

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**APLICATIVO PARA TERMOGRAFIA
PREDITIVA INDUSTRIAL EM PAINÉIS
ELÉTRICOS FOCADO NA
CONECTIVIDADE E CONFIABILIDADE
DA MANUTENÇÃO**

JOICE DIAS SÁ ZACARIAS

VIÇOSA
OUTUBRO, 2021

**APLICATIVO PARA TERMOGRAFIA
PREDITIVA INDUSTRIAL EM PAINÉIS
ELÉTRICOS FOCADO NA
CONECTIVIDADE E CONFIABILIDADE
DA MANUTENÇÃO**

JOICE DIAS SÁ ZACARIAS

Universidade Federal de Viçosa
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Elétrica

Orientador: Alexandre Santos Brandão

VIÇOSA
OUTUBRO, 2021

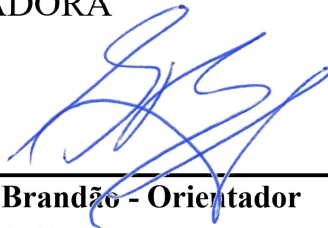
JOICE DIAS SÁ ZACARIAS

**APLICATIVO PARA TERMOGRAFIA PREDITIVA INDUSTRIAL
EM PAINÉIS ELÉTRICOS FOCADO NA CONECTIVIDADE E
CONFIABILIDADE DA MANUTENÇÃO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 14 de outubro de 2021.

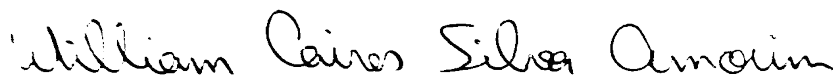
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Alexandre Santos Brandão - Orientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. Rodolpho Vilela Alves Neves - Membro
Universidade Federal de Viçosa



M.Sc. William Caires Silva Amorim - Membro
Universidade Federal de Viçosa

*Aos meus pais, Jorge e Maria Eunice,
e às minhas irmãs, com meu amor e gratidão.*

Resumo

A confiabilidade de um equipamento industrial se baseia na probabilidade de o mesmo cumprir seu papel em um intervalo de tempo previamente estipulado. Nesse sentido, a temperatura de um equipamento elétrico é a variável principal para que se possa medir o estágio de vida desses equipamentos (ativos de capital). Assim, a termografia se consolidou, hodiernamente, como uma ferramenta imprescindível na manutenção preditiva para a detecção de possíveis falhas e/ou avarias que possam levar a condições inseguras ou até mesmo a parada de produção, de forma não invasiva. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um aplicativo, chamado Termo Visão, utilizando-se conceitos da Indústria 4.0, centrado na manutenção preditiva termográfica, inicialmente utilizado em painéis elétricos industriais de distribuição e de comando. Isso será realizado por meio da conexão de inspeções termográficas *in loco* a um sistema de comunicação em tempo real, de forma a otimizar a tomada de decisão em situações críticas e a comunicabilidade entre líderes e liderados em um ambiente industrial. Nesse sentido, foi proposto o projeto do aplicativo por meio de uma programação *Low-Code* para aplicação em uma indústria de produtos florestais que já se encontra disponível para operação. Nesse sentido, o projeto atendeu às expectativas e proporcionou tal integração de dados, o que diminuiu o tempo de transcrição de informações previamente realizado de forma manual e otimizou o processo como um todo.

Palavras-chave: Termografia, Confiabilidade, Indústria 4.0, Conectividade, Temperatura, Painéis Elétricos.

Abstract

The reliability of an industrial equipment is based on the probability of it fulfilling its role within a previously stipulated period of time. In this sense, the temperature of an electrical equipment is the main variable for measuring the life stage of this equipment (capital assets). Thus, thermography has been consolidated, nowadays, as an essential tool in predictive maintenance for detecting possible failures and/or malfunctions that may lead to unsafe conditions or even production stoppages, in a non-invasive way. Thus, this work aims to develop an application, called Termo Visão, using concepts from Industry 4.0, centered on thermographic predictive maintenance, initially used in industrial electrical distribution and control panels. This will be done by connecting thermographic inspections *in loco* to a real-time communication system, in order to optimize decision-making in critical situations and communication between leaders and subordinates in an industrial environment. In this sense, the application design was proposed by a *Low-Code* programming for application in a forest products industry that is already available for operation. In this sense, the project met expectations and provided such data integration, which reduced the time previously used for manual transcription of information and optimized the process as a whole.

Keywords: Thermography, Reliability, Industry 4.0, Connectivity, Temperature, Electrical Panels.

Agradecimentos

A Deus, pela saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Jorge e Maria Eunice, por todos os momentos de apoio incondicional, de carinho e de incentivo aos estudos que serviram como alicerce fundamental para as minhas realizações, e por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu período escolar.

Agradeço às minhas irmãs, Maria Luiza e Ane Emanuelle, pela amizade e compreensão da minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste curso.

Agradeço à minha avó, Maria Duarte de Sá(*in memoriam*), por sempre ter me guiado pelo caminho da bondade, da ciência e da educação, e ao meu avô Valdemar Zacarias por todo carinho e inspiração. Dedico esse trabalho a vocês, minha família, que são a minha base.

Agradeço meu namorado, Ícaro Augusto, que sempre esteve ao meu lado durante o percurso acadêmico, me incentivando, me apoiando e me acompanhando em vários momentos e desafios do nosso curso e da nossa vida.

Agradeço aos meus amigos de Ipatinga, de Viçosa e de Muriaé que, sempre que estivemos juntos, ofereceram inúmeros conselhos e momentos inesquecíveis durante a minha graduação.

Um agradecimento ao meu professor orientador Alexandre pelas valiosas contribuições dadas durante o processo, e ao colega Paulo Viana pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica e à todos os mestres que contribuíram com a minha formação acadêmica e profissional durante a vida.

Obrigada!

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher. ”

Cora Coralina

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	10
1.1 Proposta	11
1.2 Motivação	11
1.3 Objetivos	12
2 Revisão Bibliográfica	13
2.1 Fundamentos da Manutenção Industrial	13
2.1.1 Gerações da Manutenção	13
2.1.2 Tipos de Manutenção	15
2.1.3 Engenharia de Manutenção	19
2.1.4 Defeitos, Anomalias e Falhas	20
2.2 Termografia na Indústria	21
2.2.1 Técnicas preditivas de temperatura	21
2.2.2 Aplicações da termografia na indústria	21
2.2.3 MTA - Máxima temperatura admissível	22
2.2.4 Critério NETA	24
2.2.5 Termografia em painéis elétricos	25
2.2.6 Termograma	26
2.3 Desenvolvimento de aplicações - <i>Low-Code</i>	26
3 Metodologia	29
3.1 Fluxograma de processo	31
4 Apresentação da Proposta	37
4.1 Informações de Localização	37
4.2 Menu Inicial	38
4.3 Menu Novo Registro de Inspeção	39
4.4 Menu Novo Formulário	40
4.5 Menu Editar Registro	42
4.6 Menu Visualização de Registros	43
4.7 Menu Edição de Formulário	43
5 Considerações Finais	47
5.1 Limitações e Aprimoramentos	48
Bibliografia	49

Lista de Figuras

2.1	Manutenção corretiva não planejada	16
2.2	Resultados por tipo de manutenção aplicada	20
2.3	Termograma oriundo de termografia em disjuntor trifásico	27
2.4	Ambiente de desenvolvimento no PowerApps	28
3.1	Celular Caterpillar modelo CAT s60	29
3.2	Câmera Termográfica FLIR T420	30
3.3	Banco de dados do Sharepoint	31
3.4	Fluxograma de trabalho	34
3.5	Setup do trabalho	35
3.6	Funcionamento do fluxo de e-mails	36
4.1	Exemplo de QR Code utilizado	37
4.2	QR Codes instalados na sala elétrica piloto	38
4.3	Menu Inicial Termo Visão	39
4.4	Menu Novo Registro de Inspeção	40
4.5	Tela do formulário de inspeção - Parte 1	42
4.6	Tela do formulário de inspeção - Parte 2	43
4.7	Tela do Menu de Visualização e Edição de Inspeções Preditias	44
4.8	Tela da lista de visualização e Inspeções Preditivas já realizadas - Parte 1 .	45
4.9	Tela da lista de visualização e Inspeções Preditivas já realizadas - Parte 2 .	45
4.10	Tela de edição do formulário - Parte 1	46
4.11	Tela de edição do formulário - Parte 2	46

Lista de Tabelas

2.1	Critério MTA - Máxima Temperatura Admissível	23
2.2	Critérios para definição de alarme em conexões de comando	23
2.3	Critérios para definição de alarme em conexões de potência	23
2.4	Critérios para definição de alarme em componentes internos	24
2.5	Matriz de Priorização	24
2.6	Critério delta T para equipamentos elétricos	25

Lista de Abreviações

RCM	Reliability Centered Maintenance
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MTA	Máxima Temperatura Admissível
NETA	National Electrical Testing Association

1 Introdução

Nos últimos anos, uma das áreas que mais evoluíram no âmbito de gestão é a manutenção. Todas as mudanças decorrentes desse processo se devem a um constante aumento do número de diferentes tipos de ativos, como máquinas, equipamentos elétricos e mecânicos diversificados, plantas e empreendimentos no mundo inteiro, além da constante evolução e modernização de técnicas e equipamentos industriais. (MOUBRAY, 2001)

A gestão da manutenção, hodiernamente, busca focar não só no ativo em si, como também nos diversos aspectos que uma falha ou anomalia pode desencadear. Como exemplo, pode-se citar os riscos de segurança no ambiente de trabalho e ao meio-ambiente, além do notável vínculo existente entre a manutenção e a qualidade de produção. (MOUBRAY, 2001)

Nesse sentido, a manutenção, vista como ferramenta estratégica, relaciona-se diretamente com a disponibilidade e confiabilidade dos ativos fixos e com a qualidade dos produtos, e se mostra como um fator intrínseco ao retorno financeiro de uma empresa (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009). Dessa forma, faz-se necessário expandir o conceito de manutenção em suas categorias, como a corretiva e preventiva, para que seu entendimento se torne tangível de aplicação para otimização dos processos.

Existem algumas divergências no que se refere às classificações da manutenção. Entretanto, nesse trabalho, serão consideradas seis subdivisões da manutenção: Corretivas Não Planejadas, Corretivas Planejadas, Preventivas, Preditivas, Detectivas e, por fim, a prática da Engenharia de Manutenção, responsável pelo suporte técnico dedicado à consolidação das rotinas e implantação de melhorias. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Outrossim, vistas também como expoentes de uma rápida evolução e automação inteligente de empresas, as práticas e preceitos da chamada Indústria 4.0 também contribuem de forma significativa no avanço de ferramentas de análise e gestão da manutenção. A indústria 4.0, nesse sentido, busca o desenvolvimento de fábricas inteligentes, autônomas e flexíveis, por meio de tecnologias digitais em suas cadeias de valor. Além disso, ela almeja benefícios além da performance operacional, ao desenvolver novos modelos de negócio mais

robustos. Com isso, os nove princípios tecnológicos, como a Análise de Dados, Robótica, Simulação, Integração de Sistemas, Internet das Coisas (IoT), CiberSegurança, Cloud Computing, Manufatura Aditiva e Realidade Aumentada são fatores cruciais para não só entender, como aplicar esses avanços em uma empresa (DALENOGARE, 2018).

Assim, este trabalho terá foco na Manutenção Preditiva no que tange à prática de inspeções termográficas em equipamentos elétricos, ou seja, uma prática não destrutiva com o objetivo de coletar informações de padrões de emissão de radiação infravermelha dos ativos. Com isso, é possível entender as condições de operação de um equipamento ou de seus componentes, bem como avaliar o processo como um todo e realizar intervenções de forma a impedir a evolução de uma anomalia elétrica, por exemplo, com o incremento de conceitos da Indústria 4.0 de forma a valorizar essas rotinas essenciais para a confiabilidade e disponibilidade de uma planta.

1.1 Proposta

Este trabalho busca desenvolver o aplicativo Termo Visão no intuito de evidenciar a importância de manutenções preditivas, em especial a inspeção termográfica, em equipamentos elétricos, no que se refere à manutenibilidade de uma planta industrial. Para tal, o aplicativo será conectado a um banco de dados, e, a partir de relatórios de inspeção, uma visualização de variáveis que permitem uma análise ampla da situação encontrada em um determinado período será proporcionada.

1.2 Motivação

Apesar de ser uma tecnologia relativamente nova, os custos relacionados à Termografia estão em decréscimo, em comparação com os demais valores referentes a manutenção de equipamentos elétricos. Logo, isso configura um fator positivo para que sua implantação se torne cada vez mais consolidada no ambiente industrial.

Além disso, com o avanço da tecnologia, o tamanho de câmeras termográficas tem se tornado cada vez menor, podendo até mesmo ser incorporado em dispositivos móveis, como aparelhos celulares. A sua vantagem principal, como aparelho de inspeção, é a

possibilidade de coletar informações com o sistema elétrico energizado e a identificação de defeitos ainda incipientes.

Por fim, a possibilidade de integração de uma inspeção preditiva à sistemas conectados à rede que forneçam relatórios de situações críticas em tempo real, ou até mesmo que funcionem de modo *off-line*, configura-se como uma oportunidade. Dessa forma, processos e rotinas referentes a manutenção como um todo poderão ser otimizados por meio de uma melhor comunicação entre líderes e liderados, além de um notável aumento de velocidade em tomadas de decisões nesses tipos de situações.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolver um aplicativo responsável por receber dados referentes à inspeções preditivas termográficas em painéis elétricos em uma fábrica de papel e celulose, além de integração a um banco de dados e automação no envio de e-mails relacionados à cada inspeção ao responsável de interesse.

Os objetivos específicos para essa proposta são:

- (a) Desenvolver um aplicativo por meio da interface *PowerApps* que receberá formulários referentes à inspeções termográficas;
- (b) Conectar o aplicativo a um banco de dados *on-line* no *Sharepoint*;
- (c) Automatizar a emissão de relatórios via e-mail para cada inspeção por meio do *PowerAutomate*.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Fundamentos da Manutenção Industrial

Esta seção apresenta os conceitos referentes à Confiabilidade da Manutenção de forma mais detalhada, de forma a viabilizar o entendimento geral do trabalho.

2.1.1 Gerações da Manutenção

Segundo Kardec & Nascif (2001), a evolução da Manutenção Industrial pode ser entendida por meio de uma análise detalhada de suas quatro gerações. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Primeira Geração

O período da Primeira Geração da Manutenção se configura como anterior à Segunda Guerra Mundial, em que a Indústria era pouco mecanizada e os equipamentos eram comumente superdimensionados. (KARDEC; NASCIF, 2001)

A Manutenção era, principalmente, Corretiva Não-Programada, ou seja, intervenções só eram realizadas em caso de quebra de equipamentos, não existindo espaço para atividades programadas e/ou preventivas. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Segunda Geração

A Segunda Geração ocorreu, por sua vez, entre os anos 1950 e 1970. Nesse período, com o aumento da demanda desencadeado pela Segunda Guerra Mundial, também aumentou-se a mecanização das indústrias, a fim de gerar maior produtividade, mesmo com a queda da oferta de mão de obra. (MOUBRAY, 2001)

Dessa forma, a indústria estava bastante dependente de uma produção estável e confiável, de forma a garantir o suprimentos dos diversos bens de consumo demandados. Assim, o conceito de Manutenção Preventiva surgiu como uma forma de aumentar a

confiabilidade dos equipamentos, e era realizado de forma fixa em um determinado período de tempo.

Contudo, a prática de manutenções periódicas aumentou, assim, o custo envolvido da manutenção. Isso ocorreu haja vista que trocas de peças ou de equipamentos eram feitas mesmo em situações nos quais eles poderiam, eventualmente, durar mais tempo em campo. Com isso, foi gerada uma preocupação e, assim, uma busca pelo desenvolvimento de técnicas de planejamento, controle de manutenção, além de uma busca para uma vida útil expandida foram estabelecidas. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Terceira Geração

A partir de 1970, a preocupação se tornava nas paradas de produção, que afetavam diretamente a produção e a qualidade dos produtos. Nesse período, com o aumento da mecanização e da automação, questões como a confiabilidade e a disponibilidade se tornaram centrais na garantia de um bom funcionamento fabril. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Entretanto, uma maior automação também faz com que a frequência de falhas aumente consideravelmente, já que os equipamentos se tornam cada vez mais complexos. Nesse sentido, as consequências relacionadas à segurança e ao meio-ambiente se tornaram cada vez mais graves. Assim, exigências foram estabelecidas de forma a impedir o funcionamento de fábricas que não as cumprissem.

Dessarte, na terceira geração, foram reforçados conceitos referentes à manutenção preditiva, bem como foram desenvolvidos *softwares* para planejamento e controle da manutenção. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Por fim, conceitos como Manutenção Centrada em Confiabilidade, ou *Reliability Centered Maintenance*, (RCM), foram apresentados, no Brasil, na década de 1990. Contudo, apesar de todo avanço na Engenharia nesse período, a falta de integração entre diferentes áreas, como a engenharia, a manutenção e a operação, impedia que avanços significativos fossem feitos. Como consequência, a indústria se estagnou com altos índices de falhas prematuras. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Quarta Geração

Na Quarta Geração, hodiernamente, ainda se pode observar alguns aspectos que perduraram da terceira geração, como a busca pela disponibilidade, senão a mais, uma das mais importantes no ambiente industrial e no desafio de diminuição de falhas prematuras. (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2011)

Práticas difundidas nesse período são a adoção de técnicas de Análise de Falhas, Manutenção Preditiva e Monitoramento de Condição, os quais são alguns dos pilares da Manutenção de Classe Mundial (MCM), utilizados como estratégias para melhoria de performance em uma empresa.

Nesse período, há uma expressiva valorização do auto funcionamento de uma planta industrial, que pode ser obtido por meio de uma integração efetiva entre os equipamentos físicos e a inteligência por trás da programação de softwares de tomada de decisão, por exemplo. Assim, uma mínima intervenção é almejada, de forma que o funcionamento esteja baseado cada vez mais na Manutenção Preditiva e no Monitoramento de Condição e cada vez menos na Manutenção Preventiva e/ou Programa, uma vez que elas demandam uma paralisação de máquina, na maioria das vezes, diminuindo a produção e, conseqüentemente, o lucro gerado. Tais ações são traduzidas em indicadores negativos para a Manutenção. (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2011)

2.1.2 Tipos de Manutenção

Manutenção Corretiva Não Planejada

Na Manutenção Corretiva Não Planejada, frequentemente há o acontecimento de falhas chamadas “Aleatórias”. Nesse tipo de situação, não esperada, a manutenção atua em um evento já ocorrido — caso de falha ou parada de máquina —, o que gera, em um grande número de casos, altos custos, haja vista que uma quebra não esperada prejudica não só a produção, bem como a manutenção e a qualidade dos produtos, uma vez que poderá afetá-los em instantes anteriores ou posteriores à falha. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Em plantas industriais de setores que possuem, em seu processo, altas pressões, temperaturas e/ou vazões de operação, como o setor de celulose e petroquímico, por

exemplo, a quantidade de energia despendida é grande, o que faz com que uma quebra possa gerar consequências graves. Nesse sentido, a Figura 2.1 ilustra a performance ao longo do tempo em determinados equipamentos dependentes de uma manutenção corretiva não esperada, nos quais o patamar de estabilidade pode ser grande, seguidos de uma queda gradual ou até mesmo abrupta em seu desempenho, o que poderá desencadear diversos problemas na operação industrial.

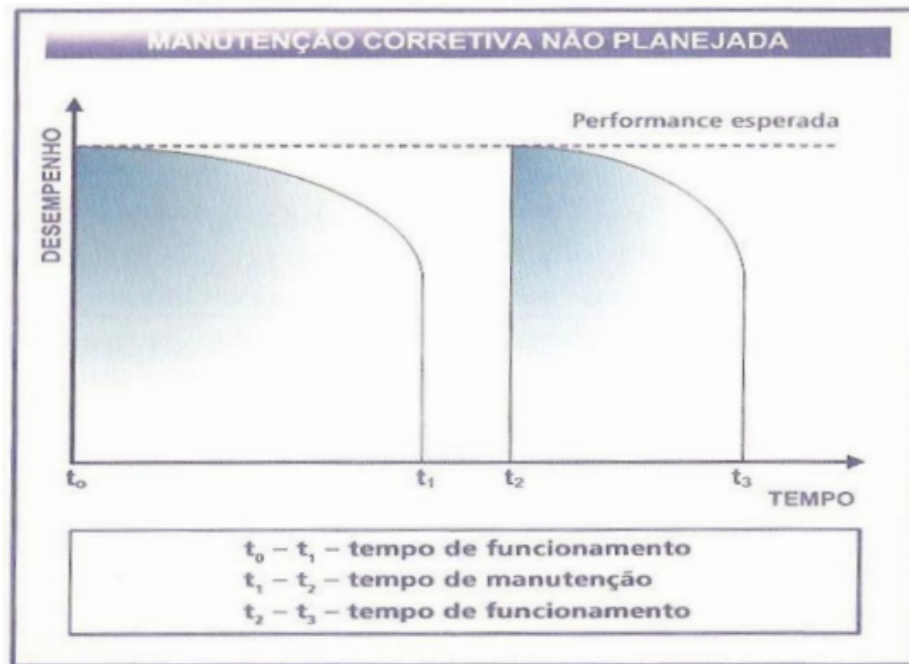


Figura 2.1: Manutenção corretiva não planejada (KARDEC; NASCIF, 2003)

Manutenção Corretiva Planejada

Na Manutenção Corretiva Planejada, realiza-se a manutenção em função das decisões gerenciais prévias, bem como em decorrência do desempenho relativamente abaixo do esperado ou das inspeções preditivas. Dessa forma, um trabalho envolvendo uma manutenção planejada será sempre mais rápido e mais barato do que um não-planejada (KARDEC; NASCIF, 2001). Isso acontece pois, ao atuar-se em um equipamento de forma planejada, evita-se que o mesmo quebre e desencadeie uma série de problemas e situações, que também deverão ser reparados.

Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva, por sua vez, adota uma política de intervenção no equipamento em um intervalo de tempo predefinido, baseado em um plano de manutenção personalizado para cada equipamento ou família de equipamentos.

Assim, o principal objetivo da Manutenção Preventiva é evitar a falha, ao contrário da Corretiva, que é atuar apenas após a sua ocorrência. Contudo, existem aspectos negativos relacionados à tal prática, uma vez que intervenções em equipamentos podem ocasionar em falhas ou defeitos não existentes previamente, como defeitos devido à falha humana, falha de sobressalentes, danos gerados em partidas e paradas, contaminações passíveis de serem introduzidas em sistemas de lubrificação e/ou uma possível falha no cumprimento do procedimento (KARDEC; NASCIF, 2001).

Manutenção Preditiva

A Manutenção Preditiva se dá pela atuação no monitoramento de características e parâmetros em um equipamento em operação, rastreadas por meio de um aparelho de inspeção e de técnicas preditivas, como a termografia, técnicas de detecção de vibração e análise de óleos em transformadores. Uma de suas vantagens é, portanto, a não-necessidade de parada de máquina para manter um equipamento em toda inspeção, e ela somente ocorrerá quando o equipamento atingir um limite previamente estipulado.

Assim, o objetivo desse tipo de manutenção, ao intervir o mínimo na planta, é de prevenir falhas em equipamentos ou sistemas de forma otimizada. Nesse sentido, ao se prever as condições dos ativos, busca-se uma operação pelo maior tempo possível. Portanto, apenas quando for necessário, a Manutenção Corretiva Planejada será realizada, o que irá influenciar positivamente na redução drástica de falhas catastróficas (KARDEC; NASCIF, 2001).

Dessa maneira, a Manutenção Preditiva possui oito metas, conforme listado abaixo: (TAKAHASHI, 1993)

- (a) Determinar o melhor período para intervenção;
- (b) Reduzir o volume de trabalho da manutenção preventiva;
- (c) Evitar problemas repentinos e reduzir o volume de trabalho da manutenção

corretiva não planejada;

- (d) Aumento de vida útil de máquinas e de equipamentos;
- (e) Aperfeiçoar a taxa de operação eficaz do sistema;
- (f) Reduzir os custos intrínsecos à manutenção;
- (g) Melhorar a qualidade de produção;
- (h) Aperfeiçoar o nível de precisão da manutenção.

Entretanto, para que isso seja possível, algumas condições devem ser satisfeitas, já que o sistema ou a instalação devem permitir algum tipo de monitoramento, e esse monitoramento deve valer a pena do ponto de vista financeiro. Além disso, para que uma manutenção preditiva se justifique, as falhas evitadas devem ser provenientes de causas cujas progressões possam ser acompanhadas. Por fim, aspectos relevantes devem ser analisados no que tange à segurança pessoal e operacional relacionados à essa prática.

Nesse viés, a instalação de equipamentos de monitoramento contínuo *on-line* apresentam uma série de benefícios, já que não é necessário a visita *in loco* do mantenedor para a realização da inspeção, já aumentando a segurança inerente ao procedimento. Ainda, um monitoramento contínuo faz com que sejam percebidas alterações momentâneas que não poderiam ser detectadas pelo método tradicional, o que enriquece o histórico de manutenção e auxilia a Engenharia de Confiabilidade no rastreamento de modos de falha.

Manutenção Detectiva

Inicialmente mencionada na literatura nos anos 90, a Manutenção Detectiva consiste na atuação em sistemas de controle, comando e proteção, na busca de detecção de falhas ocultas, não perceptíveis à manutenção e/ou operação, e é fundamental para a confiabilidade. (KARDEC; NASCIF, 2001)

Assim, as tarefas realizadas para verificação de funcionamento de um sistema de proteção, por exemplo, consistem em práticas detectivas. Nesse sentido, os sistemas coletores de dados como os Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD's), asseguram os sistemas de *shutdown* ou de *trip*, responsáveis por encerrar o sistema de funcionamento da produção como uma forma de proteção, o que garante a segurança não só do processo, bem como dos equipamentos, da operação e do meio ambiente, quando as condições saem

da faixa de operação segura estabelecida. (JARDIM, 1993)

Entretanto, em uma situação ideal almeja-se a não necessidade de uso de um sistema de *trip*, já que o mesmo é a última barreira entre a integridade e a falha. Além disso, os próprios componentes desse sistema podem apresentar falha, ao não atuarem ou atuarem de forma indevida (KARDEC; NASCIF, 2001). No primeiro caso, tem-se um potencial de situação catastrófica e, no segundo, perdas de produção não esperadas.

2.1.3 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção é o suporte técnico da manutenção no que se refere à garantia de cumprimento de rotinas e implantação de melhorias. Sua prática é, por si só, uma mudança não só técnica como cultural. Na Engenharia de Manutenção, busca-se sempre a coleta de informações e sua transformação em dados (KARDEC; NASCIF, 2001). Contudo, os dados podem ajudar a melhorar um processo, mas para que a excelência seja sempre perseguida, faz-se necessária uma comparação dos dados com setores internos diferentes, ou até mesmo entre plantas industriais distintas, o que é conhecido, respectivamente, como *benchmarking* interno e externo.

Nesse sentido, as principais atribuições da Engenharia de Manutenção, de acordo com Kardec e Nascif (2001), são:

- (a) Aumento da Confiabilidade;
- (b) Aumento da Disponibilidade;
- (c) Melhoria da Manutenibilidade;
- (d) Aumento da Segurança;
- (e) Eliminação de problemas crônicos;
- (f) Solução de problemas de tecnologia;
- (g) Melhoria da capacitação dos colaboradores;
- (h) Gestão de materiais e de sobressalentes;
- (i) Interface com a Engenharia para gestão e implantação de novos projetos;
- (j) Suporte a execução;
- (k) Realização de Análise de Falhas;
- (l) Elaboração e revisão de Planos de Manutenção;

- (m) Acompanhamento de Indicadores;
- (n) Gestão e zelo de documentação técnica e de procedimentos.

Dessarte, de acordo com a Figura 2.2, é possível visualizar o impacto que os diferentes tipos de manutenção possuem no aumento dos resultados de produção e na diminuição de custos em uma empresa.

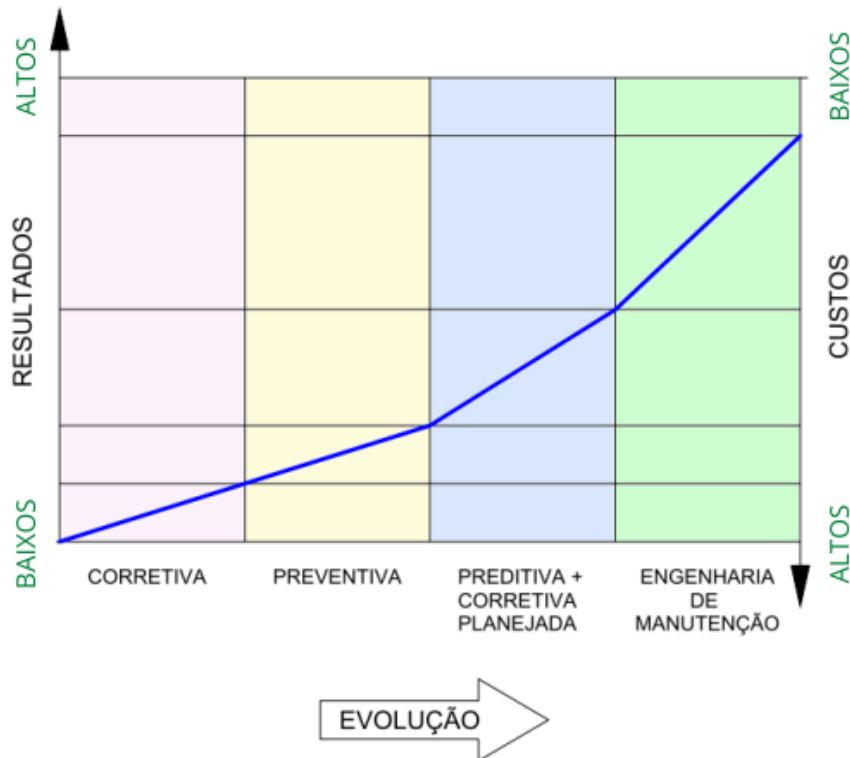


Figura 2.2: Resultados por tipo de manutenção aplicada
 Adaptado de: (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2013)
 Fonte: (NAGAI; BATISTA; DAGNONI, 2015)

2.1.4 Defeitos, Anomalias e Falhas

Uma anomalia acontece quando há qualquer tipo de desvio em um ativo. A partir disso, um defeito pode ser caracterizado quando há qualquer desvio de um sistema ou componente no que se refere à execução de suas funções originais. Dessa forma, o equipamento ainda consegue realizar sua atividade de forma geral, entretanto existe um aspecto a se levar em consideração, que faz com que a atuação não seja assertiva, que pode evoluir para uma futura falha.

Segundo a NASA (2000), uma falha ocorre quando há a cessação da realização

de atividades ou do bom desempenho de um sistema ou de componentes de um sistema. Assim, é papel da manutenção promover um sistema eficaz de funcionamento buscando, quando possível, atingi-lo com um baixo custo. Entretanto, nem todos os modos de falha podem, ou devem, ser evitados por meio de uma manutenção preventiva, uma vez que sua probabilidade de ocorrência pode ser remota, de efeito irrelevante, ou até mesmo que seu custo de substituição não compense em termos de custos do processo. (MAINTENANCE, 2008)

2.2 Termografia na Indústria

A medição de temperatura é, atualmente, uma das técnicas mais importantes na averiguação da situação de um ativo industrial. Isso acontece devido à relativa facilidade de compreensão que o seu resultado gera referente ao monitoramento de condição de equipamentos, componentes e/ou processos.

Quando detectada fora de sua faixa normal, frequentemente indica uma sobrecarga, que pode ser tanto mecânica, como em equipamentos rotativos ou mancais, quanto elétrica, em barramentos ou painéis, por exemplo.

2.2.1 Técnicas preditivas de temperatura

São diferentes os métodos que podem ser utilizados na medição de temperatura de um equipamento. Dentre eles, podem ser destacados os termômetros de contato, fitas indicadoras de temperatura, flexíveis e autoadesivas, tintas termosensíveis, medição de temperatura por radiação, por sistemas infravermelhos e, por fim, a técnica que será tratada nesse trabalho: a termografia. Essa técnica é realizada por meio de termovisores compostos por uma câmera e uma unidade de vídeo, que permite a formação de imagens térmicas para fins de análise, conhecidos como termogramas. (KARDEC; NASCIF, 2001)

2.2.2 Aplicações da termografia na indústria

Devido ao seu alto potencial de identificação de falhas, anomalias e defeitos, a termografia possui diversas aplicações em um ambiente industrial. Dessa forma, além

da utilização em usinas siderúrgicas (verificação de revestimento de altos-fornos, dutos de gás, entre outros), em usinas petroquímicas (análise de vazamentos em válvulas de segurança, caldeiras e unidades de craqueamento etc), por exemplo, esse tipo de técnica preditiva pode ser expandido à praticamente todo ambiente industrial que depende da eletricidade para seu funcionamento (KARDEC; NASCIF, 2001). Assim, a termografia é utilizada de forma extensa na parte elétrica de um sistema, pois a temperatura é a principal variável passível de medição em um equipamento/componente elétrico, já que o primeiro sinal de sobrecarga em um circuito, frequentemente, se mostra na forma de aquecimento da instalação. Além disso, problemas relacionados à mau contato, incluindo painéis, barramentos e dispositivos eletroeletrônicos também são detectados utilizando-se essa tecnologia.

2.2.3 MTA - Máxima temperatura admissível

O objetivo da termografia consiste em, a partir do termograma, identificar anomalias relacionadas à pontos quentes de forma que, por meio de uma manutenção baseada nos dados medidos e imagens termográficas geradas, seja possível evitar defeitos ou falhas nos equipamentos. Nesse sentido, será de responsabilidade do termografista o reconhecimento e identificação da temperatura máxima que um determinado equipamento, componente ou barramento, pode trabalhar de forma que nenhuma anomalia seja causada à si mesmo ou ao sistema no qual está inserido (KERSUL, 2014). Assim, o MTA se configura como a máxima temperatura admissível de trabalho para um componente. Dessa forma, de acordo com a norma a NBR 15572:2013, o usuário final pode utilizar de critérios próprios para definição da criticidade referente à anomalia térmica encontrada, ou, caso necessário, utilizar os critérios do fabricante. Os valores máximos de referência para esse trabalho podem ser observadas na Tabela 2.1, cujos valores de referência foram utilizados de acordo com as diretrizes da empresa na qual este trabalho foi realizado.

Além disso, faz-se necessário definir critérios e faixas de gravidade para problemas identificados por meio da Termografia. Nesse trabalho, serão utilizadas as classificações de temperatura “Normal”, “Alarme A”, “Alarme P1” e “Alarme P2” de acordo com a criticidade encontrada, do menos crítico para o mais crítico. Cada tipo de componente

Tabela 2.1: Critério MTA - Máxima Temperatura Admissível

Classificação	MTA (°C)
Conexão de comando	70°
Conexão de potência	90°
Componente interno	90°

Tabela 2.2: Critérios para definição de alarme em conexões de comando

Classificação	Temp. (°C)	Probab. de Falha	Consequências
Normal	$\leq 40,0$ °C	Baixa	Baixa
Alarme A	40,1 °C a 55,0 °C	Média	Média
Alarme P2	55,1 °C a 75,0 °C	Média	Alta
Alarme P1	$\geq 75,1$ °C	Alta	Alta

englobado neste trabalho, como conexões de comando, conexões de potência e componentes internos de um painel, possuirá uma faixa de classificação relacionado à temperatura, probabilidade de falha e consequências, conforme mostram as Tabelas 2.2, 2.3 e 2.4, respectivamente, cujos valores de referência foram utilizados de acordo com as diretrizes da empresa na qual este trabalho foi realizado.

Com os valores da temperatura em cada componente em mãos, é necessário realizar a priorização das atividades. Assim, é possível concluir a tomada de decisão no que se refere à programação de manutenção de acordo com a Tabela 2.5, segundo (CENTER, 2018). Assim, a tomada de decisão poderá ser feita de acordo com a probabilidade de falha e das consequências geradas, o que poderá fazer com a que o reparo siga seu fluxo normal, tenha sua programação acelerada, aconteça na próxima parada do equipamento, ou até mesmo o mais rápido possível (*ASAP - As soon as possible*) e tenha o equipamento removido de serviço.

Tabela 2.3: Critérios para definição de alarme em conexões de potência

Classificação	Temp. (°C)	Probab. de Falha	Consequências
Normal	$\leq 50,0$ °C	Baixa	Baixa
Alarme A	50,1 °C a 70,0 °C	Média	Média
Alarme P2	70,1 °C a 100,0 °C	Média	Alta
Alarme P1	$\geq 100,1$ °C	Alta	Alta

Tabela 2.4: Critérios para definição de alarme em componentes internos

Classificação	Temp. (°C)	Probab. de Falha	Consequências
Normal	$\leq 60,0$ °C	Baixa	Baixa
Alarme A	60,1 °C a 75,0 °C	Média	Média
Alarme P2	75,1 °C a 100,0 °C	Média	Alta
Alarme P1	$\geq 100,1$ °C	Alta	Alta

Tabela 2.5: Matriz de Priorização

		Probabilidade de Falha		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
Consequências	BAIXA	Reparo normal	Programação acelerada para reparo	Reparar na próxima parada do equipamento
	MÉDIA	Programação acelerada para reparo	Reparar na próxima parada do equipamento	Reparar ASAP
	ALTA	Reparar na próxima parada do equipamento	Reparar ASAP	Remover de serviço ASAP

Fonte: (CENTER, 2018)

2.2.4 Critério NETA

Uma outra forma de se considerar e avaliar os impactos da alta temperatura em componentes elétricos é por meio da utilização do critério NETA, ou, ainda, critério delta T. Segundo a *National Electrical Testing Association* (NETA), associação relacionada com a melhoria de padrões e testes elétricos, pode-se observar, na Tabela 2.6, colunas referentes às faixas de diferenças de temperatura entre elementos similares sob mesmo regime de carga, entre o elemento e a temperatura ambiente, em alta ou em baixa tensão, e a sua relação com a prioridade da manutenção estabelecida. (INFRASPECTION INSTITUTE, 2008).

Nesse trabalho, portanto, serão consideradas as informações definidas na primeira coluna da tabela, no que se refere à diferença de temperatura entre elementos similares, como, por exemplo, fases pares em dispositivos trifásicos de proteção. Assim, serão priorizadas situações nas quais tal diferença ultrapasse 15 °C.

Tabela 2.6: Critério delta T para equipamentos elétricos

Prioridade	Delta T - Elementos Similares Sob Mesmo Regime de Carga (°C)	Delta T - Elemento e Temperatura Ambiente – AT (°C)	Delta T - Elemento e Temperatura Ambiente – BT (°C)
4	1 a 3	1 a 10	1 a 10
3	4 a 15	11 a 20	11 a 20
2	-	21 a 40	21 a 30
1	> 15	> 40	> 30

Fonte: adaptado de *Standart for Infrared Inspection of Eletrical Systems & Rotating Equipament* (SILVA, 2020)

2.2.5 Termografia em painéis elétricos

A termografia em painéis e em instalações elétricas é a principal maneira de se identificar variações na estabilidade do sistema, já que a temperatura se configura como um dos mais importantes indicadores de problemas causados pelas relações corrente/resistência. Desse modo, o Efeito Joule, responsável por tais situações, se configura como a dissipação da energia elétrica em forma de energia térmica em condutores nos quais são estabelecidas correntes (PASSOS, 2009).

Esses problemas são, frequentemente, causados por conexões frouxas, corroídas, oxidadas, bem como por falhas do próprio componente (LOUVAIN, 2008). Ainda, como fatores agravantes ou causadores de problemas, falhas na etapa de projeto no que se refere à subdimensionamento da instalação, falhas na montagem e até mesmo o excesso ou falta de manutenção preventiva podem ser responsáveis pelo aparecimento de sobreaquecimento (LOUVAIN, 2008). Consequentemente, ao se aumentar a demanda e com a passagem do tempo, as perdas de potência devido ao Efeito Joule aumentam, o que também aumentará, assim, a deterioração dos equipamentos e o consumo de energia elétrica.

Nesse sentido, a definição e classificação das pessoas envolvidas no processo de termografia, um ensaio não destrutivo, pode ser feita de acordo com a norma ABNT NBR 15572, de 2013, (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Assim:

Inspetor Termografista: Será a pessoa responsável pela realização da inspeção e que possui conhecimento técnico relacionado aos instrumentos utilizados e equipamentos inspecionados. O inspetor deverá ser capaz de interpretar os resultados, conhecer

o funcionamento do termovisor e aplicar os conceitos de proteção em eletricidade (NR-10) em seu trabalho. (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Assistente qualificado: O assistente qualificado acompanhará o inspetor termografista e deverá conhecer a operação do equipamento a ser inspecionado, além de requisitos de segurança da NR-10. (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Usuário final: Será a pessoa que assumirá responsabilidade pelas consequências da tomada - ou não - de decisões no que se refere aos resultados coletados pelo inspetor. Essa pessoa também irá disponibilizar um assistente qualificado que conheça o histórico de equipamentos inspecionados e que conheça a operação. (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

2.2.6 Termograma

O termograma é, por definição, a expressão de um gradiente térmico em um padrão de cores definidos. Dessa forma, por meio da decomposição cromática das faixas de temperaturas provenientes da radiação do objeto analisado, será possível a visualização de uma imagem térmica (RIBEIRO ALYSON BEZERRA NOGUEIRA ET. AL,). Essa imagem será, portanto, o produto final da utilização da técnica de termografia em instalações elétricas. Assim, será a partir da sua interpretação que as devidas ações devem ser tomadas em momentos críticos.

Nesse sentido, pode ser observado, na Figura 2.3, um termograma resultante de uma termografia realizada em um painel elétrico contendo um disjuntor trifásico. Por meio dela, visualiza-se pontos quentes na saída desse componente, que podem ser oriundos de mau contato existente nessas conexões, havendo necessidade de uma intervenção.

2.3 Desenvolvimento de aplicações - *Low-Code*

O desenvolvimento de aplicações *Low-Code* se dá pela facilidade com que um sistema pode ser construído utilizando-se geralmente poucas linhas de código. Nesse sentido,

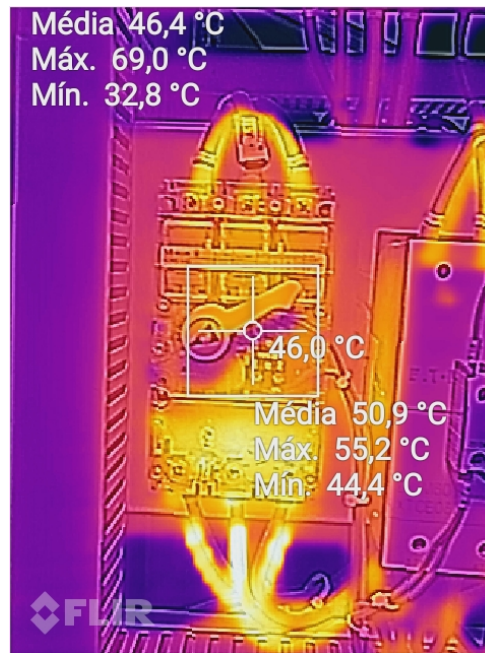


Figura 2.3: Termograma oriundo de termografia em disjuntor trifásico

é um processo que busca principalmente facilitar o desenvolvimento de *softwares* para quem possui pouca ou nenhuma experiência. Nesse contexto, foi a partir de 2014, que o termo *Low-Code* ganhou espaço, haja vista que foi utilizado para descrever o desenvolvimento de aplicações que não exigiam um conhecimento profundo de linguagens de programação utilizadas para esse fim (IT, 2020).

Assim, processos como criação de estruturas e vinculação de diferentes bancos de dados se tornaram muito mais facilitados nesse tipo de desenvolvimento. Isso se deve a algumas características intrínsecas a esse modelo de programação, como a existência de interfaces de arrastar e soltar. Isso tornou a criação de botões, por exemplo, muito mais simplificada, assim como a capacidade de modelagem visual, ou seja, a possibilidade de representação visual do sistema criado de forma contínua.

Além disso, a crescente utilização de fatores como a segurança e a escalabilidade são imprescindíveis em um ambiente cada vez mais competitivo, fato que é apoiado pela crescente criação de ferramentas corporativas e seguras por meio do *Low-Code*. Ainda, fatores como economia de tempo, flexibilidade para atendimento de demandas internas e agilização de processos empresariais/industriais, também se configuram como umas das maiores atratividades de desenvolvimento (IT, 2020).

Dessa forma, na Figura 2.4 pode ser observado o ambiente de desenvolvimento do

aplicativo. A forma de programação, ou a rotina desenvolvida, se dá por meio de cada bloco, ou botão, e na definição de suas ações e lógicas internas.

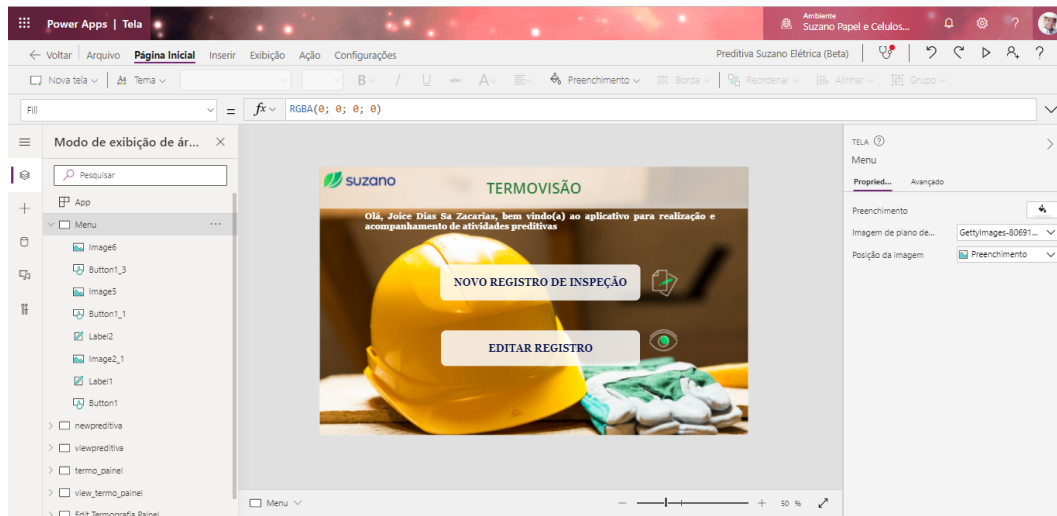


Figura 2.4: Ambiente de desenvolvimento no PowerApps

3 Metodologia

Nesta parte do projeto serão abordados os aspectos utilizados para a concretização deste trabalho. Nesse sentido, foram utilizadas técnicas referentes ao desenvolvimento de aplicativos pelo método *Low-Code*, no qual as inspeções preditivas termográficas possam ser registradas e fiquem disponíveis para consulta de histórico e edição no próprio aplicativo. O projeto visa fornecer os instrumentos para aplicação, de forma inicial, na área elétrica industrial, especificamente em painéis elétricos, podendo, no futuro, ser expandido para outras áreas da elétrica e mecânica industrial, como rolamentos e mancais, por exemplo.

Dessa forma, o trabalho consiste no projeto final de estágio na área de Confiabilidade da Manutenção, no qual foram fornecidos as licenças empresariais do PowerApps e PowerAutomate, que são ferramentas da Microsoft para facilitar a automação de forma acessível e simplificada. Além disso, as ferramentas de captura e análise de imagens termográficas também foram disponibilizadas pela câmera FLIR T420 e pelo celular Caterpillar s60, conforme Figuras 3.1 e 3.2.



Figura 3.1: Celular Caterpillar modelo CAT s60

Na etapa de coleta e edição da imagem termográfica para envio junto ao formulário



Figura 3.2: Câmera Termográfica FLIR T420

de inspeção, alguns parâmetros podem ser definidos de forma que a imagem possua um melhor foco nos pontos quentes. Assim, o usuário terá a sua disposição fatores de ajuste como o limite da imagem, criação e delimitação de áreas de interesse, de forma que seja possível a visualização dos pontos de maior e menor temperatura, a média das temperaturas e a diferença média da área selecionada em relação à uma outra área de forma mais intuitiva.

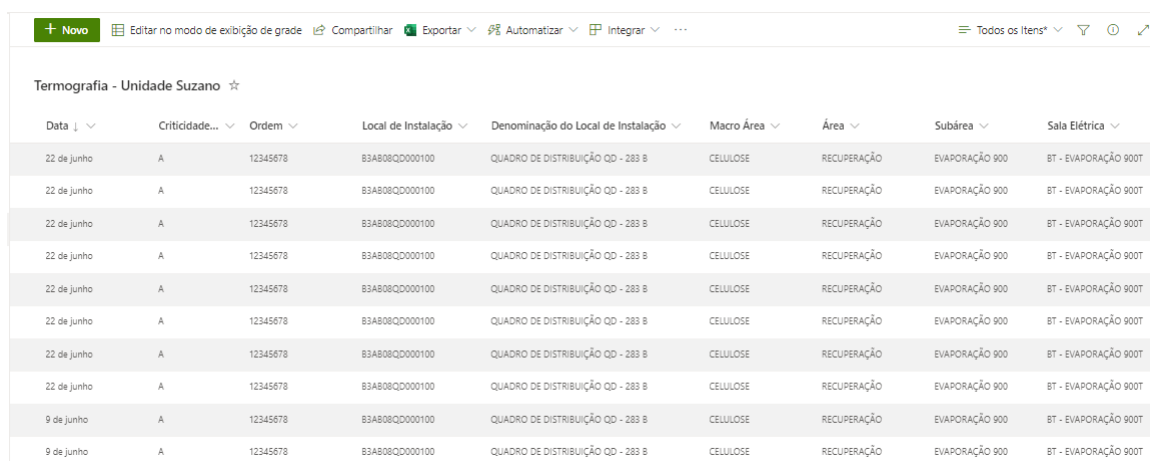
No que se refere à utilização da câmera termográfica, duas são as possibilidades apresentadas neste trabalho (Celular Cat s60 e câmera FLIR T420). Nesse sentido, para que a imagem seja anexada no formulário, presente no aplicativo, no momento da inspeção, o mantenedor terá a sua disposição a câmera termográfica do Caterpillar s60 para uso e poderá iniciar o aplicativo neste próprio aparelho, facilitando o processo de análises que não sejam muito complexas e que não necessitem de uma imagem termográfica tão aprofundada quanto à que a câmera FLIR proporciona, haja vista que a câmera possui suporte a um software dedicado de edição de imagem no computador.

Por outro lado, em casos de maior complexidade de identificação de anomalias e/ou de pontos quentes, a câmera FLIR, modelo T420, será utilizada. Entretanto, nos casos de utilização dessa câmera, a imagem analisada será anexada, posteriormente, pelo computador.

A partir da coleta da imagem termográfica no ponto de inspeção de interesse, a de-

pendendo da situação encontrada, um e-mail será disparado automaticamente para a pessoa responsável definida, por meio de uma rotina automatizada no *PowerApps* toda vez que o botão "Salvar", a ser apresentado posteriormente, for selecionado. Com isso, a análise da situação poderá ser realizada de forma que a tomada de decisão seja acelerada. Além disso, em casos de normalidade, ou seja, na presença de algum alarme de temperatura, um e-mail também é disparado para o próprio inspetor com os dados coletados, como uma forma de garantia da realização da atividade.

De forma a arquivar os dados coletados de forma *on-line*, um banco de dados será criado por meio do *Sharepoint*, com as informações dos formulários de inspeções realizadas, conforme indica a Figura 3.3.



Data	Criticidade...	Ordem	Local de Instalação	Denominação do Local de Instalação	Macro Área	Área	Subárea	Sala Elétrica
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
22 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
9 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T
9 de junho	A	12345678	B3A808CD000100	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	CELLULOSE	RECUPERAÇÃO	EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T

Figura 3.3: Banco de dados do Sharepoint

3.1 Fluxograma de processo

Segundo o fluxograma proposto para o funcionamento da aplicação, conforme a Figura 3.4, o usuário deverá primeiramente realizar o *SETUP*, isto é, definir a câmera a ser utilizada, e realizar a captura da imagem termográfica, conforme detalha a Figura 3.5. Caso a câmera a ser utilizada for a câmera *FLIR*, a imagem coletada deverá ser descarregada no computador, editada e, posteriormente, adicionada, no formulário de inspeção por meio da ferramenta de edição presente no aplicativo.

Caso a câmera seja a própria câmera do *Caterpillar s60*, o usuário deverá realizar o registro, e, em seguida, abrir a imagem na galeria e editá-la de forma que os pontos

quentes fiquem destacados. Para ambos os casos, a imagem deverá estar nítida; caso contrário, outra imagem deverá ser capturada.

Em seguida, o inspetor ou seu auxiliar deverá abrir o aplicativo, realizar o *login* e, assim, clicar em “Novo Registro”. A partir disso, deverá escolher a opção “Termografia - Painéis Elétricos”, e o formulário carregará para preenchimento dos dados, os quais serão melhor explicitados na próxima seção.

Caso o local de instalação apresente o QR Code contendo todas as informações de localização do cubículo tratado, como Macro Área, Área, Subárea, Sala Elétrica, QD/QF (Quadro de distribuição ou quadro de força), o número do cubículo e do demarrador, o usuário deverá abrir o leitor de QR Code, no painel superior, e realizar a leitura. Caso contrário, o usuário deverá inserir manualmente as informações.

Com isso, o restante das informações coletadas devem ser inseridas. De forma que a termografia seja efetiva, o equipamento deverá estar em operação. Assim, a informação de funcionamento ou não é, por *default*, “Sim”, mas poderá ser alterada em casos eventuais. Em seguida, o valor da corrente nominal I_n poderá ser inserido, apenas como informação opcional que facilite uma análise posterior da situação, bem como os valores de corrente medidos nas fases R, S e T do componente ou do sistema avaliado.

O próximo passo é, então, assinalar, ou não, a opção que se refere à diferença de temperatura entre fases pares. Segundo o critério NETA (INFRASPECTION INSTITUTE, 2008) apresentado, caso essa diferença seja maior que 15 °C em elementos similares, ou fases similares, sob mesmo regime de carga, a prioridade de tratamento da anomalia será 1, conforme mostra a tabela 2.6, o que deverá fazer com que este item seja priorizado na manutenção.

A temperatura ambiente da sala elétrica também poderá ser registrada, de forma que uma análise mais completa do cenário possa ser realizada por meio do fornecimento de dados que podem auxiliar na análise utilizando-se o critério NETA da diferença de temperatura ambiente e do equipamento, entretanto, essa informação não é obrigatória. Em seguida, a emissividade, ou seja, a capacidade de emissão de energia na forma de radiação superficial do equipamento utilizado também poderá ser registrada de forma manual. Posteriormente, deverá ser assinalado, caso necessário, a existência, ou ausência,

de pontos quentes na entrada e na saída.

Em seguida, o usuário deverá inserir a descrição do componente com desvio, bem como as características observadas no equipamento no momento da inspeção (caso aplicável). A partir disso, também deverão ser inseridas as temperaturas medidas na conexão de potência, de comando, além da temperatura do componente interno. Com esses dados, o próprio aplicativo computará em qual faixa de alarme se localiza a temperatura medida por meio de uma lógica "if", de acordo com as Tabelas 2.2, 2.3 e 2.4, respectivamente, e gravará esse resultado para facilitar a análise do formulário. Em seguida, o inspetor deverá marcar a opção de intervenção imediata, se for o caso.

Por fim, caso as imagens termográficas tenham sido coletadas por meio da câmera do celular Caterpillar, elas deverão ser anexadas, uma a uma, no formulário, que deverá ser salvo em seguida, finalizando o processo de inserção de um novo registro. Caso a imagem tenha sido capturada por meio da câmera FLIR, que não possui suporte ao aplicativo, o formulário deverá ser salvo, pelo celular, sem a imagem anexada. Em seguida, o inspetor realizará o descarregamento juntamente com ajustes das imagens coletadas em softwares dedicados, e deverá abrir o aplicativo pelo computador e editar o registro, salvo anteriormente, de forma a anexar a imagem e finalizar o processo.

No final do processo de inserção de um novo registro ou de edição de um registro, ao se clicar no botão de "Salvar", o fluxo de envio de e-mails por meio do Power Automate será estabelecido. Dessa forma, conforme detalha a Figura 3.6, independentemente da situação encontrada, um e-mail será enviado para a conta que estiver logada, contendo as informações preenchidas do formulário, juntamente com as imagens em anexo das conexões e componentes em análise. Por outro lado, por meio de uma comparação item a item, caso alguma das temperaturas medidas (Conexão de comando, de potência e de componentes internos) estiver em situação de alarme, segundo cada classificação, um e-mail também será disparado, de forma automática, conforme citado, para a gerência responsável pela tomada de decisões, uma vez que o impacto, juntamente com a probabilidade de falha, são maiores nesses casos.

Por fim, de forma a facilitar o entendimento do funcionamento do aplicativo, foi construído um vídeo conforme direciona o link: Vídeo Termo Visão

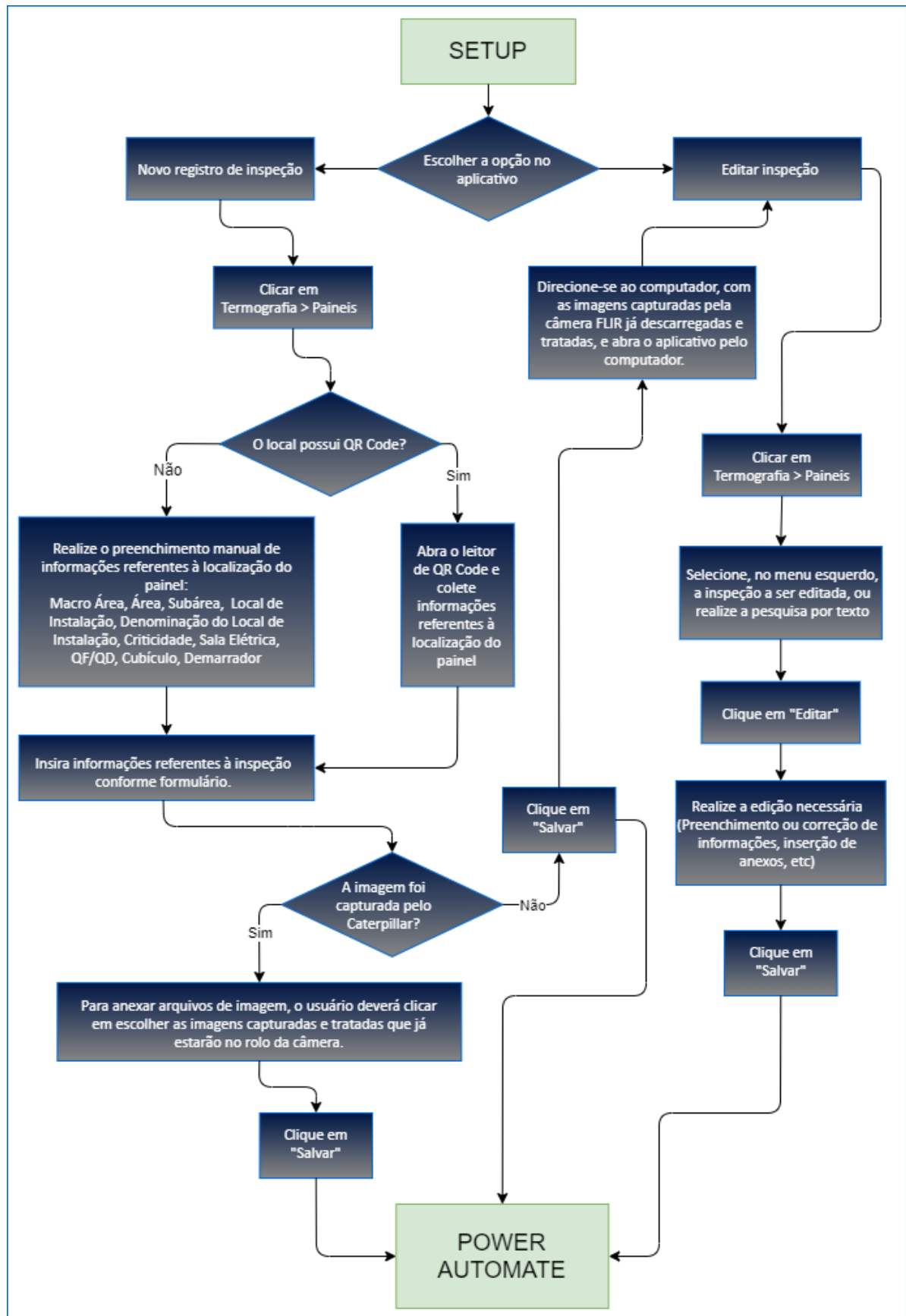


Figura 3.4: Fluxograma de trabalho

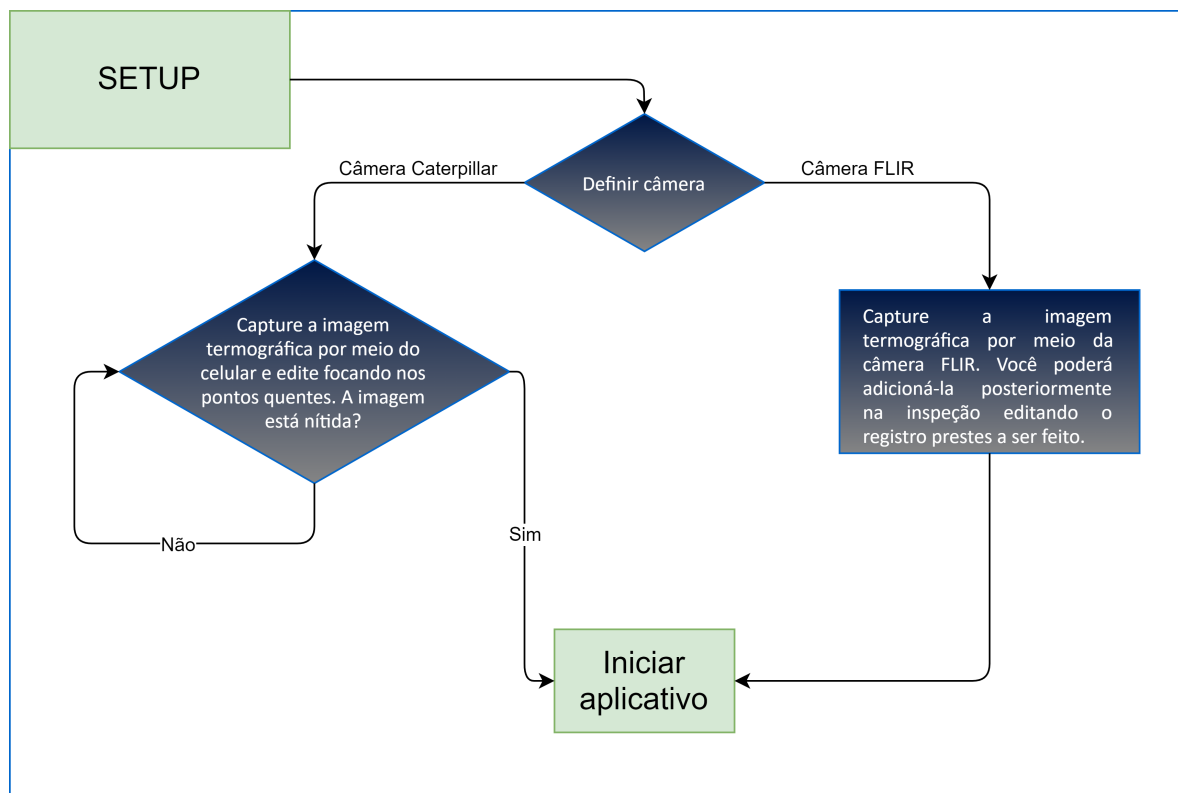


Figura 3.5: Setup do trabalho

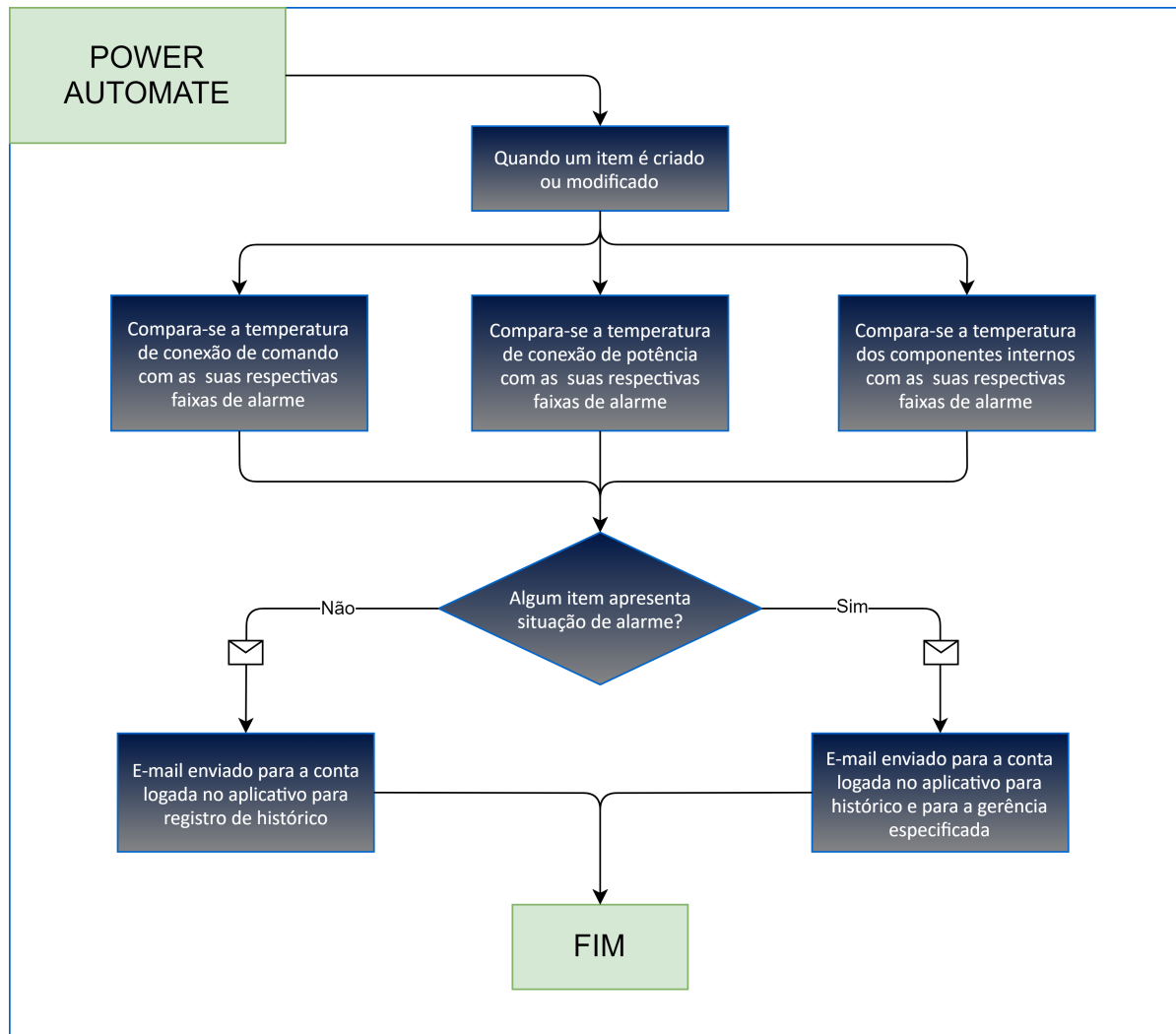


Figura 3.6: Funcionamento do fluxo de e-mails

4 Apresentação da Proposta

Nessa seção serão apresentadas a instalação dos QR Codes gerados nos painéis e o funcionamento do aplicativo desenvolvido.

4.1 Informações de Localização

Para facilitar o preenchimento do inspetor ou do mantenedor referente ao formulário de inspeção termográfica, foram gerados os QR Codes com os dados referentes à localização dos cubículos em cada sala elétrica. Assim, informações referentes ao Local de Instalação, Criticidade, Denominação do Local de Instalação, Área, Macro Área, Subárea, Sala Elétrica, identificação do Quadro de Força e/ou Distribuição, além do número do cubículo, serão preenchidos automaticamente com a leitura dos QR Codes na tela de formulário. Assim, segue, conforme Figura 4.1, um exemplo de um código utilizado.



Figura 4.1: Exemplo de QR Code utilizado

As informações trazidas por este código, em especial, são:

- Local de Instalação: B3AB08QD000100
- Criticidade: A
- Denominação do Local de Instalação: QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B

- Área: RECUPERACAO
- Macro Área: CELULOSE
- Subárea: EVAPORACAO 900
- Sala Elétrica: BT - EVAPORACAO 900T
- QF/QD: QD - 283 B
- Cubículo: 1

Os códigos instalados na sala elétrica utilizada como piloto deste projeto são observados na Figura 4.2, na qual o primeiro código está destacado em vermelho.



Figura 4.2: QR Codes instalados na sala elétrica piloto

4.2 Menu Inicial

O Menu Inicial pode ser visualizado na Figura 4.3. Nele, é possível navegar para a tela de inserção de uma nova inspeção (“NOVO REGISTRO DE INSPEÇÃO”), e para

a tela de edição e visualização de registros (“EDITAR REGISTRO”). Além disso, a tela inicial traz a mensagem de boas vindas ao aplicativo, utilizando o nome corporativo vinculado ao e-mail logado na ferramenta.



Figura 4.3: Menu Inicial Termo Visão

4.3 Menu Novo Registro de Inspeção

No menu para inserção de novos registros, conforme Figura 4.4, é possível observar diversos submenus relacionados à inspeções preditivas na área elétrica, como a Termografia, que será desenvolvida nesse trabalho, a análise de Ultrassom e de Óleo em transformadores, além de Retificadores e UPS (*Nobreaks*) em Banco de Baterias. Nesse sentido, o aplicativo prevê um espaço para futuras adaptações referentes ao estilo desejado de inspeção, que ainda não foram iniciadas, apresentando um potencial para unificação destas em um mesmo dispositivo. Para se retornar para o Menu Inicial, o usuário poderá clicar no ícone “Home” na parte inferior central da tela.



Figura 4.4: Menu Novo Registro de Inspeção

4.4 Menu Novo Formulário

Ao clicar na abertura de um novo registro relacionado à termografia de Paineis Elétricos, conforme Figura 4.4, o usuário irá para a tela de preenchimento dos espaços relacionados à inspeção desejada, de acordo com as Figuras 4.5 e 4.6.

Inicialmente, caso o local inspecionado apresente o QR Code com suas respectivas informações de localização, o leitor de QR Code, no canto superior direito da tela, poderá ser utilizado. Com isso, as informações serão automaticamente preenchidas nos seus respectivos campos do formulário, conforme a Seção 4.1. Caso contrário, essas informações deverão ser preenchidas manualmente.

Um fator importante é o preenchimento do número da ordem de serviço, que será obrigatório para fins de histórico. Usualmente, para trabalhos de inspeção preditiva em uma mesma área, o número da ordem será o mesmo para toda a rota de inspeção. Assim, o campo foi configurado para trazer o último valor inserido no banco de dados, de forma a facilitar o seu preenchimento. Dessarte, o campo só precisará ser atualizado manualmente quando uma nova rota for iniciada, a partir de um novo valor de ordem de serviço.

Em seguida, deverão ser coletados e inseridos os dados referentes à Corrente Nominal (opcional), Corrente Fase R, S e T (obrigatórias). A inserção da corrente nominal do equipamento poderá facilitar uma posterior análise ao se comparar a carga projetada e a aplicada. A pergunta referente à operação do equipamento vem, por *default*, respondida como “Sim”, já que a premissa da realização da termografia é que o equipamento esteja energizado de forma que seja possível medir o impacto térmico da carga. Em seguida, por meio da caixa de alternância, marca-se como “Sim” caso a diferença de temperatura for menor que 15 °C entre conexões pares, de acordo com o critério NETA, já apresentado na revisão bibliográfica (INFRASPECTION INSTITUTE, 2008), que deverá ser calculado de forma manual, até o ponto de desenvolvimento atual.

Também é possível realizar o preenchimento da informação referente à emissividade e à temperatura ambiente, caso o inspetor julgue necessário. Isso poderá ocorrer em situações nas quais as temperaturas das salas elétricas estiverem acima da desejada, o que poderá interferir na própria temperatura dos equipamentos do local, fazendo com que um sobreaquecimento seja oriundo da temperatura da sala, e não da carga aplicada no sistema, de acordo com a norma (NBR 14039:2019, 2019). Outrossim, isso poderia levar a conclusões incorretas em relação ao dimensionamento das mesmas.

Em seguida, o usuário deverá marcar os campos de alternância como “Sim”, a opção padrão, em casos de ausência de pontos quentes na entrada e na saída, que é o que se espera como a situação mais recorrente. Caso contrário, no campo de texto deverá ser realizada a descrição do componente identificado com desvio.

Por conseguinte, deverão ser inseridas as informações referentes às temperaturas de operação da conexão de comando, de potência, além da temperatura interna do componente analisado. Em seguida, as fotos capturadas deverão ser inseridas, uma a uma, no campo de anexos, caso existam, conforme explicita o fluxograma da Figura 3.4. Além disso, caso a situação seja crítica e uma ação imediata seja demandada, o campo localizado no canto inferior esquerdo deverá ser marcado conforme necessidade, de forma a se colocar no histórico do equipamento a atuação, além de auxiliar no apropriamento de horas trabalhadas por parte do profissional da elétrica.

Por fim, o aplicativo mostrará, com base nos valores de temperatura inseridos, a

classificação da conexão de comando, de potência e de componentes internos, baseados nos valores apresentados nas Tabelas 2.2, 2.3 e 2.4.

Para realizar o envio, então, o usuário deverá clicar em “Salvar” na parte inferior da tela, ou, caso contrário, em “Cancelar” para retornar ao menu inicial. Quando o usuário clicar em “Salvar”, um e-mail será direcionado para a conta logada no aplicativo, por evento, de forma a manter um histórico e comprovar a realização da inspeção no momento que for realizada, e o usuário será redirecionado para a Tela Inicial, conforme a Figura 4.3 . Caso haja o disparo de algum alarme, um e-mail também é enviado ao gestor da área para que as devidas tratativas sejam realizadas.

The image shows a web application interface for 'Termografia' (Thermography) under the 'suzano' brand. The form is titled 'Termografia' and includes a QR CODE icon and a 'Menu' button. The form fields are organized as follows:

Data	Executante*	Criticidade do Local de Instalação	Ordem
10/09/2021	Joice Dias Sa Zacarias		12345678
Denominação do Local de Instal...	Local de Instalação	Macro Área	Área
Subárea	Sala Elétrica	QF/QD	Cubículo
Demarrador	Equipamento em operação ?	Corrente Nominal (In)	Corrente Fase R
	Padrão: Sim		
Corrente Fase S	Corrente Fase T	A diferença de temperatura é menor que 15 °C entre conexões pares?	Temperatura Ambiente (°C)
		<input checked="" type="checkbox"/> Sim	
Emissividade	Ausência de ponto quente na		Descrição Componente com

At the bottom of the form, there are two buttons: 'CANCELAR' (blue) and 'SALVAR' (green).

Figura 4.5: Tela do formulário de inspeção - Parte 1

4.5 Menu Editar Registro

De forma análoga à tela de novo registro, a tela de escolha para visualização e edição de registros, conforme Figura 4.7, traz as opções de futuras inspeções elétricas. Entretanto, para este trabalho, focaremos nas inspeções termográficas em painéis elétricos.

The screenshot shows a web-based inspection form for 'Termografia'. The interface includes the following elements:

- Header:** 'suzano' logo on the left, 'Termografia' title in the center, and a 'QR CODE' button with a camera icon and a 'Menu' arrow on the right.
- Form Fields:**
 - Emissividade:** A text input field.
 - Ausência de ponto quente na entrada?:** A toggle switch set to 'Sim'.
 - Ausência de ponto quente na saída?:** A toggle switch set to 'Sim'.
 - Temp Ope Conexão Pot (MTA = 90 °C):** A dropdown menu.
 - Temp Ope Conexão Comando (MTA = 70 °C):** A dropdown menu with 'Localizar itens' selected.
 - Temp Comp internos (Contatores, Disjuntores, TC's, etc):** A dropdown menu with 'Localizar itens' selected.
 - Descrição Componente com Desvio:** A large text area.
 - Anexos:** A section with the text 'Não há nada em anexo.' and an 'Anexar arquivo' button.
 - Ação imediata?:** A dropdown menu with 'Localizar itens' selected.
 - Temperatura de operação conexão de comando (MTA = 70 °C):** A text input field with 'Normal' entered.
 - Temperatura de operação conexão de potência (MTA = 90 °C):** A text input field with 'Normal' entered.
 - Temperatura dos componentes internos (Contatores, Disjuntores, TC's, etc):** A text input field with 'Normal' entered.
- Footer:** A dark blue bar with 'CANCELAR' and a green bar with 'SALVAR' buttons.

Figura 4.6: Tela do formulário de inspeção - Parte 2

4.6 Menu Visualização de Registros

Ao se clicar em “Paineis”, na seção da Termografia, o usuário seja direcionado para a tela de visualização das inspeções já realizadas. Nesse sentido, será possível clicar em cada uma, no painel esquerdo, conforme mostram as Figuras 4.8 e 4.9, e, a partir disso, clicar “Editar”, no canto inferior direito, caso necessário. Nessa tela, ainda, é possível pesquisar o local de interesse na barra de pesquisa e, caso necessário, retornar ao menu inicial.

4.7 Menu Edição de Formulário

Ao se clicar em “Editar”, na tela de visualização, o aplicativo direcionará o usuário para a tela de efetiva alteração de informações no formulário, como é possível visualizar nas Figuras 4.10 e 4.11. Nessa tela, o usuário poderá alterar as informações que julgue necessárias, ou até mesmo inserir informações faltantes, como figuras anexadas no caso de utilização da câmera FLIR, por exemplo.

Por fim, ao clicar em “Salvar”, as edições sera salvas e o usuário retornará à Tela



Figura 4.7: Tela do Menu de Visualiação e Edição de Inspeções Preditias

Inicial. Além disso, por meio do Power Automate, exemplificado na Figura 3.6, um e-mail será disparado para o autor do registro e para o modificador, de forma que ambos possam ter esse histórico em seus respectivos e-mails. Além disso, essa informação será útil para que seja possível realizar o rastreamento de responsáveis pelas alterações.



Figura 4.8: Tela da lista de visualização e Inspeções Preditivas já realizadas - Parte 1

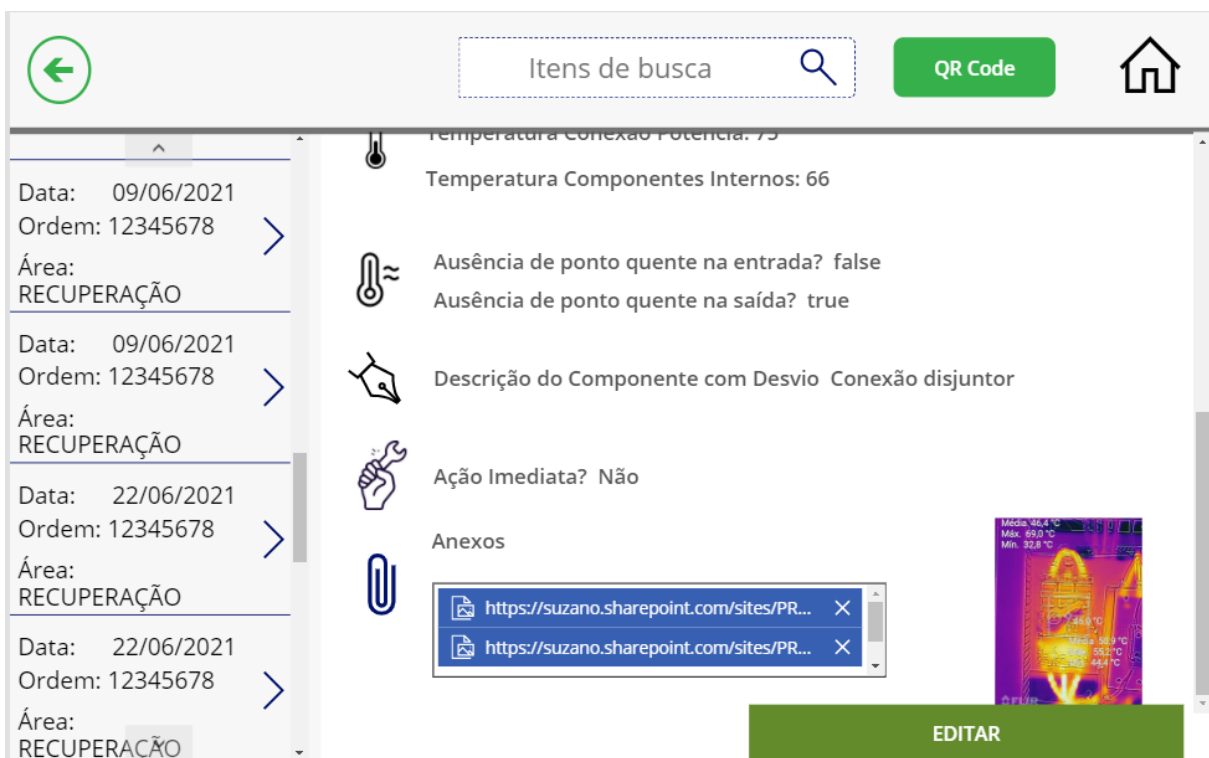


Figura 4.9: Tela da lista de visualização e Inspeções Preditivas já realizadas - Parte 2



Data	Executante*	Criticidade do Local de Instalação	Ordem*
09/06/2021	Joice Dias Sa Zacarias	A	12345678
Denominação do Local de Instal...	Local de Instalação	Macro Área	Área
QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO QD - 283 B	B3AB08QD000100	CELULOSE	RECUPERAÇÃO
Subárea	Sala Elétrica	QF/QD	Cubículo
EVAPORAÇÃO 900	BT - EVAPORAÇÃO 900T	QD - 283 B	1
Demarrador	Equipamento em operação ?	Corrente Nominal (In)	Corrente Fase R
441DX0034	Sim	30	31,5
Corrente Fase S	Corrente Fase T	A diferença de temperatura é menor que 15 °C entre conexões pares?	Temperatura Ambiente (°C)
46	38,7	<input type="checkbox"/> Não	24

CANCELAR
SALVAR

Figura 4.10: Tela de edição do formulário - Parte 1



Emissividade	Ausência de ponto quente na entrada?	Ausência de ponto quente na saída?	Descrição Componente com Desvio
	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	Conexão disjuntor
Temp Ope Conexão Pot (MTA = 90 °C)	Temp Ope Conexão Comando (MTA = 70 °C)	Temp Comp internos (Contatores, Disjuntores, TC's, etc)	Anexos
75	50	66	<ul style="list-style-type: none"> 5093c8f6-8b37-4... X 61e450f4-2425-... X Anexar arquivo
Ação imediata ?	Temperatura de operação conexão de comando (MTA = 70 °C)	Temperatura de operação conexão de potência (MTA = 90 °C)	Temperatura dos componentes internos (Contatores, Disjuntores, TC's, etc)
<input type="checkbox"/> Não	A	P2	A

CANCELAR
SALVAR

Figura 4.11: Tela de edição do formulário - Parte 2

5 Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi utilizar técnicas e funcionalidades já existentes em um ambiente corporativo e desenvolver uma aplicação com baixo investimento. Nesse sentido, o aplicativo Termo Visão é capaz de receber informações importantes referentes às inspeções preditivas termográficas, organizá-las de modo que a visualização possa ser feita em qualquer lugar, e informar, em tempo real, sobre a situação encontrada no momento da inspeção. Assim, observou-se, por meio de um *Benchmarking Interno*, que cerca de 4,2 horas diárias gastas preenchendo manualmente planilhas e relatórios, abrindo notas, foram poupadas com a utilização do aplicativo.

Dessa forma, esse tempo poderá ser convertido em outras tarefas da manutenção de uma planta, de forma que mais atividades que agreguem valor possam ser feitas em um mesmo intervalo de tempo, além da possibilidade de balanceamento de Homens-Hora. Além disso, a utilização da ferramenta aumenta a produtividade do colaborador responsável pelas medições e pelo relatório de pontos quentes, haja vista que, sem o uso do aplicativo, tal processo era feito de forma manual, com as informações anotadas no papel para, posteriormente, serem passadas à uma planilha no computador.

Além disso, por meio das informações de temperatura em cada localização/cada cubículo, ao longo do tempo, proporciona-se um cenário favorável para a criação de indicadores para uma gestão ativa relacionada à saúde dos equipamentos, além da possibilidade de acompanhamento da evolução dos valores de temperatura.

Conseqüentemente, uma redução em manutenções não planejadas e trabalhos de emergência é proporcionada, o que poderá aumentar a disponibilidade de uma planta. Com isso, será possível não só prever o tempo de vida de cada um dos componentes do equipamento, bem como aplicar ações que maximizem a vida útil de cada um deles. Será possível ter um maior “controle” sobre as condições das máquinas. Nesse sentido, com a ampliação da vida útil dos componentes, haverá uma diminuição na reposição de materiais e trocas periódicas.

No que se refere ao cálculo do retorno financeiro, é possível destacar alguns aspec-

tos referentes à aplicação, como a modernização do processo, a agilidade e a economia proporcionada. Primeiramente, grande parte dos ganhos referentes à projetos ligados, de alguma forma, à Indústria 4.0, são intangíveis, ou seja, não são passíveis de serem quantificados de forma direta. Por outro lado, é possível quantificar lucros cessantes do projeto. Um exemplo disso foi um evento, na mesma planta industrial no qual o trabalho foi realizado, em que houve uma falha de equipamento devido à falta de Termografia. Nesse sentido, o uso de uma tecnologia de facilidade, como o aplicativo apresentado, poderia ter auxiliado a evitar cerca de 7h de fábrica parada referentes ao acontecimento, caso o problema fosse visto antecipadamente.

5.1 Limitações e Aprimoramentos

A necessidade de conexão no momento de envio de formulário é considerada uma limitação, uma vez que não há suporte para um modo *off-line*. Em contrapartida, a disponibilidade de um modo *off-line* poderia ferir os princípios de uma aplicação conectada que comunique em tempo real a situação encontrada em um determinado local, já que poderá haver um tempo ocioso entre a coleta da informação e a respectiva comunicação com as partes interessadas.

Como melhoria, poderá ser implantado, no futuro, um painel de visualização dos dados de forma gráfica, por meio da criação de uma *Dashboard* interativa que facilite a visualização de tendências e progressões relacionadas às temperaturas dos ativos. Dessa forma, será possível a predição de falhas e uma atuação manutentora estratégica.

Bibliografia

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15572:2013 Ensaio não destrutivo — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos*. 2013.
- CENTER, I. I. T. *Manual do Curso de Termografia Nível 1*. 1. ed. Sorocaba, São Paulo, 2018.
- DALENOGARE, L. S. A indústria 4.0 no Brasil: um estudo dos benefícios esperados e tecnologias habilitadoras. 2018.
- FOGLIATO, F.; RIBEIRO, J. L. D. *Confiabilidade e manutenção industrial*. Brasil: Elsevier, 2009.
- INFRASPECTION INSTITUTE. *Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment*. 2008.
- IT, B. *Você sabe o que é Low Code?* 2020. Disponível em: <https://www.blendit.com/2020/11/25/voce-sabe-o-que-e-low-code/>.
- JARDIM, E. M. Confiabilidade de sistemas de shut-down em plantas industriais de alto risco - evolução tecnológica e falha segura. *PUC-Minas*, 1993.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção-função estratégica*. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2001.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção: função estratégica. revisada e ampliada*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. M.; BARONI, T. *Função estratégica*. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark Editora, 2013.
- KERSUL, G. M. *Uso da termografia para inspeções e manutenção predial: estudo de caso*. 2014.
- LOUVAIN, L. C. *Aplicação da termografia na manutenção preditiva*. *Repositório UTFPR*, 2008.
- MAINTENANCE, N. R. C. *Guide for facilities and collateral equipment*. *National Aeronautics and Space Administration*, 2008.
- MORTELARI, D.; SIQUEIRA, K.; PIZZATI, N. *O rcm na quarta geração da manutenção de ativos*. *RG Editores*, 1^a Edição, 2011.
- MOUBRAY, J. *Reliability-centered maintenance*. Lutterworth, UK: Industrial Press Inc., 2001.
- NAGAI, F. H.; BATISTA, G. B.; DAGNONI, V. *Estudo de caso da aplicação do planejamento e controle da manutenção em uma planta de envase Arla 32*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

NBR 14039:2019. *NBR 14039:2019 Instalações Elétricas de Média Tensão de 1 kV a 36,2 kV*. 2019.

PASSOS, J. C. Os experimentos de joule e a primeira lei da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 31, p. 3603–1, 2009.

RIBEIRO ALYSON BEZERRA NOGUEIRA ET. AL, y. . . Desenvolvimento de sistema para análise de termograma visando detectar falhas utilizando processamento digital de imagens.

SILVA, I. Zaidan da. *APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NA MANUTENÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS*. 2020. Escola Politécnica, UFRJ.

TAKAHASHI, Y. *TPM/MPT: manutenção produtiva total*. São Paulo: IMAM, 1993.