



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Osmar Lucas Dias Aires

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

**Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle -  
LIEC/UFCG**

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2020

**Osmar Lucas Dias Aires**

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

### **LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA E CONTROLE - LIEC/UFCG**

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI

Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica - CGEE

Orientador: Professor Rafael Bezerra Correia Lima, D. Sc.

Campina Grande, Brasil

Fevereiro de 2020

**Osmar Lucas Dias Aires**

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

### **LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA E CONTROLE - LIEC/UFCG**

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em:            /            /

---

**Professor Rafael Bezerra Correia  
Lima, D. Sc.  
Orientador**

---

**George Acioli Júnior, D.Sc.  
Convidado**

Campina Grande, Brasil  
Fevereiro de 2020



*Dedico este trabalho a Milena Carneiro Dias Aires, amada mãe e a Osmar da Silva Aires,  
amado pai*



# Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por estar comigo em todos os momentos.

Agradeço a todos os meus familiares, em especial deixo aqui minha gratidão a meus pais, Milena Carneiro Dias Aires e Osmar da Silva Aires, por estarem sempre ao meu lado, aconselhando-me e torcendo pelo meu sucesso.

Agradeço também, de forma especial, a meus avós maternos, Milton Carneiro de Farias (minha referência) e Edineusa Dias dos Santos Carneiro (minha guerreira), por todos os ensinamentos de vida.

Agradeço a meus tios, Marcílio Carneiro Dias, Milâine Carneiro Dias e Mileusa Carneiro Dias, por todo o incentivo e carinho.

Agradeço a todos os meus colegas de curso, em especial a: Walter Guedes, Matheus Ferreira, Robson Donato, Ulisses Gomes, Darlanny Diniz, Hericles Rodrigues, Goldofredo Feitosa, Lucas Porto, Rivanildo Soares, Victor Germano, Vandilson Rodrigo, José Adeilmo, Ravi Helon, Ítalo Medeiros, José Neto, José Patrício, Anderson Wendel, Leonardo Pereira, Elias Gabriel, Joyce Moraes, Maurílio Quirino, Paulo Vitor e Egydio Tadeu, por todo companheirismo e união em todos os momentos do curso.

Agradeço ao professor Rafael Bezerra Correia Lima, pela orientação, pela paciência e por todos os ensinamentos.

Por fim, deixo aqui meu agradecimento a todos aqueles que fizeram parte, direta ou indiretamente, desta minha caminhada. Muito obrigado.





*"O homem que diz que a verdade não existe  
está pedindo para que você não acredite nele.*

*Então, não acredite."*

Sir Roger Vernon Scruton



# Resumo

No presente relatório descreve-se as atividades realizadas pelo estagiário Osmar Lucas Dias Aires no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação do professor Rafael Bezerra Correia Lima e supervisão de Joaquim Pereira da Silva Neto. O estágio supervisionado foi realizado durante o período de 10/01/2020 até 11/02/2020. O principal objetivo deste trabalho é o estudo de métodos de análise termográfica, bem como o desenvolvimento de uma interface de análise termográfica em *Xamarin Forms* que seja utilizada para a avaliação das condições dos equipamentos.

**Palavras-chave:** Análise, Termografia, Interface, Estágio Supervisionado.



# Abstract

This report presents the activities performed by the student Osmar Lucas Dias Aires during the Supervised Internship at the Laboratory of Electronic Instrumentation and Control (LIEC), belonging to the Department of Electrical Engineering (DEE) of the Federal University of Campina Grande (UFCG), under the guidance of Professor Rafael Bezerra Correia Lima and supervised by Joaquim Pereira da Silva Neto. The supervised internship was carried out during the period from 01/10/2020 to 02/11/2020. The main objective of this work is the study of thermographic analysis methods, as well as the development of a thermographic analysis interface in Xamarin Forms that is used for the evaluation of equipment conditions.

**Keywords:** *Analyze, Thermography, Interface, Supervised Internship.*



# Lista de Ilustrações

Figura 1 – Fachada do LIEC. . . . .	23
Figura 2 – Exemplo de uma imagem termográfica. . . . .	26
Figura 3 – Termografia em radiadores. . . . .	28
Figura 4 – Exames diagnósticos por imagem com espectro eletromagnético. . . . .	30
Figura 5 – Visualização de foco de infiltração . . . . .	31
Figura 6 – Smartphone S61 CAT - com câmera termográfica FLIR . . . . .	40
Figura 7 – Interface Termografia . . . . .	41
Figura 8 – Interface Termografia - Situação Normal . . . . .	42
Figura 9 – Interface Termografia - Situação em Observação . . . . .	43
Figura 10 –Interface Termografia - Situação Manutenção Programada . . . . .	44
Figura 11 –Interface Termografia - Situação Manutenção Imediata . . . . .	45
Figura 12 –Planta para controle de vazão . . . . .	46
Figura 13 –Placa da Bomba de Aquecimento . . . . .	46
Figura 14 –Planta da Bomba de Resfriamento . . . . .	47
Figura 15 –Comparação da variação de temperatura da Bomba 1 - Cargas 25, 50 e 100% . . . . .	48
Figura 16 –Comparação da variação de temperatura da Bomba 2 - Cargas 25, 50 e 100% . . . . .	49
Figura 17 –Bomba com ventoinha bloqueada . . . . .	49
Figura 18 –Análise do FET para a Bomba 2 . . . . .	50
Figura 19 –Imagem termográfica da Bomba 2 . . . . .	51
Figura 20 –Variação da Temperatura da Bomba 2 com a ventoinha bloqueada . . . . .	51
Figura 21 –Valor do FET de acordo com a variação da temperatura na Bomba 2 . . . . .	52
Figura 22 –Análise do FET para a bomba 2 na temperatura máxima alcançada . . . . .	53





# Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
FCC	Fator de Correção de Carga
FCVV	Fator de Correção de Velocidade do Vento
FET	Fator de Elevação de Temperatura
FLIR	<i>Forward Looking Infra-Red</i>
IHM	Interface Homem Máquina
LIEC	Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle
NBR	Norma Brasileira
NETA	<i>InterNational Electrical Testing Association</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
TFC	Temperatura Final Corrigida
XML	<i>Extensible Markup Language</i>



# Sumário

<b>Lista de Ilustrações</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>1 Introdução</b> . . . . .	<b>21</b>
1.1 Estrutura do Trabalho . . . . .	22
<b>2 Local do Estágio</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>3 Fundamentação Teórica</b> . . . . .	<b>25</b>
3.1 Manutenção Preditiva . . . . .	25
3.2 Termografia . . . . .	25
3.2.1 Aplicações da Termografia . . . . .	26
3.2.1.1 Aplicações em Equipamentos Elétricos Industriais . . . . .	26
3.2.1.2 Aplicações no Campo da Medicina . . . . .	29
3.2.1.3 Aplicações em Edificações . . . . .	30
3.2.2 Normas Técnicas . . . . .	32
3.2.3 Métodos de análise termográfica . . . . .	33
3.2.3.1 Método FET . . . . .	33
3.2.3.2 Método Comparativo . . . . .	35
3.2.3.3 Padrão NETA para inspeção termográfica . . . . .	36
3.3 <i>Xamarin Forms</i> . . . . .	37
<b>4 Atividades Realizadas</b> . . . . .	<b>39</b>
4.1 Termografia e suas ferramentas . . . . .	39
4.2 Interface para Análise Termográfica . . . . .	40
4.3 Experimentos Realizados . . . . .	45
4.3.1 Experimento 01 - Motores em condições ideais . . . . .	47
4.3.2 Experimento 02 - Motores com as ventoinhas bloqueadas . . . . .	49
<b>5 Conclusões</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>Referências</b> . . . . .	<b>57</b>



# 1 | Introdução

O estágio supervisionado, cujas atividades são descritas neste relatório, teve duração de 180 horas (6 créditos) e foi realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), durante o período de 10 de janeiro de 2020 até 11 de fevereiro de 2020, sob a supervisão do engenheiro Joaquim Pereira da Silva Neto e orientação do professor Rafael Bezerra Correia Lima.

O estágio supervisionado tem como objetivo o cumprimento das exigências da disciplina Estágio Curricular, integrante da grade curricular do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Essa disciplina é indispensável para a formação profissional, visto que consolida os conhecimentos adquiridos durante o curso de forma prática.

O estágio teve como principal objetivo o estudo de métodos de análise termográfica, bem como o desenvolvimento de uma interface em *Xamarin Forms* de análise termográfica para auxílio na avaliação e classificação dos equipamentos inspecionados.

As atividades desenvolvidas foram as seguintes:

- Revisão bibliográfica de métodos de análise termográfica;
- Familiarização com a câmera térmica FLIR modelo FLIR ONE GEN 3;
- Análise de imagens térmicas aplicadas à detecção de defeitos em máquinas girantes;
- Análise de imagens térmicas para detecção de defeitos em equipamentos elétricos;
- Utilização de softwares comerciais para a análise das imagens;
- Implementação de algoritmos customizados para análise das imagens;
- Validação em campo das técnicas estudadas.

## **1.1 Estrutura do Trabalho**

O presente relatório está organizado da seguinte maneira:

No Capítulo 1 foram apresentadas, de maneira sucinta, as principais informações acerca do estágio.

No Capítulo 2 é feita uma apresentação resumida da empresa concedente em um panorama geral e, mais especificamente, do laboratório onde foi realizado o estágio.

No Capítulo 3 é realizada uma revisão bibliográfica a respeito das principais informações técnicas empregadas no desenvolvimento das atividades realizadas.

O Capítulo 4 é destinado à apresentação detalhada das atividades desenvolvidas pelo estagiário durante o período de estágio no âmbito do laboratório.

O Capítulo 5 é de caráter conclusivo. Nele é feita uma breve análise da temática, bem como são apresentadas sugestões para trabalhos futuros, tendo como base este relatório.

## 2 | Local do Estágio

Localizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) no campus de Campina Grande, o Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) é um laboratório pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEE). Integrado por professores doutores, alunos de pós-graduação e de graduação, esse laboratório tem como principal objetivo desenvolver atividades e projetos ligados as áreas de automação, controle e instrumentação.

Figura 1 – Fachada do LIEC.



Fonte: Junior (2019)

Com uma área de aproximadamente  $600m^2$ , o LIEC que pode ser visto na Figura 1 conta com oito laboratórios de desenvolvimento, duas salas de apoio técnico, sala para apresentação de trabalhos, salas para pós-graduação e professores. Dentre as principais atividades desenvolvidas no laboratório, pode-se destacar as seguintes:

- Laboratório de Aplicações Wireless - desenvolvimento de soluções baseadas em dispositivos móveis para ambientes industriais;
- Laboratório de Automação Industrial - sintonia de controladores PID industriais

(mono e multivariável), automação industrial, instrumentação industrial, IHM industrial, avaliação de confiabilidade em malhas de controle;

- Laboratório de Controle e Otimização - projeto e sintonia de PID, modelagem e simulação de processos, sistemas supervisórios;
- Laboratório de Instrumentação Eletrônica - projeto e sintonia de PID;
- Laboratório de Redes Industriais - estudos de técnicas e tecnologias para a comunicação entre dispositivos industriais;
- Laboratório de RFID - desenvolvimento de aplicações baseadas em tecnologia RFID para ambientes industriais;
- Laboratório de Ultrassom - desenvolvimento de sensor de incrustação, desenvolvimento de técnicas de medição de incrustação.

No LIEC, alunos de pós-graduação e de graduação encontram um ambiente propício ao aperfeiçoamento dos conhecimentos teóricos e das habilidades práticas, por intermédio das diversas pesquisas e outras atividades realizadas no mesmo.



## 3 | Fundamentação Teórica

### 3.1 Manutenção Preditiva

Antes de se estudar de forma específica a termografia, é importante entender o conceito de manutenção preditiva. Nos próximos dois parágrafos, definições de diferentes autores são apresentadas.

Segundo [1], manutenção preditiva é a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática, tendo como objetivo a prevenção de falhas em equipamentos ou sistemas através do acompanhamento de dados, possibilitando uma maior vida útil sem apresentar falhas ou paradas não planejadas.

A manutenção preditiva é a execução da manutenção no momento adequado, antes que o equipamento apresente falha e tem a finalidade de evitar a falha funcional ou evitar as consequências desta [2].

A manutenção preditiva por meio da Termografia é uma grande aliada para a detecção de problemas em suas instalações elétricas em geral e suas vantagens são muitas: aumento de confiabilidade, melhora da qualidade, redução dos custos de manutenção, aumento da vida útil de componentes, equipamentos e instalações, melhora na segurança de processos, equipamentos, instalações e pessoas, minimiza o tempo de parada de máquinas e proporciona ganhos expressivos ao meio ambiente.

### 3.2 Termografia

A termografia é um método de detecção da distribuição de energia térmica emitida pela superfície de um ou vários corpos ou objetos. É um ensaio não destrutivo que utiliza os raios infravermelhos para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura. Esta técnica fornece informações úteis relativas às condições

operacionais de um componente e o instrumento de medição é denominado termovisor.

De acordo com [3] Termografia ou termovisão, como algumas vezes é denominada, é uma técnica de monitoramento baseada na medição remota e interpretação da radiação infravermelha que é emitida por um corpo, permitindo identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura encontra-se alterada com relação a um padrão preestabelecido, constituindo - se, assim, em uma poderosa ferramenta no diagnóstico de falhas ou problemas no sistema inspecionado.

Esse conceito básico consiste na análise pela visão humana do espectro infravermelho, chamado de termograma. O infravermelho é uma frequência eletromagnética, naturalmente emitida por qualquer corpo com intensidade proporcional a sua temperatura. Na Figura 2 é apresentado um exemplo de imagem termográfica.

Figura 2 – Exemplo de uma imagem termográfica.



Fonte: Autoria Própria (2020)

### 3.2.1 Aplicações da Termografia

A termografia vem sendo utilizada em diversas áreas, tendo como destaque o seu uso na análise de Equipamentos Elétricos Industriais, no campo da Medicina e na Construção Civil.

#### 3.2.1.1 Aplicações em Equipamentos Elétricos Industriais

Desde a década de 70, a manutenção industrial adquiriu um grau de importância, através de alguns fatores fundamentais relacionados com a produção, qualidade e custos. Havia uma necessidade direta das condições de manutenção, pois naquela época grandes

potências industriais começaram a implantar planos de manutenção com objetivo de garantir a competitividade [4].

No meio da indústria atual, onde as falhas dos sistemas elétricos são cada vez menos aceitáveis, por acarretarem prejuízos e insatisfação profissional, causando situações de danos ao componente por excesso de temperatura, faz-se necessário o uso de técnicas de manutenção eficazes como as técnicas preditivas, visando prevenir defeitos ou falhas que possam ser detectadas antes que as mesmas venham ocasionar situações indesejadas [5].

Nos sistemas elétricos, a manutenção auxilia na identificação de problemas causados por anomalias térmicas, geralmente causadas por deficiências de contatos em correntes e resistências dos componentes.

Também é muito utilizada em manutenção na área eletroeletrônica para fazer análises de circuitos em geral, quadros de energias de média e baixa tensão, linhas de alta-tensão, subestações, cabines de entrada de energia, instalações elétricas, nobreaks etc.

As perdas de energia são cada vez menos aceitáveis em sistemas de geração e transmissão de energia elétrica. Além de eliminar as perdas, os sistemas que geram ou conduzem energia também devem reduzir as falhas e os prejuízos delas decorrentes.

Entre alguns dos principais diagnósticos que se pode detectar com a análise termográfica, destacam-se alguns problemas mais comuns:

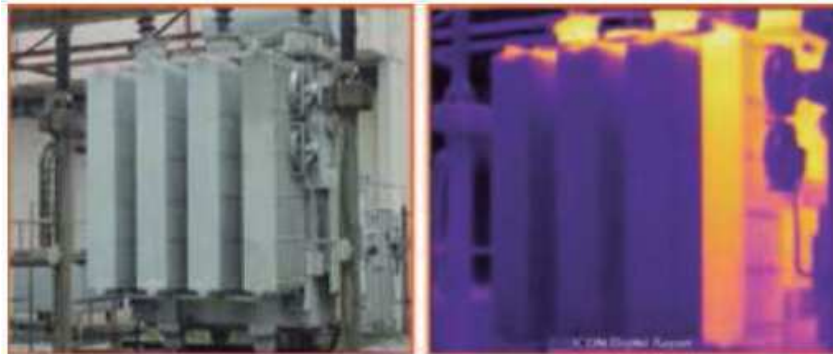
- Mau contato de alguma fiação;
- Oxidação dos componentes;
- Desgaste de algumas peças;
- Sobrecarga de circuitos.

Já quando utilizada em equipamentos mecânicos dinâmicos, pode diagnosticar deficiências causadas pelo atrito entre peças, evidenciando inadequações ou deficiências na lubrificação ou desalinhamentos de eixos, verificados por meio da medição da temperatura de dispositivos de acoplamento. A Figura 3 mostra um exemplo da aplicação da análise termográfica em radiadores.

Em equipamentos mecânicos estáticos, a termografia é utilizada para a identificação em superfícies de regiões onde há deficiência no isolamento térmico.

Para a indústria mecânica, a manutenção preditiva e a análise termográfica são fundamentais. Pois, a união dessas duas ações pode ajudar na detecção de problemas como:

Figura 3 – Termografia em radiadores.



Fonte: Autoria Própria (2020)

- Atrito entre algumas peças;
- Falta de lubrificação;
- Problemas de alinhamento entre os eixos.

Uma das atividades mais difíceis devido as suas particularidades inerentes ao processo da inspeção termográfica são as inspeções em linhas de transmissão.

As condições ambientais podem atingir diretamente o diagnóstico como: mudanças climáticas, ventos com velocidade, radiação solar e umidade.

Essas são variáveis que podem ocultar pequenas diferenças térmicas que poderiam ser indicativas de defeito. O porte estrutural como torres extremamente altas ou localizadas em áreas irregulares ou terrenos de muita vegetação, também podem dificultar o acesso em linhas de transmissão.

Diante das dificuldades expostas anteriormente, as inspeções nas linhas de transmissão são feitas normalmente de duas maneiras:

- Inspeção Terrestre: Nesse tipo de inspeção devem ser verificados: o estado geral da linha de transmissão, a estabilidade das bases das estruturas quanto a erosões e desbarrancamentos, a situação dos estais, a situação dos aterramentos (contrapesos), a situação dos acessos até as estruturas, a proximidade da vegetação aos cabos, a possibilidade de queimadas e a possibilidade de invasão da faixa de servidão.
- Inspeção Aérea: São verificados nesse tipo de inspeção: o estado geral da linha de transmissão, a integridade das cadeias de isoladores, a verificação de pontos quentes, a integridade dos cabos para-raios, a estabilidade das estruturas, a aproximação da vegetação aos cabos e a possibilidade de queimadas.

A não detecção antecipada de algum problema, provavelmente, resultará numa interrupção de alguma máquina ou equipamento e dependendo do local do problema pode ser uma parada generalizada causando grandes perdas no processo de produção.

### 3.2.1.2 Aplicações no Campo da Medicina

A termografia médica infravermelha é um instrumento de análise não invasiva e não radioativa, capaz de analisar funções fisiológicas relacionadas com o controle da temperatura da pele [6]. A termografia detecta a luz infravermelha emitida pelo corpo e visualiza mudanças de temperatura corporal relacionadas à alteração no fluxo sanguíneo. Não é um método que mostra anormalidades anatômicas, porém é capaz de mostrar mudanças fisiológicas. Existem várias aplicações da termografia no campo da medicina:

- Desordens Neurológicas;
- Reumatológicas;
- Musculares;
- Doenças Vasculares;
- Patologias Urológicas;
- Patologias Ginecológicas;
- Patologias Ortopédicas;
- Medicina Esportiva.

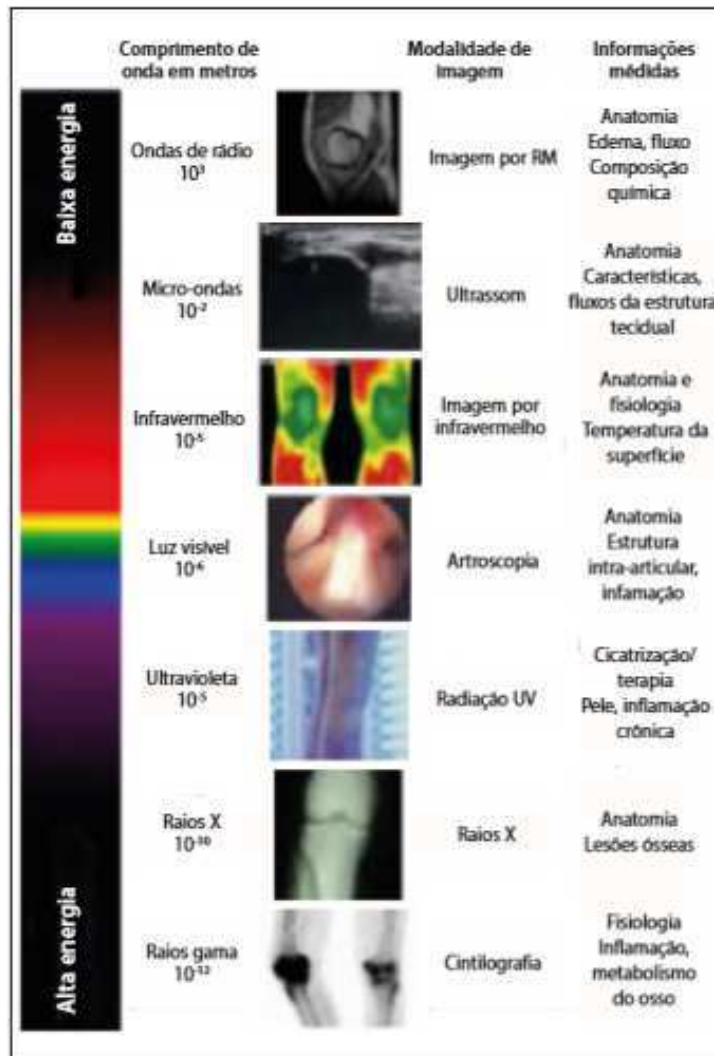
Para todas as áreas médicas, a termografia está estabelecida como uma medida que proporciona um mapeamento visual da distribuição da temperatura da pele. A termografia não deve ser usada como ferramenta diagnóstica única. Exames clínicos devem ser realizados para interpretação dos termogramas.

Nas aplicações médicas, esta técnica proporciona, somente, uma imagem da distribuição da temperatura da pele; não é capaz de mostrar dados de uma superfície profunda do corpo, como é possível por outros exames de imagem. Entretanto, é um método não-invasivo e objetivo, além de seguro e inofensivo.

Na medicina do esporte, o uso da termografia pode proporcionar melhores resultados aos atletas por ser um instrumento na identificação de riscos e na prevenção de lesões, além de ser uma importante ferramenta no acompanhamento do treinamento esportivo, a partir da avaliação da quantificação da carga de trabalho.

A maioria dos instrumentos diagnósticos por imagem utiliza porções do espectro eletromagnético como indicado na Figura 4. Entretanto, diferentemente de outros dispositivos médicos, a termografia é um instrumento não radioativo, permitindo, então, aplicações irrestritas e com segurança.

Figura 4 – Exames diagnósticos por imagem com espectro eletromagnético.



Fonte: Retirada de Côrte(2016)

### 3.2.1.3 Aplicações em Edificações

A termografia por infravermelhos tem inúmeras aplicações em edifícios. Pode ser utilizada para detecção de causas de patologias verificadas visualmente, tal como pode ser empregue como instrumento de engenharia preventiva, descobrindo patologias ainda não aparentes, mas já embrionárias.

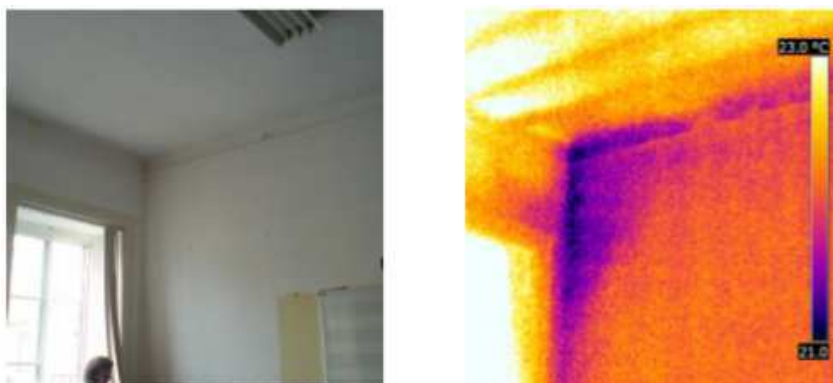
Segundo [7], as aplicações da termografia por infravermelho em edifícios são diversas, podendo referir-se algumas, a título de exemplo:

- Detecção de infiltrações ou fugas de água;
- Detecção de fendas estruturais;
- Detecção de vazios no interior do betão;
- Detecção de corrosão de armaduras;
- Localização de redes interiores;
- Análise térmica dos edifícios.

Os revestimentos exteriores das paredes têm um papel importante na estanquidade à água, como também, fazem diferença no isolamento térmico, protegem as alvenarias e estruturas exercendo uma influência relevante na sua durabilidade. Além de contribuir significativamente no aspecto estético dos edifícios.

A inspeção predial configura-se como ferramenta útil para avaliação das condições de conservação das edificações em geral, para atestar se os procedimentos de manutenção adotados são suficientes e existentes, além de fornecer subsídios para orientar o plano e programas de manutenção. Na Figura 5 é apresentado um exemplo da utilização da termografia em edificações.

Figura 5 – Visualização de foco de infiltração



Fonte: Retirada de Mendonça(2008)

A vantagem evidente da termografia sobre testes invasivos é a não existência de destruição de nenhuma zona de material durante o ensaio. A termografia infravermelha é um método rápido para inspeccionar superfícies, mas sem necessidade da utilização de

andaimas para acesso às mesmas. Isto resulta em redução do tempo de inspeção, da quantidade de trabalho, do equipamento necessário, etc.

Por outro lado, não provoca nenhuma perturbação da superfície do material a ensaiar, pelo que não prejudica a estética. Não provoca pó nem origina detritos.

A mais importante vantagem da termografia por infravermelhos é que é uma técnica de teste de áreas, enquanto que os outros métodos de ensaio, quer não destrutivos, quer destrutivos, são técnicas de ensaios em pontos localizados ou em linhas.

A termografia por infravermelhos apresenta uma limitação: a profundidade e a espessura da anomalia detectada não podem ser determinadas. No entanto, nos casos em que tal seja importante, pode utilizar-se a termografia para analisar a superfície e localizar os problemas e, seguidamente, utilizar ensaios localizados e específicos nas zonas onde se determinaram os defeitos.

### 3.2.2 Normas Técnicas

Para o estudo da termografia existem duas normas técnicas aplicadas no Brasil: a **ABNT NBR 15424** e a **N-2475** da Petrobras.

A ABNT NBR 15424 foi atualizada pela última vez em 2016. Ela define os termos utilizados no método de ensaio não destrutivo de termografia. De acordo com esta norma, a termografia é uma técnica de sensoriamento remoto que possibilita a medição de temperaturas e a formação de imagens térmicas (chamadas termogramas) de um componente, equipamento ou processo, a partir da radiação infravermelha, naturalmente emitida pelos corpos, em função de sua temperatura.

A N-2475 da Petrobras fixa as condições exigíveis à realização de inspeção termográfica em sistemas elétricos. Ela se aplica a inspeção termográfica em:

- Transformadores;
- Painéis elétricos e seus componentes;
- Motores;
- Linhas de transmissão;
- Banco de baterias;
- Bancos de capacitores;
- Equipamentos de manobra.



Esta Norma se restringe à inspeção termográfica de sistemas elétricos que estejam operando com cargas iguais ou superiores a 50% da carga nominal. Ela se destaca por apresentar um método de análise termográfica que se baseia no cálculo do FET (Fator de Elevação de Temperatura), o qual será detalhado no item 3.2.3.1.

### 3.2.3 Métodos de análise termográfica

Após o estudo das bibliografias existentes até o momento, pode-se afirmar que existem três métodos de análise termográfica. São eles:

- Método FET;
- Método comparativo;
- Padrão NETA para inspeção termográfica.

#### 3.2.3.1 Método FET

Como já citado no item 3.2.2, o método FET é estabelecido pela norma da Petrobras N-2475. Para que seja possível a utilização deste procedimento, algumas informações precisam ser informadas. São elas:

- A velocidade do vento ( $V_v$ ), dada em metros por segundos;
- A carga nominal ( $I_n$ ) do equipamento em análise, dada em Ampères;
- A carga medida ( $I_m$ ) do equipamento em análise, dada em Ampères;
- A temperatura medida ( $T_m$ ), dada em Graus Celsius;
- A temperatura ambiente ( $T_a$ ), dada em Graus Celsius;
- A temperatura máxima ( $T_{max}$ ), dada em Graus Celsius;

O valor da velocidade do vento é utilizado para o cálculo do Fator de Correção de Velocidade do Vento (FCVV). A Tabela 1 mostra os valores que são atribuídos para o FCVV de acordo com cada velocidade do vento. Nota-se que o FCVV é válido para velocidades do vento iguais ou inferiores a 7 m/s. Acima da velocidade de 7 m/s não é recomendada à execução do ensaio.

Tabela 1 – Fator de Correção de Carga

Carga	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
FCC	1,00	1,11	1,23	1,38	1,56	1,77	2,00	2,37	2,78	3,30	4,00

O próximo passo é obter o valor do Fator de Correção de Carga (FCC), o qual é dado por meio da equação 3.1:

$$FCC = (I_n/I_m)^2 \quad (3.1)$$

Os valores do FCC são válidos para cargas iguais ou superiores a 50% da carga nominal.

Em seguida, calcula-se a elevação de temperatura corrigida ( $\Delta TC$ ) calculada para carga nominal (100%), de acordo com a equação 3.2:

$$\Delta TC = (T_m - T_a) * FCC * FCVV \quad (3.2)$$

Uma observação a ser feita é que a carga nas condições de ensaio deve ser conhecida e para cargas medidas superiores a normal não deve ser usado o FCC.

O próximo parâmetro a ser obtido é a Temperatura Final Corrigida (TFC). Isso é possível por intermédio da equação 3.3:

$$TFC = \Delta TC + T_a \quad (3.3)$$

Em seguida, a elevação máxima de temperatura admissível ( $\Delta T_{max}$ ) é obtido por meio da equação 3.4:

$$\Delta T_{max} = T_{max} - T_a \quad (3.4)$$

Por fim, o FET é obtido com base na expressão 3.5:

$$FET = (\Delta TC / \Delta T_{max}) \quad (3.5)$$

Com base no valor obtido para o FET, a classificação dos aquecimentos medidos é realizada e procedimentos são recomendados. Um resumo destes critérios é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Método FET

Fator de Elevação de Temperatura (FET)	Classificação Térmica	Providência
0,9 ou mais	severamente aquecido	manutenção imediata
0,6 ou 0,9	muito aquecido	manutenção programada
0,3 a 0,6	aquecido	em observação
até 0,3	normal	normal

Em que:

- **Condição normal:** pontos que apresentam níveis normais de temperatura após correção do aquecimento a 100 % da carga.
- **Condição aquecido:** pontos cujo aquecimento corrigido não é conclusivo no que se refere ao estado do componente, sendo recomendável manter o componente em observação até a próxima inspeção.
- **Condição muito aquecido:** pontos nos quais o aquecimento corrigido indica estarem em vias de apresentar defeito, mas cuja evolução ainda permite a programação de manutenção.
- **Condição severamente aquecido:** pontos cujo aquecimento corrigido indica que o comportamento do componente é imprevisível devido à temperatura atingida, a manutenção deve ser imediata.

### 3.2.3.2 Método Comparativo

O método comparativo é o mais utilizado pelas empresas e companhias de energia elétrica. Esta técnica utiliza um  $\Delta T$  que é usado para determinar se há uma anomalia, sendo que o valor é calculado pela Equação 3.6. Para achar o valor do  $\Delta T$ , ocupamos um valor de temperatura de referência, que pode ser a temperatura de um equipamento que esteja funcionando em plenas condições, idêntico ao que possui o ponto quente fora do padrão normal, ou a temperatura que consta no manual do fabricante do equipamento [8].

$$\Delta T = T_r - T_m \quad (3.6)$$

Em que:

- $\Delta T$  = Diferença de Temperatura
- $T_r$  = Temperatura de Referência
- $T_m$  = Temperatura Medida

Depois de possuir o valor do  $\Delta T$ , deve ser feita uma análise e verificar a providência que deve ser tomada pelo termografista ao fazer o relatório, pensando nestas providências, foi feito um estudo baseando nos valores encontrados no manual da Infrared, manual termografia da CEEE e metodologia adotada pela Eletronorte. Fundamentado nestes estudos, foi constituída a elaboração da Tabela 3, para auxiliar na tomada de decisão [8].

Tabela 3 – Método Comparativo

Critérios	Classificação	Providências
30°C ou mais	Emergência	Manutenção imediata
10°C a 30°C	Urgência	Manutenção mais rápida possível
5°C a 10°C	Aquecido	Em observação
Até 5°C	Normal	Normal

### 3.2.3.3 Padrão NETA para inspeção termográfica

Para a inspeção termográfica de sistemas elétricos, a *InterNational Electrical Testing Association (NETA)* também propôs uma norma que é resumida de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Método NETA

Prioridade	VT entre componentes similares	VT com relação à temperatura ambiente	Ação
4	1 a 3°C	1 a 10°C	Possível deficiência; Justifica investigação
3	4 a 15°C	11 a 20°C	Indica deficiência provável; Reparar quando possível
2	—	21 a 40°C	Monitorar até a eliminação da falha
1	>15°C	>40°C	Alta discrepância; Reparar imediatamente

OBS: VT significa Variação de Temperatura.

### 3.3 *Xamarin Forms*

Também da Microsoft o Xamarin Forms é uma interface de programação de aplicações (API) para criação de aplicações multi-plataforma (*cross-plataform*), com ela é possível criar aplicativos android, iOS e UWP (Windows) que possuam código base, quase que em sua totalidade, compartilhado.

O *Xamarin Forms* não possui um design igual o Windows Forms para auxiliar na criação de telas, é utilizado uma linguagem de marcação XAML, semelhante a XML, para este propósito. Também tem-se a opção de utilizar o próprio C para a criação das telas das aplicações, porém geralmente tornam o código confuso, o XAML simplifica a criação das interfaces gráficas e na modularização do código [9].



## 4 | Atividades Realizadas

Na presente seção serão apresentadas as principais atividades desenvolvidas pelo estagiário no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). O estágio supervisionado foi realizado em Campina Grande - Paraíba, na sala de IoT Industrial deste laboratório.

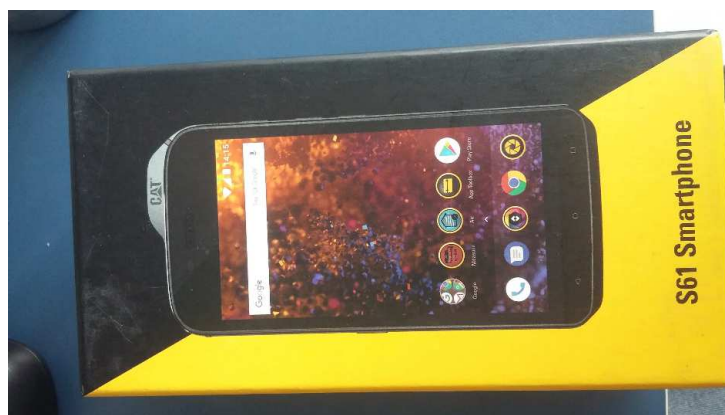
Na seção 4.1 discorre-se sobre a atividade de entendimento do processo de análise termográfica, bem como das ferramentas utilizadas para esta análise. Na seção 4.2 é apresentada a interface em *Xamarin Forms* produzida para auxílio da análise termográfica. Na seção 4.3 é apresentado os experimentos realizados com a câmera termográfica FLIR.

### 4.1 Termografia e suas ferramentas

Na primeira semana do estágio, foram realizadas pesquisas sobre os conceitos associados à termografia, bem como sobre suas aplicações. Diversos artigos e dissertações foram encontrados nas áreas da termografia em equipamentos industriais, na medicina e na construção civil, os quais já foram citados na Fundamentação Teórica.

Para a obtenção das imagens termográficas, foi utilizado o Smartphone S61 CAT com câmera termográfica da FLIR, exposto na Figura 6.

Figura 6 – Smartphone S61 CAT - com câmera termográfica FLIR



Fonte: Autoria Própria (2020)

## 4.2 Interface para Análise Termográfica

Com o objetivo de facilitar o processo de análise termográfica foi desenvolvido em *Xamarin Forms* uma interface (Figura 7) que utiliza como base o Método FET, o qual é estabelecido pela norma da Petrobras N-2475.

Por meio dela, o usuário insere os seis parâmetros requisitados pela norma N-2475 (Velocidade do Vento, Carga Nominal, Carga Medida, Temperatura Medida, Temperatura Ambiente e Temperatura Máxima).



Figura 7 – Interface Termografia

9:17 ▲

Interface para cálculo do Fator de Elevação de Temperatura (FET)

Velocidade do Vento(m/s): \_\_\_\_\_

Carga Nominal (A): \_\_\_\_\_

Carga Medida (A): \_\_\_\_\_

Temperatura Medida (°C): \_\_\_\_\_

Temperatura Ambiente (°C): \_\_\_\_\_

Temperatura Máxima (°C): \_\_\_\_\_

Resultado:  
Classificação:  
Procedimentos:

**EXECUTAR**

**LIMPAR**

Fonte: Autoria Própria (2020)

Se o resultado do FET for menor ou igual a 0.3, a interface mostrará para o usuário, em fundo verde, que a classificação e os procedimentos são considerados normais. Na Figura 8 é exemplificado esta situação.

Figura 8 – Interface Termografia - Situação Normal

9:30 ↑ ▲

Interface para cálculo do Fator de Elevação de Temperatura (FET)

0

11

10

34

25

100

0.132

Classificação: Normal

Procedimento: Normal

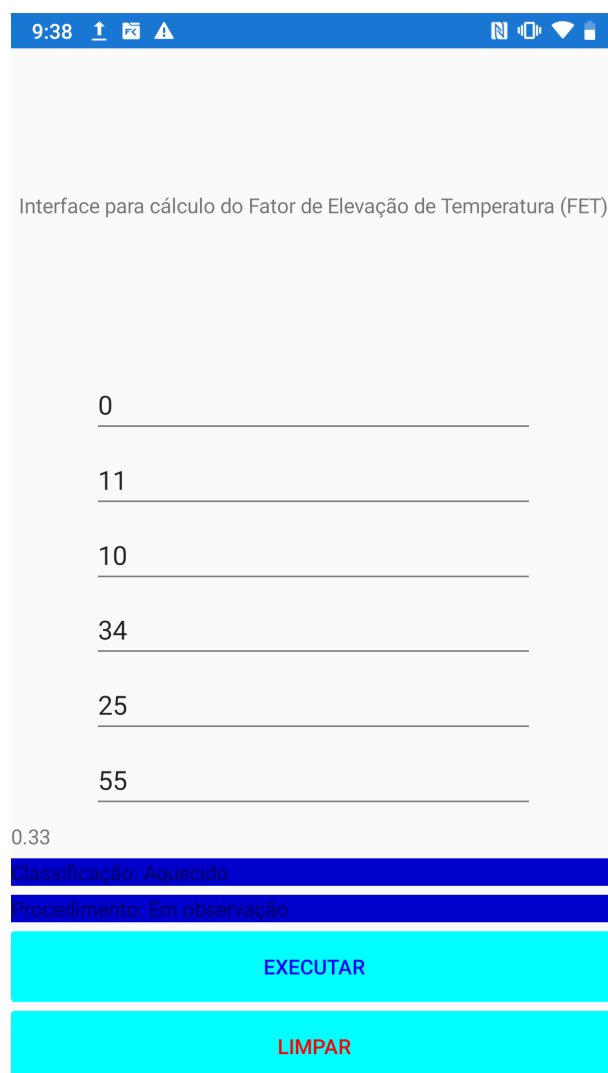
EXECUTAR

LIMPAR

Fonte: Autoria Própria (2020)

Se o resultado do FET estiver maior que 0.3 e menor ou igual a 0.6, a interface mostrará para o usuário, em fundo azul, que a classificação é aquecida e que o se deve estar em observação. A Figura 9 mostra esta situação.

Figura 9 – Interface Termografia - Situação em Observação



9:38 ↑ ↻ ▲ 🔔 🔊 🔋

Interface para cálculo do Fator de Elevação de Temperatura (FET)

0

11

10

34

25

55

0.33

Classificação: Aquecido

Procedimento: Em observação

EXECUTAR

LIMPAR

Fonte: Autoria Própria (2020)

Se o resultado do FET estiver maior que 0.6 e menor ou igual a 0.9, a interface indicará para o usuário, em fundo amarelo, que a classificação do ponto medido é muito aquecido e que o procedimento a ser realizado será uma manutenção programada. Na Figura 10 é apresentada essa situação.

Figura 10 – Interface Termografia - Situação Manutenção Programada

9:43

Interface para cálculo do Fator de Elevação de Temperatura (FET)

2

12

11

67

27

100

0.81892901618929

Classificação: Muito Aquecido

Procedimento: Manutenção Programada

EXECUTAR

LIMPAR

Fonte: Autoria Própria (2020)

A última situação é quando o resultado do FET for maior que 0.9, fazendo com que a interface indique ao usuário que o ponto medido do equipamento está severamente aquecido e necessita de manutenção imediata. Na Figura 11 é apresentada essa situação.

Figura 11 – Interface Termografia - Situação Manutenção Imediata

9:44 ↑ ↻ ▲ 🔔 🔊 🔋

Interface para cálculo do Fator de Elevação de Temperatura (FET)

2

12

11

67

27

90

0.948917748917749

Classificação: Severamente aquecido

Procedimento: Manutenção Imediata

EXECUTAR

LIMPAR

Fonte: Autoria Própria (2020)

### 4.3 Experimentos Realizados

Na sala de Controle de Processos do LIEC/UFCEG, foi realizado experimentos utilizando os seguintes equipamentos:

- Planta para controle de vazão (conforme apresentado na Figura 12)
- Medidor de corrente AC/DC Iminipa ET-3320;
- Smartphone S61 CAT - com câmera termográfica FLIR

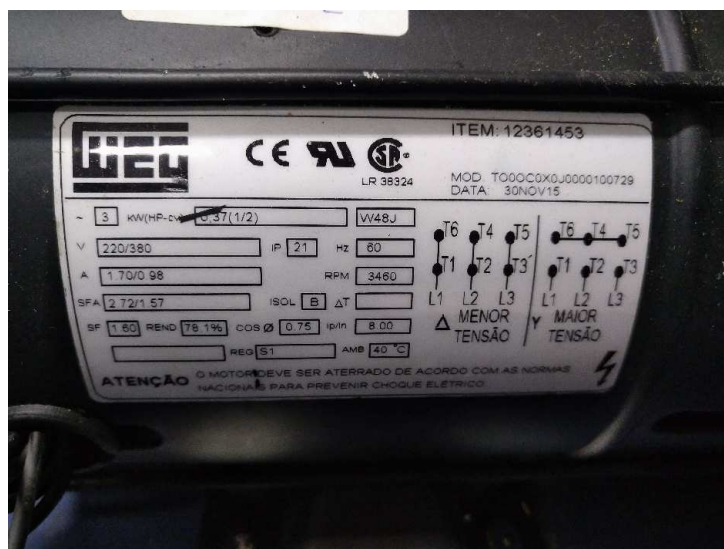
Figura 12 – Planta para controle de vazão



Fonte: Autoria Própria (2020)

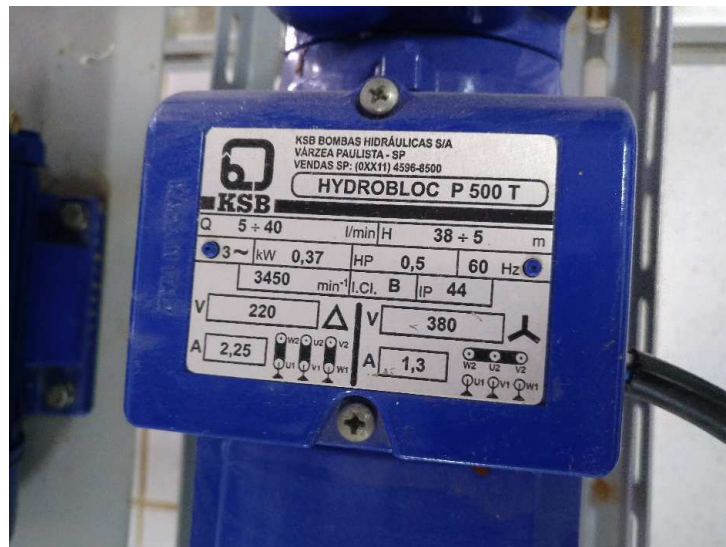
A planta possui duas bombas, uma que atua esquentando a água (bomba 2) e outra que atua esfriando a água (bomba 1), as quais suas placas são mostradas, respectivamente, nas Figuras 13 e 14.

Figura 13 – Placa da Bomba de Aquecimento



Fonte: Autoria Própria (2020)

Figura 14 – Planta da Bomba de Resfriamento



Fonte: Autoria Própria (2020)

### 4.3.1 Experimento 01 - Motores em condições ideais

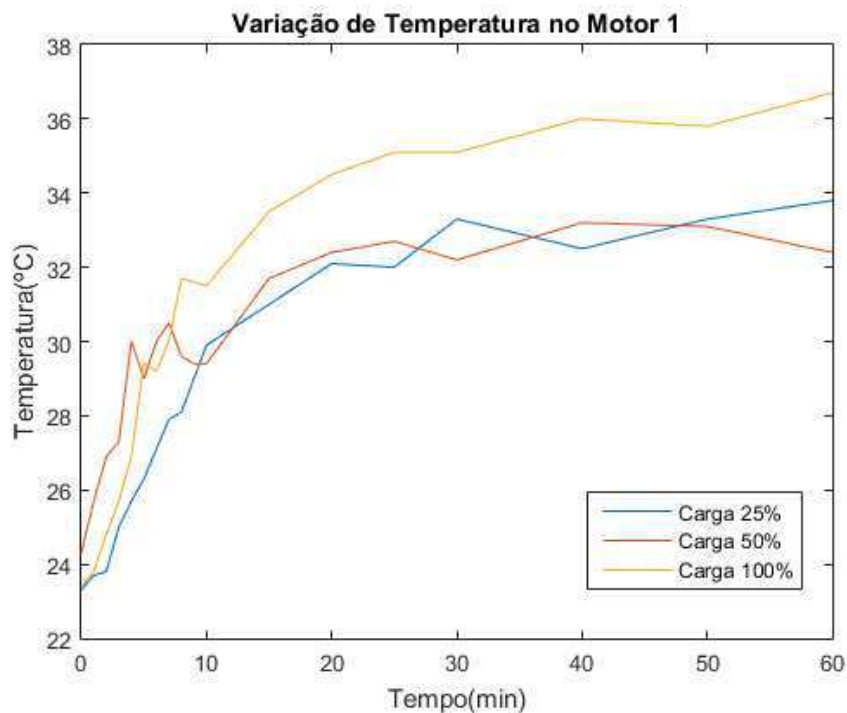
Inicialmente, foram realizados experimentos nas condições ideais, ou seja, à temperatura ambiente (23 °C) e com as ventoinhas livres. O experimento foi realizado em três etapas, descritas a seguir:

- Para ambos os motores atuando com 25% da carga;
- Para ambos os motores atuando com 50% da carga;
- Para ambos os motores atuando com 100% da carga;

Cada etapa do experimento foi realizada em 60 minutos. As medições com a câmera termográfica foram realizadas de um em um minuto, nos primeiros dez minutos. Em seguida, do minuto dez ao minuto trinta, as medições foram feitas de cinco em cinco minutos. Por fim, do minuto trinta ao minuto sessenta, as medições foram realizadas de dez em dez minutos.

Os dados coletados são apresentados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Comparação da variação de temperatura da Bomba 1 - Cargas 25, 50 e 100%



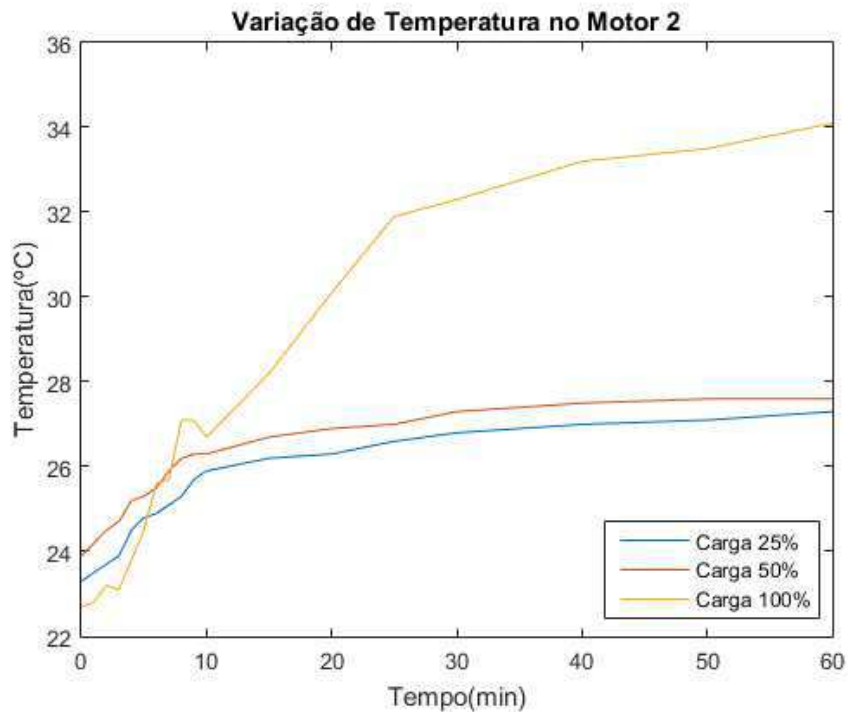
Fonte: Autoria Própria (2020)

Com base nos gráficos apresentados anteriormente, nota-se que, para ambas as bombas atuando com 100% da capacidade, a temperatura final é consideravelmente maior se comparada com a temperatura para os outros dois casos.

No entanto, utilizando a interface desenvolvida para análise termográfica, verifica-se que em nenhum momento do experimento os motores saíram do estado normal e foram para o estado de observação (em aquecimento).



Figura 16 – Comparação da variação de temperatura da Bomba 2 - Cargas 25, 50 e 100%



Fonte: Autoria Própria (2020)

### 4.3.2 Experimento 02 - Motores com as ventoinhas bloqueadas

Com o objetivo de provocar alterações consideráveis na temperatura dos motores e com isso, baseando-se na norma N-2475, induzir a situações diferentes do estado normal, as ventoinhas de ambas as bombas foram bloqueadas por meio de plásticos com auxílio de uma fita isolante, como indicado na Figura 17.

Figura 17 – Bomba com ventoinha bloqueada



Fonte: Autoria Própria (2020)

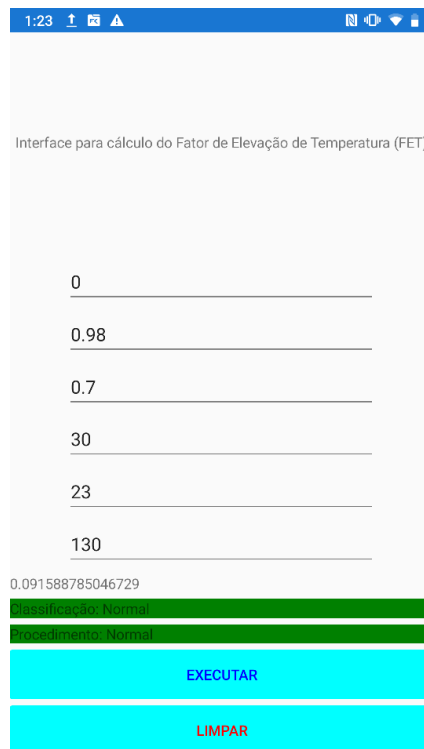
Inicialmente, ligou-se o aquecedor com carga máxima e paralelamente a bomba 2 foi ativada com 10% da carga. Verificou-se, como esperado, que a temperatura da água no tanque 2 foi elevando-se.

Com 20 minutos decorridos, a água do tanque 2 atingiu a temperatura de 40 °C e a carga da bomba 2 foi alterada para 25%.

Com 45 minutos decorridos, a água do tanque 2 chegou a 50 °C e com isso a carga da bomba foi alterada para nível máximo (100%).

Com 55 minutos decorridos, a água no tanque 2 chegou a 60 °C (temperatura máxima recomendada). Por isso, a bomba 1 foi acionada, inicialmente, com 50 % da carga. Durante as etapas anteriores, a temperatura na bomba 2 não ultrapassou 30 °C, ficando, portanto, próxima as condições ideais. Isso é comprovado utilizando-se a interface desenvolvida, conforme a Figura 18. A temperatura da bomba 1, conforme esperado, ficou próximo à temperatura ambiente, pois ela estava desligada.

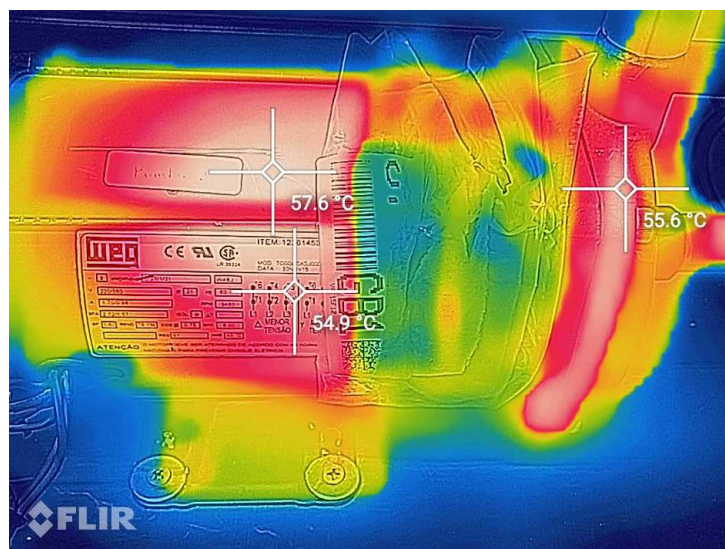
Figura 18 – Análise do FET para a Bomba 2



Fonte: Autoria Própria (2020)

Com a bomba 1 acionada, verificou-se que a temperatura na bomba 2 foi se elevando de forma considerável chegando a atingir quase 58 °C (Figura 19) em aproximadamente 100 minutos após o acionamento da bomba 1.

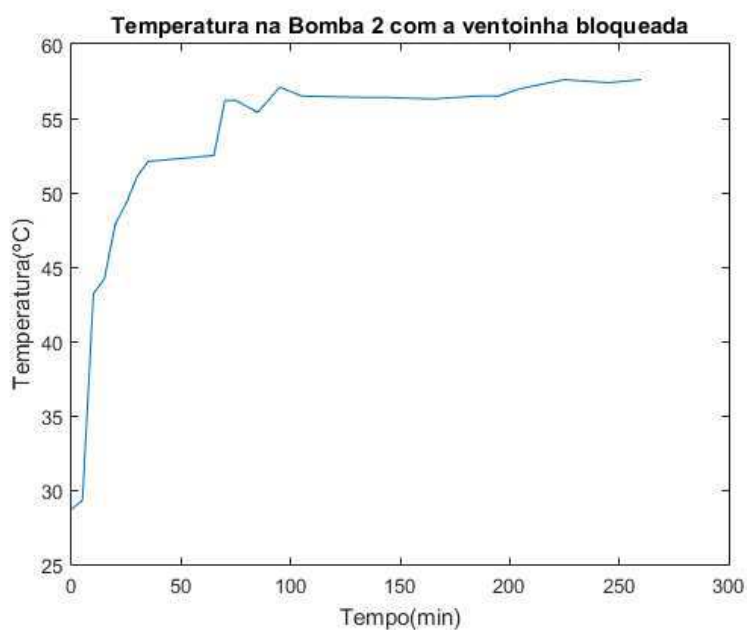
Figura 19 – Imagem termográfica da Bomba 2



Fonte: Autoria Própria (2020)

A carga da bomba 1 foi alterada até chegar a 100%, porém a temperatura da bomba 2 não sofreu grandes alterações. Na Figura 20, é apresentado a variação da temperatura da bomba 2 com a ventoinha bloqueada após o acionamento da bomba 1.

Figura 20 – Variação da Temperatura da Bomba 2 com a ventoinha bloqueada

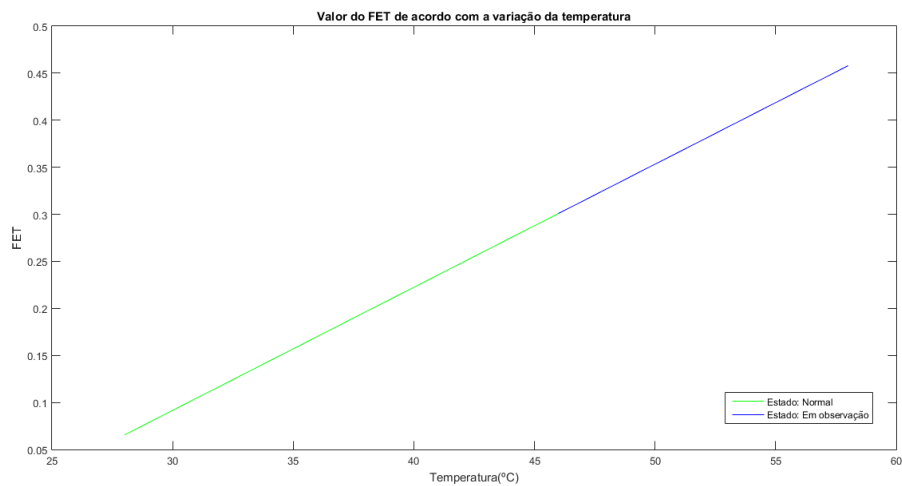


Fonte: Autoria Própria (2020)

Na Figura 21 é apresentado um gráfico que mostra o valor do FET de acordo com

a variação da temperatura na Bomba 2.

Figura 21 – Valor do FET de acordo com a variação da temperatura na Bomba 2



Fonte: Autoria Própria (2020)

Deve-se salientar que o tempo total do experimento foi de 360 minutos(6 horas).

Utilizando a interface agora para análise da bomba 2 no momento em que ela estava com temperatura próxima a 58 °C, tem-se que aquele ponto estava classificado como aquecido na condição de observação, conforme comprova a Figura 22.

Figura 22 – Análise do FET para a bomba 2 na temperatura máxima alcançada

2:13 ↑ ↻ ▲ 🔔 🔊 🔋

Interface para cálculo do Fator de Elevação de Temperatura (FET)

0

0.98

0.7

57.6

23

130

0.452710280373832

Classificação: Aquecido

Procedimento: Em observação

**EXECUTAR**

**LIMPAR**

Fonte: Autoria Própria (2020)



## 5 | Conclusões

Durante o período de execução do estágio supervisionado, percebeu-se sua extrema importância, oferecendo ao aluno a possibilidade de por em prática conteúdos de disciplinas da sua graduação e aprofundar o conhecimento em assuntos apresentados superficialmente. Aumentando a autoconfiança dos estudantes de graduação, pois as experiências em sala de aula fazem o aluno ter a sensação de que não se está aprendendo o que é necessário para trabalhar.

Nota-se, após os estudos realizados, que a termografia é uma ferramenta que tem ampla utilização e que se adequa às mais diversas áreas da ciência, como a medicina, a construção civil e em sistemas elétricos.

As análises realizadas neste trabalho foram baseadas na norma N-2475 da Petrobras, pois ela oferece uma avaliação mais precisa e detalhada do equipamento, levando em consideração vários parâmetros. No entanto, outros métodos poderiam ter sido utilizados, como o Método Comparativo e o Padrão NETA.

O principal objetivo desta análise é prevenir falhas e prolongar a eficiência operacional dos sistemas. Para a realização da termografia não são necessários os desligamentos de quaisquer máquinas e equipamentos elétricos. O que ocasiona uma redução sensível nos custos de manutenção.

Como sugestão para atividades futuras, recomenda-se a implementação de um SDK com a interface desenvolvida para análise termográfica, de forma que seja possível capturar a imagem do equipamento e automaticamente obter a sua classificação e saber os procedimentos recomendados.





# Referências

- [1] KARDEC, Julio Alan. NASCIF. Manutenção - função estratégica. 2012. Citado na página 25.
- [2] MOUBRAY, J. Reliability-centered maintenance. 1997. Citado na página 25.
- [3] FER, Wilson. Análise termográfica - relatório técnico. 2014. Citado na página 26.
- [4] CORTIZO, Eduardo. Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações. 2007. Citado na página 27.
- [5] SANTOS, Laerte. Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas. 2006. Citado na página 27.
- [6] CORTE, Ana. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. 2016. Citado na página 29.
- [7] MENDONÇA, L.V. Termografia por infravermelhos. aplicações em edifícios. 2008. Citado na página 31.
- [8] CEZAR, Cleberton. L. Sistema de gestão da manutenção industrial utilizando termografia: Aplicação na usina termelétrica da caal - alegrete. 2012. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- [9] JUNIOR, José. A. N. B. Relatório de estágio supervisionado - liec/ufcg. 2019. Citado na página 37.