedimentos organizados em um sistema de manutenção, conforme estipulado pela Norma NBR 5674:2012.

2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES DE MANUTENÇÃO

A manutenção de edificações é descrita como um conjunto de ações realizadas com o propósito de preservar ou restaurar a funcionalidade da edificação e de suas partes componentes, para atender às necessidades e garantir a segurança de seus ocupantes (ABNT NBR 5674, 2012).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, manutenção é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.” (ABNT NBR 5462, 1994, p. 7).

Para Lessa e Souza (2010), a definição de manutenção de edifícios tem evoluído ao longo do tempo em resposta aos progressos tecnológicos, econômicos, sociais e industriais. Eles também enfatizam que o objetivo principal deve ser extrair o desempenho máximo da estrutura do edifício, proporcionando um retorno significativo sobre o investimento realizado.

Ainda segundo Lessa e Souza (2010), a ausência de manutenções preventivas resultam em inconvenientes, perdas financeiras e questões sérias que podem ser prevenidas ou reduzidas consideravelmente através da implementação de um programa de gerenciamento de manutenção bem estruturado e planejado, cujo propósito é evitar o desgaste, a deterioração de equipamentos e a ocorrência de acidentes.

De acordo com Gomide et al. (2006), a manutenção pode ser descrita como “o conjunto de ações e meios que asseguram o desempenho ótimo da edificação, atendendo à discussão dos usuários com confiabilidade e disponibilidade, ao menor custo viável”.

A longevidade de uma construção não é determinada exclusivamente pela excelência dos materiais, serviços e componentes utilizados durante sua edificação. É essencial assegurar a utilização apropriada dos sistemas prediais, implementar a manutenção preventiva de forma estratégica e agir prontamente com medidas corretivas quando necessário.

2.2.1 Tipos de manutenção

O tipo de manutenção é determinado pela natureza da intervenção necessária. É fundamental compreender essa distinção, pois, embora todos estejam interligados, cada um deles requer um planejamento específico. Assim, os tipos de manutenção podem ser categorizados da seguinte forma:

- Conservação;
- Reparação;
- Modernização.

2.2.1.1 Manutenção de conservação

A manutenção de conservação aborda as tarefas realizadas de forma regular, como parte da rotina diária, semanal ou até mensal, e estão ligadas à operação e à limpeza do edifício, garantindo sua utilização (BONIN,1988).

2.2.1.2 Manutenção de reparação

A manutenção de reparação compreende tarefas, geralmente de pequena escala, que estão associadas tanto à manutenção corretiva quanto à preventiva. Essas atividades são executadas antes que o edifício ou algum sistema atinja um nível de qualidade considerado como o mínimo admissível (BONIN,1988).

2.2.1.3 Manutenção de modernização

A manutenção de modernização tem como objetivo melhorar a capacidade funcional do edifício ou dos sistemas em relação ao seu desempenho original. Envolve a implementação de ações preventivas e corretivas que demandam um acompanhamento cuidadoso das demandas dos usuários e também das inovações tecnológicas, garantindo assim que o edifício ou sistema permaneça atualizado (BONIN,1988).

É fundamental compreender que há várias maneiras de categorizar os tipos de manutenção. Neste trabalho, será abordado apenas a classificação baseada nas estratégias de manutenções adotadas, que se subdivide em manutenção corretiva, manutenção preditiva e manutenção preventiva.

2.2.2 Estratégias de manutenção

A estratégia de manutenção estabelece a abordagem que a organização seguirá. Existem várias pesquisas que propõem diferentes maneiras de categorizar e definir as estratégias de

manutenção. De acordo com Bonin (1988), essas estratégias podem ser resumidas em duas categorias: preventiva e corretiva. Além disso, Bet (2009) também introduz a manutenção preditiva como uma nova abordagem de estratégia de manutenção.

No escopo das manutenções elétricas existem 3 tipos de intervenções para se aplicar no planejamento estratégico de manutenção das instalações:

- Corretiva;
- Preventiva;
- Preditiva.

2.2.2.1 Manutenção Corretiva

Conforme as diretrizes da norma NBR 5462:1994, a manutenção corretiva é acionada quando é necessário corrigir ou substituir máquinas ou equipamentos que enfrentam falhas ou avarias inesperadas de maneira urgente.

É a manutenção que ocorre após a identificação de uma falha, tendo como objetivo principal corrigir ou restabelecer as condições de funcionamento da edificação, ou de seus componentes. Conforme a definição de Gomide et al. (2006), a manutenção corretiva envolve ações destinadas a reparar ou restabelecer o funcionamento adequado após a detecção de falhas, ou anormalidades, independentemente de terem sido planejadas ou não. Essas ações requerem frequentemente a interrupção total ou parcial do uso da edificação.

Dessa forma, a manutenção corretiva resulta em uma redução na utilização anual dos equipamentos e máquinas, encurtando a vida útil desses ativos e levando a interrupções não programadas para manutenção, que muitas vezes ocorrem em momentos inoportunos e aleatórios. Portanto, essa estratégia é considerada a menos vantajosa e deve ser evitada quando o gestor busca implementar uma abordagem estratégica para a gestão da manutenção predial.

2.2.2.2 Manutenção preventiva

Conforme afirmado por Bonin (1988), a manutenção preventiva é realizada seguindo um plano predeterminado, antes que o problema se torne aparente ou evidente. Com o intuito da realização da análise prévia para evitar futuras falhas e defeitos, feita em intervalos regulares.

São intervenções executadas de forma sistemática, seguindo intervalos de tempo predefinidos, independentemente da condição do equipamento, e, portanto, não acarretam em

sua interrupção imprevista. A frequência das intervenções é determinada por meio de um estudo detalhado dos vários componentes que influenciam o desempenho do equipamento, com o objetivo de identificar possíveis causas de falhas e as medidas correspondentes a serem adotadas para manter os componentes das instalações em um estado aceitável de funcionamento.

A utilização da estratégia de manutenção preventiva é benéfica quando demonstra eficácia em termos de custos, ao reduzir a incidência de manutenção corretiva e ao atender às necessidades operacionais dos usuários da edificação. É crucial destacar, no entanto, que a implementação da manutenção preventiva é praticamente impossível na ausência de informações detalhadas sobre as características dos edifícios a serem mantidos. Isso tem frequentemente dificultado sua aplicação. Além disso, a falta de informações sobre as curvas de degradação dos materiais representa outro obstáculo, muitas vezes sendo desconhecida até mesmo pelos próprios fabricantes.

A manutenção preventiva nas instalações elétricas pode evitar falhas do tipo:

- I. Mau funcionamento dos equipamentos;
- II. Problemas de contato em conexões dos barramentos e disjuntores;
- III. Incêndio;
- IV. Curto-circuito;
- V. Superaquecimento em equipamentos e condutores;
- VI. Queda de energia inesperada.

Além do risco de incêndio, a falta de manutenção em instalações elétricas pode resultar na perda de energia para o solo, paredes ou até mesmo grades. Isso não implica apenas no desperdício de recursos, já que se paga por energia não utilizada, mas também representa um perigo para a saúde de terceiros, pois pode causar choques elétricos em quem entrar em contato com áreas energizadas.

De acordo com (DAIVID,2016), a manutenção preventiva dos equipamentos e componentes é dividida em:

- Inspeção Visual: englobando a análise realizada exclusivamente por meio da observação visual, sem a necessidade de contato físico com os equipamentos, podendo identificar possíveis problemas superficiais;
- Ações Preventivas: medidas específicas para diminuir a probabilidade de ocorrência de problemas de menor visibilidade;
- Testes: Aferições realizadas com o objetivo de verificar se o equipamento continua em estado adequado de funcionamento.

Para garantir a segurança, é necessário desligar os equipamentos durante a execução de todas as etapas mencionadas nos tópicos de “Ações preventivas” e “Testes”.

Portanto, um plano de manutenção preventiva garantirá a confiabilidade dos equipamentos em funcionamento, realizando a substituição de seus componentes antes que ocorra uma falha. Essa abordagem é mais econômica do que a necessidade de reparar o equipamento após uma ocorrência inesperada ou avaria.

2.2.2.3 Manutenção preditiva

De acordo com Ferreira (2010), a manutenção preditiva é definida como uma inspeção, cujo objetivo é analisar sistemas e equipamentos para antecipar potenciais anomalias ou falhas, com base em seu desempenho e comportamento.

Conforme observado por Lessa e Souza (2010), a intervenção é conduzida conforme a necessidade, visando prevenir falhas. Ela é realizada enquanto o edifício permanece em funcionamento, e o momento da intervenção é adiado ao máximo, dependendo da instalação ou componente específico. Isso resulta em uma disponibilidade operacional aprimorada e maior confiabilidade.

Bet (2009) destaca a manutenção preditiva como uma das abordagens mais inovadoras na gestão de manutenção, pois permite monitorar o desempenho dos equipamentos por meio de instrumentos que fornecem informações quantitativas sobre todos os componentes existentes na instalação.

2.3 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

De acordo com Kardec e Ribeiro (2002), para que um sistema de controle de manutenção seja eficiente e eficaz, é essencial contar com informações de desempenho expressas por meio de relações ou índices. Esses indicadores devem ser empregados para

sinalizar áreas de fragilidade e, igualmente, para identificar potenciais problemas que estejam ocasionando resultados indesejáveis.

Assim, os indicadores de manutenção desempenham o papel de traduzir o desempenho dos equipamentos e sistemas de produção diante das intervenções de manutenção. São apresentados, logo a seguir, alguns desses indicadores, que estão relacionados ao tempo de funcionamento entre intervenções de máquinas e equipamentos, a quantidade de intervenções, além do tempo de reparo e sua disponibilidade.

2.3.1 Tempo médio entre falhas - MTBF

O Tempo Médio Entre Falhas (Mean Time Between Failures - MTBF) representa a frequência de intervenções no equipamento ao longo de um período específico. (MARTINS,2012)

O tempo total trabalhado é definido como a soma do tempo destinado à produção, abrangendo tanto o período efetivamente produtivo quanto o tempo de parada não planejada do equipamento. A Equação (1) descreve o cálculo do MTBF.

$$MTBF = \frac{T_{total}}{n} \quad (1)$$

Onde: T_{total} = Tempo total trabalhado (em minutos ou horas);

n = Número de intervenções.

A maneira mais eficaz de gerenciamento desse indicador é implementá-lo em cada equipamento. Dessa forma, as ações podem ser direcionadas de maneira individual, simplificando o processo. É importante considerar também que cada equipamento terá um ciclo de vida distinto.

Portanto, ao calcular o MTBF, é viável determinar o tempo médio durante o qual o equipamento opera sem interrupções.

2.3.2 Tempo médio para reparos

O Tempo Médio Para Reparo (MTTR - Mean Time To Repair) representa o tempo médio durante o qual o equipamento fica inoperante devido a uma ação relacionada à manutenção (MEGIOLARO,2015). A Equação (2) expõe a metodologia de cálculo do MTTR.

$$MTTR = \frac{T_{npman}}{n} \quad (2)$$

Onde: T_{npman} . = Tempo total de paradas não planejadas devido à manutenção (em minutos ou horas);

n = Número de intervenções;

Diferentemente do MTBF, o MTTR é um indicador menor/melhor, o que significa que devemos esforçar-nos para mantê-lo em níveis baixos.

2.3.3 Disponibilidade

O indicador de disponibilidade (DISP) tem a função de analisar o tempo em que o equipamento ou componente permanece disponível.

De acordo com ABNT NBR 5462:1994, a disponibilidade diz respeito à capacidade de um item para desempenhar uma função específica em um momento específico ou ao longo de um intervalo de tempo determinado. A equação (3) é apresentada logo abaixo e expõe o cálculo da Disponibilidade.

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (3)$$

Onde: MTBF: Tempo Médio Entre Falhas, apresentado no subtópico 2.3.1;

MTTR: Tempo Médio Para Reparos, apresentado no subtópico 2.3.2.

2.3.4 Confiabilidade

A confiabilidade, conforme a norma ABNT NBR 5462:1994, refere-se à probabilidade de que um item execute sua função designada conforme especificado no projeto, considerando as condições operacionais e ao longo de um intervalo de tempo específico. A equação (4) é apresentada logo abaixo e expõe o cálculo da Confiabilidade.

$$C = R(t) = e^{-\lambda.t} \quad (4)$$

Sendo que:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (4.1)$$

Onde: λ : Taxa de Falhas = $1/\text{MTBF}$;

t: Tempo (deve estar na mesma base do cálculo do MTBF);

e: Número de Euler – $e = 2,71828$.

2.4 PERIODICIDADE DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

Dada a relevância dos sistemas elétricos nas edificações, é fundamental considerar a necessidade de realizar inspeções regulares e aderir às normas técnicas para garantir o uso correto, a manutenção, a operação segura tanto para as pessoas quanto para as instalações. (IBAPE/SP, 2020).

A periodicidade das atividades de manutenção é classificada em rotineiras, periódicas e emergenciais. Esta análise torna-se relevante ao avaliar um grupo de edifícios, uma vez que diferentes equipes de profissionais realizam intervenções variadas, muitas vezes sem estarem sujeitas à mesma supervisão e gestão.

2.4.1 Rotineiras

As manutenções rotineiras estão ligadas à preservação do edifício mediante pequenas trocas de componentes, procedimentos de limpeza e higiene. Essas atividades são realizadas regularmente, principalmente pelos ocupantes do edifício (BONIN, 1988).

2.4.2 Periódicas

Já as atividades de manutenções periódicas, de acordo com Bonin (1988), estão associadas à estratégia de manutenção preventiva, seguindo um plano pré-determinado que normalmente requer uma equipe designada de forma constante para a realização das demandas.

2.4.3 Emergenciais

As ações de manutenção emergenciais estão vinculadas à abordagem de manutenção corretiva, respondendo a pedidos imprevisíveis e reparando danos inesperados. Devido à sua natureza solicitada, geralmente requer a mobilização de equipes variáveis (BONIN, 1988).

2.5 INSPEÇÃO PREDIAL

Segundo a Norma de Inspeção Predial do IBAPE/SP, a inspeção predial envolve a análise das condições técnicas, de utilização e de manutenção da edificação, seja de maneira independente ou em conjunto. Conforme a ABNT NBR 5674, é a avaliação do estado da

edificação e de seus componentes, realizada com o propósito de orientar as ações de manutenção.

No âmbito prático, a inspeção predial, trata-se de uma análise cujo propósito é avaliar a condição global da edificação, levando em consideração seus sistemas de construção, abrangendo aspectos como desempenho, funcionalidade, vida útil, segurança, estado de preservação, manutenção, utilização e operação, tudo isso em consonância com as expectativas dos usuários.

Com o objetivo de realizar essa avaliação, um diagnóstico predial abrangente é conduzido para identificar e caracterizar as manifestações patológicas presentes na edificação. Isso permite que os responsáveis pela edificação planejem as ações de manutenção de forma precisa e embasada, por meio de uma classificação técnica rigorosa e precisa. Portanto, é fundamental conduzir uma inspeção abrangente de todas as instalações da edificação, seguindo um padrão de verificação estabelecido em forma de lista de verificação (checklist).

Neste estudo, serão tratados os seguintes tópicos no contexto das manutenções elétricas prediais: quadros de comando, quadro de força, quadro de distribuição de força e luz, iluminação. Tomadas, Barramentos, Sistema de aterramento, proteção contra descargas atmosféricas, subestações/ cabines de medição, rede de distribuição de média tensão.

2.6 NORMAS RELATIVAS AO TEMA

No que diz respeito às normas associadas ao assunto, são relacionadas, de maneira ampla, as normas ABNT 5410:2004 (Instalações elétricas de baixa tensão), a ABNT NBR 5674:2012 (Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção), a ABNT NBR 14037 (Manual de operação, uso e manutenção das edificações - conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação), a NR 10 (Segurança em instalações e serviços em eletricidade).

ABNT NBR 5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão

A NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão – aplica-se a todas às instalações elétricas com tensão nominal igual ou inferior a 1000V em corrente alternada (CA) ou 1500V em corrente contínua (CC) (ABNT NBR 5410, 2004).

A norma NBR 5410 define os requisitos que as instalações elétricas de baixa tensão devem cumprir, com o propósito de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento eficaz das instalações e a preservação dos ativos (ABNT NBR 5410, 2004).

É necessário realizar manutenções regulares nas instalações elétricas, adaptando a periodicidade de acordo com o tipo específico de instalação (ABNT NBR 5410, 2004).

Segundo a ABNT NBR 5410, deve possuir inspeções mínimas das condições de isolamento dos condutores e de todos os componentes relacionados à conexão, suporte e fixação, deve ser avaliada para identificar possíveis riscos de superaquecimento, rachaduras e ressecamento. Além disso, é importante verificar se a fixação, a identificação e a limpeza estão em estado predominante (ABNT NBR 5410, 2004).

Ainda segundo a ABNT NBR 5410, a estrutura dos quadros e painéis devem passar por uma inspeção, em qual seu estado global em relação à fixação, integridade mecânica, pintura, corrosão, mecanismos de travamento e dobradiças devem ser distribuídas. Além disso, é necessário avaliar a condição geral dos condutores e cabos de aterramento (ABNT NBR 5410, 2004).

➤ Qualificação dos profissionais responsáveis

Segundo a Norma NBR 5410:2004, as verificações e intervenções nas instalações elétricas devem ser executadas somente por pessoas advertidas (BA4) ou qualificadas (BA5), conforme apresentado na tabela (1) a seguir:

Tabela 1 - Competência das pessoas (Adaptado de ABNT NBR, 2004).

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BA1	Comuns	Pessoas inadvertidas	—
BA2	Crianças	Crianças em locais a elas destinados ¹⁾	Creches, escolas
BA3	Incapacitadas	Pessoas que não dispõem de completa capacidade física ou intelectual (idosos, doentes)	Casas de repouso, unidades de saúde

BA4	Advertidas	Pessoas suficientemente informadas ou supervisionadas por pessoas qualificadas, de tal forma que lhes permite evitar os perigos da eletricidade (pessoal de manutenção e/ou operação)	Locais de serviço elétrico
BA5	Qualificadas	Pessoas com conhecimento técnico ou experiência tal que lhes permite evitar os perigos da eletricidade (engenheiros e técnicos)	Locais de serviço elétrico fechados
1) Esta classificação não se aplica necessariamente a locais de habitação.			

ABNT NBR 5674:2012 - Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.

A norma estabelece procedimentos para orientação e organização de um sistema de manutenções em edificações. Define critérios para a administração do sistema de manutenção de edifícios, com o objetivo de prevenir a interrupção do desempenho de seus sistemas, equipamentos e partes constituintes. Uma das práticas recomendadas envolve a elaboração anual de um plano para as ações de manutenção.

É importante ressaltar que mesmo as edificações mais antigas, construídas antes da norma NBR 5674 de 2012, devem desenvolver ou ajustar seus planos de manutenção. Isso é feito visando preservar as características originais das edificações, mesmo que seja necessário permitir reformas ou atualizações ao longo do tempo para atender às necessidades dos usuários em relação às inovações tecnológicas e às demandas do mercado imobiliário para os produtos de uso comum.

A norma recomenda que os indicadores de desempenho do sistema de gestão de manutenção sejam avaliados regularmente. Esses indicadores devem abranger os seguintes critérios: a conformidade com o desempenho previsto na NBR 15575, o tempo definido entre a detecção de não conformidades e as instruções de emergência, a frequência das inspeções prediais de uso e manutenção conforme especificado no manual de operação, uso e manutenção da edificação, bem como os registros dessas inspeções. Vale ressaltar que esses critérios podem variar conforme a complexidade da edificação.

NR 10, 2019 - Norma Regulamentadora N°.10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE.

Essa norma define os critérios e as condições mínimas necessárias para a introdução de ações de supervisão e sistemas preventivos, com o propósito de assegurar a segurança e o bem-estar dos trabalhadores que tenham qualquer tipo de envolvimento, direto ou indireto, com instalações elétricas e tarefas relacionadas à eletricidade (NR 10, 2019).

A NR-10 estabelece que, em atividades envolvendo instalações elétricas, caso não seja possível ou eficiente a aplicação de medidas de segurança coletivas para controlar os riscos, é necessário utilizar equipamentos de proteção individual apropriados e específicos para as tarefas desempenhadas, conforme estipulado na NR-6 (NR 10, 2019). O emprego de equipamento de proteção individual é uma demanda constante de regulamentações legais, não apenas recomendado para operações específicas e funcionários designados, mas sim, uma exigência legal. Conforme estabelecido no artigo 158 da CLT, a responsabilidade pelo uso de equipamento individual fornecido pela empresa é imposta ao empregado. (BRASIL, 2014).

As atividades realizadas em instalações elétricas envolvem riscos pertinentes à profissão. O uso de acessórios pessoais pelos trabalhadores pode elevar esse risco, uma vez que tais itens podem causar acidentes ou agravar sua gravidade. Com base nesse contexto, a NR 10, em sua seção 10.2.9.3, estabelece de forma precisa a proibição do uso de acessórios pessoais durante a execução de tarefas em instalações elétricas ou nas áreas próximas a elas (NR 10, 2019). Os principais riscos decorrentes aos serviços com eletricidade são:

- Choque elétrico;
- Curto-circuito;
- Arco elétrico;
- Incêndios e explosões;
- Queda de altura;
- Risco ergonômico;

A NR 10 estabelece diversas **medidas preventivas e mitigadoras** que devem ser aplicadas para reduzir os riscos associados ao trabalho com eletricidade como:

- Segregação de áreas e instalações – Devidamente sinalizada;
- Desenergização do sistema;

- Uso de equipamentos de proteção – EPI (Equipamentos de Proteção Individual) e EPC (Equipamentos de Proteção Coletiva);
- Capacitação e treinamento;
- Planejamento e procedimentos de trabalho;
- Manutenção preventiva;
- Sistemas de proteção;
- Isolamento das partes energizadas;
- Primeiros socorros e pronto atendimento;

De acordo com item 10.4.3 da NR 10 estipula que “nos locais de trabalho só podem ser utilizados equipamentos, dispositivos e ferramentas elétricas compatíveis com a instalação elétrica existente, preservando-se as características de proteção [...]” (NR 10, 2019).

ABNT NBR 5462:1994 - Confiabilidade e Manutenibilidade

De acordo com o disposto na NBR 5462:1994, a manutenção é definida como o conjunto de todas as medidas técnicas e administrativas, incluindo atividades de supervisão, com o propósito de preservar ou restabelecer um componente a um estado que permita a sua operação de acordo com as funções permitidas.

Segundo a NBR 5462, a manutenção preventiva é definida como a “manutenção realizada em intervalos pré-estabelecidos ou de acordo com critérios especificados, visando diminuir a probabilidade de falhas ou exceções do desempenho de um componente”. Semelhante à manutenção corretiva, a manutenção preventiva também encontra ampla aplicação.

ABNT NBR 14037:2011 - DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE MANUAIS DE USO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS EDIFICAÇÕES — REQUISITOS PARA ELABORAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS CONTEÚDOS.

Esta norma define os requisitos mínimos para a criação e apresentação dos elementos a serem incorporados no manual de uso, operação e manutenção das construções, preparado e fornecido pelo construtor e/ou incorporador, em conformidade com as leis em vigor (ABNT NBR 14.037,2011).

A linguagem empregada no manual deve ser clara e simples, incorporando elementos como esquemas, tabelas, fotos e ilustrações. As informações devem ser apresentadas de maneira

didática, ajustando o nível de detalhamento conforme a complexidade do sistema ou da construção. O manual deve ser confeccionado em um suporte físico resistente e de fácil acesso para os leitores. Embora o uso de meios eletrônicos seja permitido, é necessário que ofereçam uma opção que permita a reprodução fácil de conteúdos em formatos impressos de forma convencional (ABNT NBR 14.037, 2011).

O manual deve indicar um modelo de programa de manutenção preventiva que pode ser implementado. O programa de manutenção recomendado deve incluir detalhes sobre procedimentos, sequências e frequências das atividades, além de fornecer informações sobre as condições de manutenção previstas no projeto. O manual deve enfatizar a importância de garantir que a manutenção seja realizada por profissionais envolvidos e/ou por uma empresa especializada.

3 METODOLOGIA

A principal estratégia empregada neste trabalho envolve uma análise de fontes bibliográficas, as quais servirão como base sólida para a caracterização das rotinas de manutenção aplicada às instalações elétricas. Além disso, será adotado um método de natureza preventiva para avaliar a qualidade das instalações elétricas prediais por meio da coleta de informações relacionadas a possíveis anomalias. Essa abordagem visa atingir os objetivos específicos deste estudo, e para isso, o projeto é estruturado em fases distintas, que são:

- Etapa 1: Através da análise aprofundada da norma NBR 5410, pretende-se estabelecer os requisitos essenciais para a realização de práticas e testes em sistemas elétricos de baixa tensão. Além disso, será feito o uso das orientações e critérios de manutenção definidos nas normas NBR 5674:2012 e NBR 5462:1994. Um dos objetivos centrais deste estudo é determinar as frequências adequadas para a manutenção de instalações em edificações.
- Etapa 2: Por meio da implementação de um plano manutenção e de um checklist de inspeção, tomando-se por base a norma NBR 5410 e as medidas de proteção e segurança abordadas na NR-10, será indicado as diretrizes mínimas de segurança aplicáveis aos trabalhadores competentes e qualificados para manuseio de instrumentos de medição, que interagem de forma direta ou indireta com as instalações elétricas da edificação (NR-10, 2019).
- Etapa 3: Caracterização de instrumentos que podem ser utilizados para as rotinas de manutenção em instalações elétricas;
- Etapa 4: Realização de mapeamento e coleta das patologias nas instalações elétricas, por meio das inspeções feitas, segundo as normas abordadas neste trabalho, descrevendo e registrando todos os resultados obtidos ao longo da análise.
- Etapa 5: Nesta etapa, logo após as coletas de patologias, será levantado, se necessário, as recomendações e ações para as soluções das não conformidades localizadas, visando melhorar o desempenho e eliminação de riscos das instalações elétricas por meio de ações corretivas. A avaliação do perigo em uma instalação elétrica será categorizada em três níveis: alto, médio e baixo. Essa categorização de risco está vinculada às probabilidades de sobrecarga, curto-circuito e risco de choque elétrico que uma instalação elétrica pode apresentar, levando em conta os aspectos relacionados à segurança.

Logo abaixo, na Figura (2), é apresentado um fluxograma com as etapas definidas a serem seguidas na metodologia.

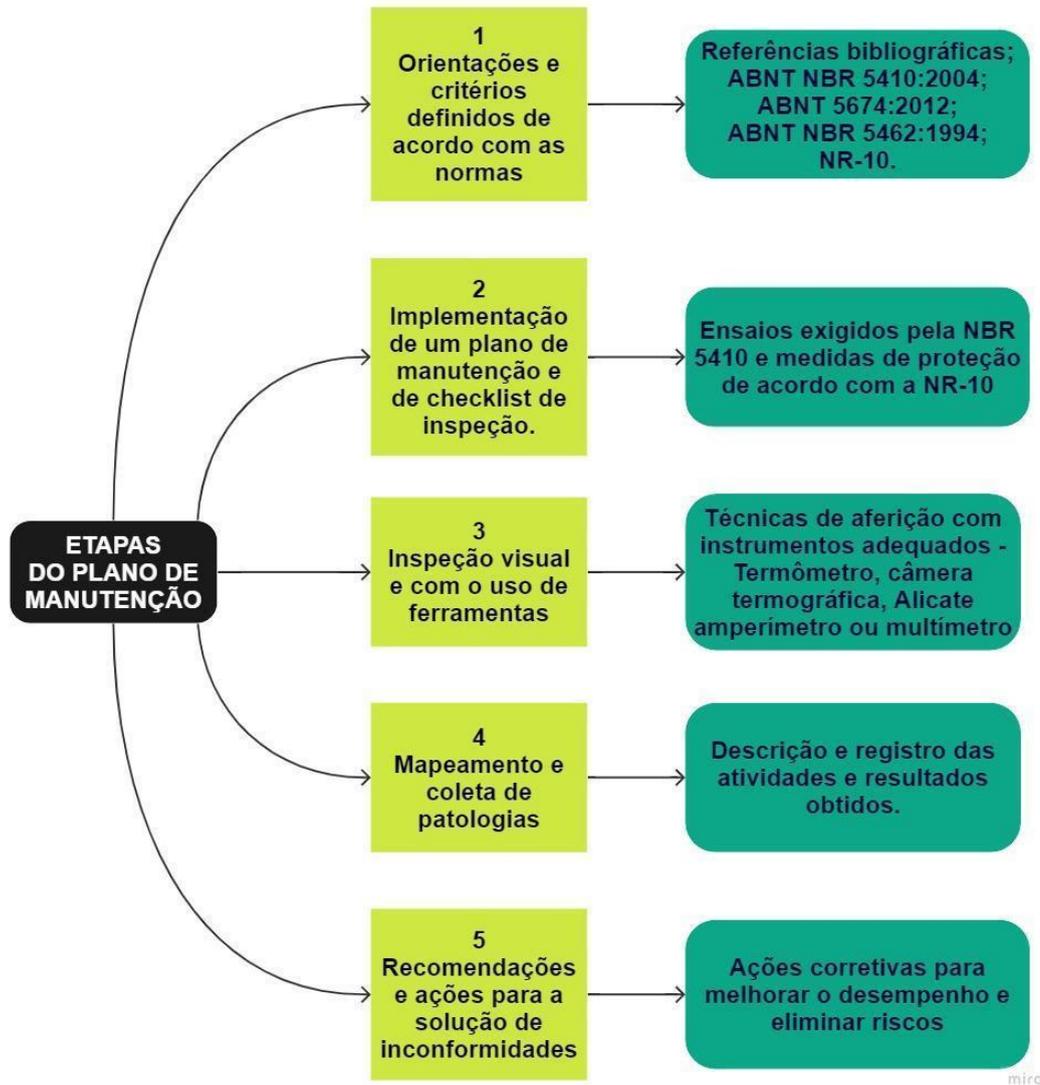


Figura 2 - Fluxograma das etapas seguidas neste trabalho (Autoria própria, 2023).

Por meio dessas etapas a serem seguidas, irá nortear melhor a elaboração deste estudo.

4 RESULTADOS

4.1 PLANO BASE DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Um plano de manutenção consiste num conjunto de diretrizes envolvidas como parte do processo de manutenção, com o propósito de criar previsões e fazer o planejamento das atividades de manutenção. As atividades de manutenção são a execução prática do plano de manutenção, seguindo um conjunto de procedimentos predefinidos. A implementação dessas atividades procura reduzir o processo de desgastes e, assim, minimizar os custos futuros associados ao uso das edificações.

Para execução de um plano de manutenção nas instalações elétricas de maneira eficiente, pode-se listar algumas etapas essenciais no processo como:

1. Mapeamento dos equipamentos e instalações;
2. Planejamento das rotinas de manutenção;
3. Implementação de checklist de manutenção;
4. Levantamento de custos;
5. Treinamento de equipe;
6. Acompanhamento das atividades;
7. Gestão de documentações.

Mapeamento dos equipamentos e instalações

O passo primordial na formulação de um plano de manutenção é desenvolver um registro que enumere todos os equipamentos e instalações constituídos na edificação a ser analisada. Ter um registro torna-se mais simples para o responsável de manutenção identificar as demandas de serviço relacionadas aos ativos da organização. É crucial que esse registro contenha informações como tipo de equipamento, modelo, fabricante e especificações técnicas disponibilizadas.

Planejamento das rotinas de manutenção

Com o inventário à disposição, o responsável estará apto para programar as atividades de manutenção conforme o planejado, respeitando os intervalos e a frequência recomendada pelo fabricante. Durante esta fase, é fundamental classificar os equipamentos de acordo com

sua prioridade, considerando fatores como intensidade de uso, desgaste de componentes e gravidade das falhas. Com a definição da frequência de manutenções ou revisões, será alocado o número de colaboradores necessários para a realização de cada atividade proposta.

Implementação de checklist de manutenção

O objetivo do checklist de manutenção é estabelecer um processo de inspeção para avaliar o estado de cada equipamento ou componente após a intervenção, seja ela preventiva ou corretiva. Isso garante que todas as etapas necessárias foram seguidas para garantir a segurança das informações e a efetividade dos procedimentos. A utilização de checklists de manutenção contribuirá para o aprimoramento do plano de manutenção preventiva, garantindo que as instalações continuem operando com alto desempenho e qualidade, consequentemente, estabelecendo a segurança para todos os usuários.

Levantamento de custos

Essa etapa envolve uma estimativa de custos do plano e suas despesas. O objetivo é fazer uma análise detalhada de todos os investimentos necessários para a realização das atividades, abrangendo itens como materiais, componentes e até mesmo a contratação de profissionais para a execução.

Treinamento de equipe

Os serviços de manutenções apresentam características únicas e riscos intrínsecos, portanto, para implementar um plano de manutenção de maneira eficaz e segura, a capacitação de profissionais é um passo fundamental. Além da qualificação dos profissionais, é fundamental ressaltar a necessidade de dispor de ferramentas adequadas para conduzir inspeções, testes e, quando necessário, realizar reparos nas instalações.

Acompanhamento das atividades

Acompanhar cada ação em campo é essencial para garantir uma execução adequada. Estabelecer um modelo de relatório que inclui informações úteis, como o checklist, fotografias, registros de horários de início e término das tarefas e definir um padrão mínimo de qualidade. Além disso, é indispensável dialogar com os colaboradores encarregados dos equipamentos para compreender melhor as necessidades de manutenção e identificar os primeiros sinais de problemas e falhas.

Gestão de documentações

A gestão eficiente de documentos é essencial no âmbito da manutenção, alterando os recursos utilizados na prestação dos serviços. Esse cuidado com a documentação não apenas diminui a incerteza durante o planejamento e execução das atividades de manutenção, mas também contribui para a programação mais eficaz de serviços futuros.

É fundamental preservar os registros dos equipamentos empregados, as orientações dos fabricantes quanto à operação e manutenção, os projetos elétricos e as plantas sempre atualizadas, assim como os memoriais de design e descritivos. Em casos de substituição de equipamentos ou alterações nas instalações e plantas elétricas, é necessário proceder à atualização dos documentos correspondentes.

Gestão de documentações

Para realizar manutenções em instalações elétricas, é crucial empregar ferramentas e equipamentos apropriados, pois isso assegura não apenas a eficácia das operações, mas também a segurança do profissional. Logo abaixo é apresentado algumas ferramentas e instrumentos fundamentais para a realização das atividades de manutenção:

Instrumentos

- Multímetro (para medir tensão, corrente, resistência e continuidade);
- Alicates amperímetro (para medir a corrente elétrica sem desconectar o circuito);
- Testador de tensão (para verificar a presença de tensão em circuitos);
- Câmera termográfica (captação de radiação infravermelha emitida por objetos, transformando em imagens visuais e escala de cores de acordo com a temperatura);
- Termômetro digital (aferrir as temperaturas dos componentes e equipamentos).

4.2 COMPONENTES E RESPECTIVAS PERIODICIDADES

Considerando as orientações da norma ABNT NBR 5410:2004, para estabelecer as frequências das manutenções, foram identificados os equipamentos juntamente com as respectivas periodicidades das intervenções realizadas. A Tabela (2) fornece as ações de manutenção preventiva abordadas neste estudo, incluindo as frequências específicas de realização.

Tabela 2 - Periodicidades recomendadas para as inspeções a serem realizadas (Autoria própria, 2023).

AÇÕES	PERIODICIDADE/ FREQUÊNCIA
Verificação de Tomadas	Diário
Verificação de Interruptores	Diário
Verificação de Pontos de Luz	Diário
Verificação de disjuntores, fusíveis e DPS's	Semestral
Verificação de contactores de comando	Semestral
Verificação do relé térmico	Semestral
Verificação e teste dos sinalizadores do quadro	Semestral
Verificação e reaperto dos bornes e cabos - Reapertar todas as conexões - contatos elétricos e componentes	Anual
Verificação de temperatura dos componentes do quadro	Trimestral
Estado dos condutores	Semestral
Identificação dos condutores	Semestral
Terminais de conexão	Semestral
Verificação de Eletrodutos	Semestral
Limpeza interna e externa dos quadros e painéis elétricos e verificar se todos os circuitos estão ativos	Mensal
Estado geral de quadros e painéis - fixação, integridade mecânica, pintura, fechaduras e dobradiças	Mensal
Verificação de Barramentos - Neutro e Terra	Mensal
Estado de conservação, fixação e integridade de cordoalhas, hastes e isoladores do sistema de SPDA	Mensal
Inspeção da continuidade do cabo de terra e tubo de proteção	Mensal
Inspeção das correntes das fases	Semestral
Inspeção das tensões das fases	Semestral
Inspeção das tensões entre fases	Semestral
Verificação de Quadro de medição	Semestral
Verificação de Caixas de passagem	Semestral
Verificação de Haste de cobre - aterramento do sistema	Mensal

Antecipa-se a obtenção de dados por meio de inspeções e ensaios elétricos, empregando os instrumentos adequados para evidenciar os testes transitórios em campo. Este estudo tem como base ressaltar a relevância significativa das manutenções elétricas realizadas por profissionais capacitados, utilizando as ferramentas adequadas e mantendo a periodicidade

necessária para preservar as edificações em bom estado de conservação, garantindo a plena segurança de todos os usuários do espaço.

4.3 CHECK-LIST DE ROTINAS DE MANUTENÇÃO

Dessa maneira, como resultado deste trabalho apresentado, logo após o levantamento dos componentes e equipamentos da instalação a ser estudados, é elaborado um conjunto de planilhas que auxiliam na gestão das ações de manutenções elétricas como um todo, para as rotinas de manutenção preventiva e corretiva, caso haja necessidade. Sendo assim, todas ajustáveis ao tipo e complexidade da edificação. Nas Figuras (3) e (4) abaixo, é apresentado os modelos de planilhas Checklist de manutenção preventiva.

A Figura (3) mostra, de forma geral, os itens que devem ser inspecionados nas instalações residenciais e prediais, com o objetivo de identificar possíveis anomalias. Já a Figura 4 lista os itens que devem ser medidos e coletados para análise, visando também detectar irregularidades. Os checklists podem ser ajustados conforme a complexidade das instalações, permitindo a adição ou remoção de itens conforme necessário.

INFORMAÇÕES		
CLIENTE		
E-MAIL		
LOCAL		
DATA		
TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO	220V	Monofásico
TIPOS DE RISCOS	MEDIDAS MITIGATÓRIAS	
Choque elétrico Curto-circuito Arco elétrico Incêndios e explosão Queda de altura Risco ergonômico	Segregação de áreas e instalações Desenergização do sistema Utilização de equipamentos de proteção Capacitação e treinamento Isolamento das parte energizadas Sistema de aterramento adequado Primeiros socorros e pronto atendimento	
Check list de Inspeção e Manutenção das Instalações Elétricas		
SINALIZAÇÃO	STATUS	
Identificação dos quadros	CONFORME	
Identificação dos componentes dos quadros elétricos	NÃO CONFORME	
Sinalização de risco de choque elétrico e de restrição de acesso	NÃO SE APLICA	
QUADROS ELÉTRICOS E COMPONENTES		
Quadros de Medição		
Fiação e componentes isolados		
Aterramento		
Emendas, conexões e contato		
Componentes sem oxidação e umidade		
Eletrodutos de entrada e saída		
Quadros protegidos		
Barramentos		
Dobradiças		
Isolamento das emendas dos fios e cabos		
Estado dos condutores		
Identificação dos condutores		
Terminais de conexão		
Disjuntores		
Instalação dos quadros elétricos		
DEMAIS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS		
Interruptores		
Pontos de Luz		
Tomadas		
Contactores de comando		
Redes de aterramento		
Motores elétricos		
Relé Termico		
Bombas		
Transformador		
Condutores isolados		
Condutores de proteção		
Cabos unipolares e cabos multipolares		
Fusíveis		
Partes vivas isoladas por barreiras		
Tomadas de correntes fixas		
Dispositivo diferencial residual (DR)		
Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)		
Separação dos circuitos de corrente alternada e corrente contínua		
Proteção dos componentes contra fogo		
Fios soltos		
Parafusos e conexões		
Componentes do sistema de SPDA		
Caixas de Passagem		

Figura 3 - Checklist de Inspeção Preventiva (Autoria própria, 2024).

CHECK-LIST DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA - ENSAIOS			
NOME:		CLIENTE OU LOCAL	
ENDEREÇO:			
RESPONSÁVEL LEGAL:			
DATA:			
TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO DO LOCAL:			
MONOFÁSICA	BIFÁSICA	TRIFÁSICA	
127V	127V	220V	
220V	220V	380V	
TIPOS DE RISCOS		MEDIDAS MITIGATORIAS	
Choque elétrico Curto-circuito Arco elétrico Incêndio e explosão Queda de altura Risco ergonômico		Segregação de áreas e instalações Desenergização do sistema Utilização de equipamentos de proteção Capacitação e treinamento Isolamento das parte energizadas Sistema de aterramento adequado Primeiros socorros e pronto atendimento	
ITENS PARA INSPEÇÃO	PERIODICIDADE	MEDIÇÃO	STATUS
Verificação de temperatura dos componentes do quadro			
Contatores (Ref. -25 a 55°)	Semestral		CONFORME
Disjuntores (Ref. 40 a 65°)	Semestral		NÃO CONFORME
Capacitores (Ref. -25 a 55°)	Semestral		NÃO SE APLICA
Barramentos (Ref. 0 a 90°)	Semestral		
Chaves de transferência (Ref. -25 a 55°)	Semestral		
Retificadores (Ref. -25 a 90°)	Semestral		
Fontes chaveadas (Ref. 0 a 45°)	Semestral		
Inversor de frequência (Ref. 0 a 40°)	Semestral		
Transformadores (Ref. 0 a 90°)	Semestral		
Inspeção da continuidade do cabo de terra e tubo de proteção	Semestral		
Verificação de correntes e fases			
Inspeção das correntes das fases	Semestral		
Inspeção das tensões das fases	Semestral		
Inspeção das tensões entre fases	Semestral		

LEGENDA
ANUAL
SEMESTRAL
MENSAL
DIÁRIO
TRIMESTRAL

Figura 4 - Checklist de Inspeção Preventiva – Ensaio – Termografia e Medições (Autoria própria, 2024).

Os checklists fazem parte integrante do plano de manutenção, abrangendo as atividades de manutenção preventivas a serem realizadas em toda a instalação. Além das ações a serem avaliadas, as periodicidades correspondentes podem ocorrer diariamente, mensalmente, trimestralmente, semestralmente e anualmente. É importante destacar que essas frequências e ações a serem verificadas podem ser ajustadas conforme a complexidade das instalações sob inspeção.

Mediante a realização adequada das inspeções e ensaios do checklist de manutenção preventiva, torna-se possível identificar anomalias que requerem correção por meio da Ordem

de Serviço de manutenção corretiva. Esta ordem abrange a resolução e descrição do problema identificado. Adicionalmente, caso surja a necessidade de substituir equipamentos ou componentes da instalação, o técnico responsável solicitará a realização da ação corretiva, apresentando os custos associados a essa intervenção específica. A Figura (5) exibe o modelo desenvolvido de ordem de serviço destinado à manutenção corretiva.

ORDEM DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO ELÉTRICA CORRETIVA - Nº da O.S. _____	
TIPOS DE RISCOS	MEDIDAS MITIGATÓRIAS
Choque elétrico Curto-circuito Arco elétrico Incêndio e explosão Queda de altura Risco ergonômico	Segregação de áreas e instalações Desenergização do sistema Utilização de equipamentos de proteção Capacitação e treinamento Isolamento das parte energizadas Sistema de aterramento adequado Primeiros socorros e pronto atendimento
SOLICITANTE	
Nome:	
Departamento/ Setor:	
Contato:	
Dados da Solicitação:	
Data da Solicitação:	Prazo para atendimento:
DADOS DE INSTALAÇÃO	
Local:	
Descrição da Instalação:	
Dados de Identificação do Problema:	
DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	
Descreva de forma específica o problema ou falha na instalação elétrica.	
SERVIÇOS REQUERIDOS	
Enumere os serviços de manutenção necessários para corrigir o problema, incluindo peças de componentes, re	
OBSERVAÇÕES ESPECIAIS	
Se houver informações adicionais importantes, incluindo-as aqui.	
RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO	
Nome do Técnico/ encarregado:	
Data de início da execução:	Hora de Início:
Data de fim da execução:	Hora de Fim:
Assinatura do Solicitante: _____	
CUSTOS	
TROCA OU SUBSTITUIÇÃO: R\$	MÃO DE OBRA: R\$
APROVAÇÃO DA MANUTENÇÃO	
Nome do Responsável pela Aprovação:	
Dados de Aprovação:	
Assinatura do Aprovador: _____	
STATUS DA O.S	
PENDENTE	
EM ANDAMENTO	
CONCLUÍDO	

Figura 5 - Ordem de Serviço para manutenção elétrica corretiva (Autoria própria, 2024).

Em uma outra seção adicional da planilha elaborada, encontra-se a Ficha Histórica de Manutenção, cujo objetivo é documentar o histórico das manutenções efetuadas em um

Data da Inspeção;

Tensão de Alimentação;

Quantidade de medidores;

Quantidade de quadros de distribuição de circuitos;

➤ **Segurança;**

O aplicativo deve enviar um aviso toda vez que for iniciada as inspeções, para lembrar o profissional responsável pela execução sobre o uso de equipamentos de proteção individual e destacar a importância da Norma Regulamentadora-10 na segurança de instalações elétricas.

➤ **Alertas e notificações;**

Envio de alertas e notificações sobre manutenções programadas, necessidades de intervenção urgente, e status de ordens de serviço.

➤ **Planejamento de Manutenções Preventivas;**

Agendamento automático de manutenções preventivas com base em critérios pré-definidos, como as frequências/ periodicidades definidas ou até mesmo pelas recomendações dos fabricantes.

➤ **Dashboard;**

Visualização ampla de manutenções realizadas ao longo de determinados períodos;

Levantamento de custos, tanto das manutenções preventivas e principalmente das corretivas;

➤ **Checklist de Conformidade e não conformidade;**

Apresentar de maneira clara um checklist de inspeção, sendo possível marcar os itens a serem verificados em CONFORME, NÃO CONFORME E NÃO SE APLICA (caso algum item não possua ou não faz parte da instalação do local) sendo preenchido pelo usuário;

Checklist subdividido em partes de inspeções como MEDIDORES, SINALIZAÇÃO, QUADROS ELÉTRICOS E COMPONENTES, DEMAIS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS, MEDIÇÕES TERMOGRÁFICAS, DE TENSÃO, CORRENTE E DE RESISTÊNCIA;

Checklist de acordo com a periodicidade das manutenções, havendo a necessidade de dividir as atividades de inspeção de acordo com as frequências de manutenção como, DIÁRIAS, MENSAIS, TRIMESTRAIS, SEMESTRAIS E ANUAIS, para os casos de manutenções preventivas;

➤ **Registros Fotográficos;**

Realizar registros fotográficos ao longo da inspeção, principalmente das anomalias ou não conformidades e anexar ao relatório final na seção de ANEXOS;

➤ **Relatório final de inspeção;**

Geração de um relatório contendo o resumo das inspeções realizadas ao final dos processos com os dados do local e a relação de conformidade e não conformidade e campo para observações gerais, caso haja necessidade;

Deve conter os dados dos responsáveis técnicos como, Nome completo, Título, Número de registro CREA e um campo para assinatura dos responsáveis;

Ao término das inspeções, o aplicativo deve alertar sobre as pendências de não conformidade indicadas pelo usuário, garantindo que os relatórios sejam gerados somente após a inclusão dessas informações obrigatórias.

➤ **Ordem de serviço para manutenção corretiva;**

Após a detecção de alguma anomalia (não conformidade), deve-se gerar uma ordem de serviço para correção do problema encontrado, contendo dados das instalações, equipamentos a serem reparados ou substituídos e custos previstos para a realização da atividade e permitindo a priorização e acompanhamento do status das ordens geradas em tempo real;

➤ **Aumento de carga e/ou expansão de circuitos**

É frequente que condomínios ou residências mais antigos tenham instalações elétricas desatualizadas em relação aos padrões de consumo de energia de hoje. Isso se evidencia ao

compararmos a quantidade de dispositivos que utilizamos atualmente com a de 30 anos atrás. Embora os aparelhos de hoje sejam mais eficientes em termos de energia, temos novas demandas e um maior acesso a equipamentos como ar-condicionado, aquecedores, fritadeiras, computadores, televisores, entre outros.

Através das inspeções realizadas pelo aplicativo sugerido, percebe-se a necessidade de adicionar um tópico relacionado à expansão de circuitos, que inclui a adição de equipamentos, a instalação de uma nova carga e, se necessário, a solicitação de aumento de carga junto à concessionária.

O aumento de carga em instalações elétricas é necessário em diversas situações, principalmente quando a demanda por energia elétrica em um ambiente cresce, superando a capacidade instalada. Logo abaixo estão alguns casos comuns em que há necessidade do aumento de carga nas edificações:

- Reformas e expansão de edifícios;
- Instalação de novos equipamentos;
- Evolução tecnológica – automação residencial ou industrial;
- Crescimento populacional;
- Inadequação da instalação atual - Instalações mais antigas, desenvolvidas para uma carga inferior, podem não conseguir sustentar o crescimento gradual de demanda ao longo do tempo, resultando na sobrecarga dos circuitos. Diante disso, é preciso atualizar o sistema elétrico para assegurar tanto a segurança quanto o desempenho correto da instalação;
- Conformidade com normas técnicas;

Em qualquer um desses cenários, é fundamental que o aumento de carga seja realizado com base em um projeto elétrico adequado, elaborado por um profissional qualificado, que irá avaliar a capacidade instalada, realizar os cálculos das novas cargas, fazer o dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção, certificar se há espaço suficiente nos quadros de distribuição para a expansão, revisar o sistema de aterramento, adequar o dispositivo de proteção geral e caso haja necessidade, solicitar o aumento de carga à concessionária local. Logo, serão ações que irá garantir a segurança e eficiência da instalação.

Assim, a inclusão do item para expansão de circuitos e/ou aumento de carga no software permitirá uma análise mais precisa das necessidades da edificação, utilizando as informações

disponíveis. Isso também ajudará o responsável técnico a seguir diretrizes mais claras na elaboração do projeto de expansão.

Ao implementar esses requisitos para o desenvolvimento do aplicativo, além de simplificar a análise das inspeções, será possível manter um controle de gestão abrangente. Isso será feito através do painel visual do dashboard, que oferece visualizações rápidas e centralizadas sobre manutenções concluídas, pendentes e em andamento. Um outro diferencial no desenvolvimento do aplicativo seria a integração de Inteligência Artificial, permitindo o acesso a milhares de manuais e datasheets de fabricantes de equipamentos elétricos, o que pode apoiar a equipe que utilizará o software.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo apresentar um plano de manutenção aplicável a instalações elétricas em edifícios e residências, com ajustes específicos conforme a complexidade dos circuitos e as ações de manutenção necessárias. Além disso, são apresentadas de maneira clara as definições e conceitos, conforme as normas vigentes, juntamente com as orientações dos fabricantes e a literatura pertinente, abordando métodos padronizados para manutenção preventiva, incluindo as respectivas frequências, bem como a manutenção corretiva em instalações elétricas prediais.

A determinação das periodicidades de manutenção considera os efeitos de falhas e panes em componentes e dispositivos que compõem a instalação a ser inspecionada. Um elemento significativo a ser destacado é a importância de manter um estoque de materiais de baixo custo prontamente disponíveis, a fim de facilitar trocas e substituições necessárias durante as atividades de manutenção.

Equipes treinadas, tanto com mão de obra própria quanto terceirizadas, são responsáveis pela realização de inspeções visuais e ensaios elétricos. Em organizações governamentais e setores industriais, é comum contar com uma equipe dedicada exclusivamente à manutenção de equipamentos, frequentemente seguindo procedimentos padronizados para todas as instalações. A organização das rotinas de manutenção e dos principais testes serve como guia para essas equipes, garantindo a operação eficiente das instalações.

A utilização das planilhas descritas neste estudo é fundamental para uma gestão eficaz do plano de manutenção, ou seja, para as atividades de manutenções programadas. Esse controle envolve o preenchimento das abas "Plano e Cronograma de Manutenção Preventiva" e das ações específicas de inspeções regulares, da "Ordem de Serviço de Manutenção Elétrica Corretiva", incluindo os dados relevantes, além da seção da "Ficha Histórica de Manutenções". Assim, a incorporação da planilha nas operações da equipe de manutenção fornece direcionamento para identificar novas oportunidades de aprimoramento e realizar ajustes na estrutura original do plano. A criação de um aplicativo também será fundamental para tornar as manutenções mais eficientes e eficazes, especialmente no que diz respeito aos relatórios finais e dashboards produzidos ao longo do tempo.

Referências

ABNT, Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade**, 1994. Acesso 05 set 2023.

ABNT, Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 5674 – manutenção de edificações – requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2012. Acesso 09 set 2023.

ABNT, **NBR. 14.037--Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações–Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos**. Rio de Janeiro, 2011. Acesso 10 set 2023.

ALICATE AMPERÍMETRO DIGITAL MANUAL DE INSTRUÇÕES Instructions Manual Manual de Instrucciones. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.minipa.com.br/images/Manual-ET-3200-1104-BR.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica – **Plano Mínimo de Manutenção**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/022/documento/anexo_plano_minimo_de_manutencao.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ANGARITA, J. A. C.; VELASCO, L. N.; FERREIRA FILHO, A.L.; FRONTIN, S.. **Ações de eficiência energética associadas à geração distribuída: estudo de caso: Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília**, Brasília, 2020. Acesso em 20 set. 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004. Acesso 03 set 2023.

BET, R. **Manutenção preditiva: produtividade e redução de custos**. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/manutencao-preditiva-produtividade-e-reducao-decustos/15395/>> Acesso em 03 out. 2023

BONIN, L. C. **Manutenção de edifícios: uma visão conceitual**. In: SEMINÁRIO SOBRE MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS. 1., 1988, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: UFRGS, 1988. Acesso 17 out 2023.

BRASIL. **Consolidação das leis do trabalho. Decreto-lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943**. Aprova a consolidação das leis do trabalho. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência Social, 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decretolei/De15452.htm> Acesso 15 out 2023.

DE SOUZA, Danilo Ferreira; MARTINHO, Edson; MARTINHO, Meire Biudes; MARTINS JR. Walter Aguiar (Org.). **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA 2023 – Ano base 2022**. Salto-SP: Abracopel, 2023. DOI: 10.29327/5194308. Acesso 20 nov 2023.

DE, M.; MEGIOLARO, O. **INDICADORES DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL RELACIONADOS À EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTOS** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15030/1/PB_COELT_2015_1_09.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GOMIDE, T. L.; PUJADAS, F. Z. A.; FAGUNDES NETO, J. C. P. **Técnicas de inspeção e manutenção predial: vistorias técnicas, check-up predial, normas comentadas, manutenção x valorização patrimonial, análise de risco**. São Paulo: Pini, 2006. Acesso 19 out 2023.

<http://www.benetechco.net/UploadSysFiles/Images/Product/1/1/GM320/7160301002-VER-A1-GM300E.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Inspeção predial: a saúde dos edifícios**. São Paulo, 2020 Disponível em: <<http://www.ibape-sp.org.br/arquivos/CARTILHA-Inspecao-predial-a-saude-dosedif%C3%ADcios.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2023.

KARDEC, Alan. RIBEIRO, Haroldo. **Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma**. Rio de Janeiro. Qualitymark: ABRAMAN, 2002. Acesso 15 out 2023.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012. 440 p. Acesso 05 out 2023.

LESSA, Ana Karina Marques da Cunha; DE SOUZA, Herbert Lopes. **Gestão da manutenção predial: uma aplicação prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010. 144 p. Acesso 12 out 2023.

MARTINS, Ana Patrícia Ribeiro de Almeida Pires. **A influência da manutenção industrial no índice global de eficiência (OEE)**. 2012. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

MORAES, Paulo Henrique de Almeida. **Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Taubaté: UNITAU, 2004. Disponível em: <<http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/5108>>. Acesso em 24 nov 2023

NR 10 -**SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>>. Acesso 26 out 2023.

PEREIRA, D.; BRASÍLIA, P. **MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÕES DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA EM CONFORMIDADE COM A NR10** UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/14995/1/2016_DavidPereiraPassosJunior_tcc.pdf>. Acesso 18 nov 2023.

