



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL**  
**CAMPUS ARAPIRACA**  
**FÍSICA – LICENCIATURA - EAD**

**AILTON SOUTO JÚNIOR**

**TERMOGRAFIA EM TRANSFORMADORES EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

**ARAPIRACA**

**2020**

Ailton Souto Júnior

## Termografia em transformadores em redes de distribuição

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Física da Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, com o requisito para obtenção de título de licenciatura em Física.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lidiane Maria Omena da Silva Leão.

Arapiraca

2020

Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Biblioteca Campus Arapiraca - BCA  
Bibliotecário Responsável: Nestor Antonio Alves Junior

CRB - 4 / 1557

S728t Souto Júnior, Ailton  
Termografia de transformadores em redes de distribuição / Ailton Souto Júnior. –  
Arapiraca, 2020.  
26 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física - EAD) - Universidade  
Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, Arapiraca, 2020.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lidiane Maria Omena da Silva Leão.

Referências: f. 26.

1. Termografia. 2. Transformadores de distribuição. 3. Radiação infravermelho.  
I. Leão, Lidiane Maria Omena da Silva. II. Título.

CDU 53

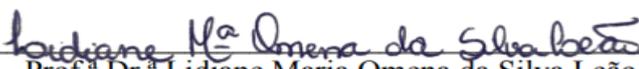
Ailton Souto Júnior

Termografia em transformadores em redes de distribuição

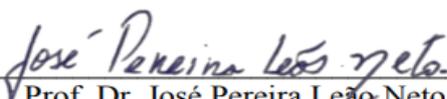
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção de grau de Licenciatura em  
Física da Universidade Federal de Alagoas  
– UFAL, na modalidade EaD

Data de Aprovação: 26/11/ 2020

**Banca Examinadora**

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lidiane Maria Omena da Silva Leão  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Campus Arapiraca  
(Orientadora)

  
Prof. Dr. André de Lima Moura  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Campus Arapiraca  
(Examinador)

  
Prof. Dr. José Pereira Leão Neto  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Campus Arapiraca  
(Examinador)

*A Deus, a minha família, aos meus amigos ...  
companheiros de todos os momentos...*

## **AGRADECIMENTOS**

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Orientadora Lidiane Omena, pelo apoio a este trabalho.

Aos Profs. Drs. e Mestres desta instituição que dedicam sua vida a educação.

Aos meus amigos Alysson Helbert Silva Cantidiano, Wellington Santos Costa e Sandro Francisco da Silva, que ajudaram na construção deste trabalho.

Ailton Souto Júnior

## RESUMO

Neste trabalho venho abordar o estudo realizado em transformadores de distribuição de energia elétrica relacionando a temperatura em seus tanques com a carga em que eles estão submetidos em seu regime de trabalho, usando para isto o equipamento de termografia, que consegue ler e visualizar a temperatura do equipamento em operação. O equipamento de termografia tem como seu princípio de funcionamento a leitura da radiação eletromagnética infravermelha onde esse tipo de radiação não é possível ser vista, pois está fora do espectro da luz visível ao ser humano. Com esse tipo de ensaio poderemos direcionar as equipes de manutenção das redes de distribuição de energia ao equipamento que está em uma possível sobrecarga, e dessa forma poder atuar de maneira mais significativa na sua manutenção sem haver prejuízos ao equipamento e aos clientes.

**Palavras Chave:** Termografia. Transformadores de distribuição. Radiação infravermelho.

## **ABSTRACT**

In this work I approach the study carried out in power distribution transformers relating the temperature in their carcasses with the load they are subjected to in their working regime, using for this the thermography equipment, which can read and visualize the temperature of the carcass. equipment in operation. The thermography equipment has as its working principle the reading of infrared electromagnetic radiation where this type of radiation cannot be seen, because it is outside the spectrum of light visible to humans. With this type of test we will be able to direct the maintenance teams of the power distribution network to the equipment that is in a possible overload, and thus be able to act more significantly in its maintenance without damaging the equipment and the customers.

**Keyword:** Thermography. Distribution transformers. Infrared radiation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Decomposição da luz branca.....	12
Figura 2 - Espectro da Luz .....	12
Figura 3 - Gráfico das Radiações de Plank, Rayleigh-Jeans e Wien .....	15
Figura 4 - Gráfico da Radiação do Corpo Negro .....	15
Figura 5 - Termovisor FLIR T440 .....	16
Figura 6 - Termograma .....	16
Figura 7 - Transformador de Distribuição de Energia .....	16
Figura 8 - Analisador PowerNet PQA – 700 .....	16
Figura 9 – Termografia em Motores .....	17
Figura 10 – Termografia em Corpo Humano.....	17
Figura 11 – Termografia em Estrutura de Concreto.....	17
Figura 12 - Transformador de potência de Distribuição .....	18
Figura 13 - Vista Interna do Transformador de potência de Distribuição .....	19
Figura 14 - Área do Transformador de potência de Distribuição .....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de carregamento mais econômico de transformadores .....	19
Tabela 2 - Dados coletados .....	22

## LISITA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Gráfico dos Resultados .....	24
---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRIDUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1	DECOMPOSIÇÃO DA LUZ .....	12
2.2	IRRADIAÇÃO .....	12
2.3	CORPO NEGRO .....	13
2.4	LEI DE RAYLEIGH-JEANS .....	13
2.5	LEI DO DESLOCAMENTO DE WIEN .....	14
2.6	LEI DE PLANCK .....	14
2.7	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS .....	15
2.8	TERMOVISOR .....	15
2.9	ANALISADOR DE ENERGIA .....	16
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
3.1	ENSAIOS TERMOGRÁFICOS .....	17
3.2	TRANSFORMADORES DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	18
<b>4</b>	<b>COLETA DE DADOS .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Motivado pela necessidade de minimizar os custos das inspeções realizadas no sistema elétrico de distribuição e atribuir às equipes de inspeção de redes de distribuição de energia elétrica um quesito a mais em suas inspeções, aproveitando o deslocamento dessas equipes para realizar as leituras de temperatura do tanque do transformador de potência na área a ser inspecionada. De modo que esse trabalho propõe analisar um parâmetro de temperatura que indique uma possível sobrecarga no equipamento. Estudos rotineiros de termografia são realizados na rede elétrica, são feitas inspeções nas conexões, chaves fusíveis, para-raios e condutores, Porém, não são feitos estudos baseados na temperatura dos tanques dos transformadores, esses estudos são importantes, pois está diretamente ligado a vida útil do equipamento, então dessa forma podemos otimizar a ida do inspetor e aumentar seu campo de inspeção incluindo esse equipamento em sua manutenção preventiva, além de ter mais parâmetros para ajudar na manutenção do sistema elétrico evitando interrupções.

Do ponto de vista pedagógico, este trabalho servirá como forma de exemplo de alguns assuntos abordados, como a óptica, abordando a luz, o infravermelho; a eletricidade, abordando tensão, corrente, potência elétrica, visto que este corresponde a uma rica contextualização dos conceitos físicos abordados no ensino médio, evidenciando para os alunos que os conceitos físicos extrapolam a abordagem teórica da sala de aula e pode ser observada em mais uma abordagem prática, em um seguimento do cotidiano podendo solucionar demandas sociais.

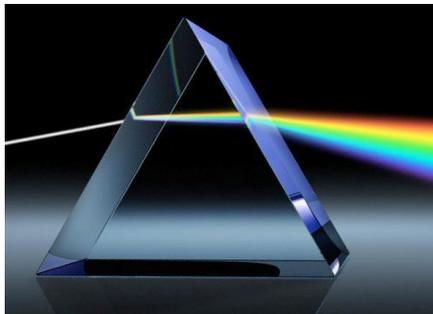
A produção deste trabalho utilizou relatórios técnicos feitos com as leituras do equipamento de termografia, assim como análises de medições de correntes elétricas nos transformadores, através do analisador de energia, que mapeia as grandezas de energia que o transformador está submetido.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 DECOMPOSIÇÃO DA LUZ

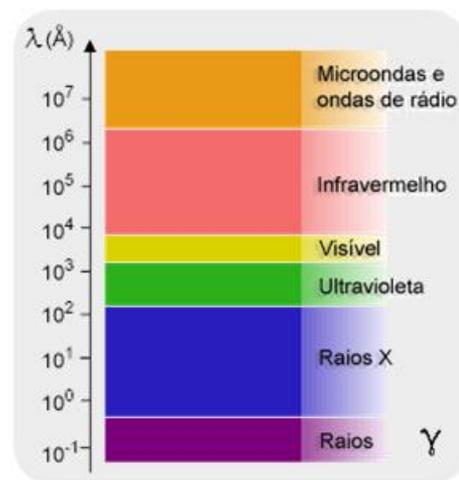
No ano de 1664 o físico, astrônomo Isaac Newton conseguiu decompor a luz branca - luz solar - pela primeira vez, através de um prisma, projetando essa luz decomposta em uma tela, a imagem apresentada foi uma sequência de cores que a chamou de espectro, Figura 1. em 1800 o astrônomo William Hershel repetiu na experiência de Newton com a curiosidade de saber qual cor específica causaria maior aquecimento, nos seus experimentos ele percebeu que o termômetro indicava maior aquecimento na região do vermelho e à medida que essa região ficava escura o aquecimento aumentava, daí surgiu o nome infravermelho. Essa radiação tem um comprimento de onda ligeiramente mais longa que a luz branca e ela está entre  $1 \mu\text{m}$  e  $1000 \mu\text{m}$  situada entre a luz vermelha e as micro-ondas. Figura 2.

Figura 1 – Decomposição da luz Branca.



Fonte: Disponível em:  
<https://www.horizontedacena.com/>.  
 Acesso em: 03 nov. 2019.

Figura 2 - Espectro da Luz.



Fonte: Disponível em:  
<https://colchoesmagneticos.wordpress.com/category/infravermelho-longo/>.  
 Acesso em: 03 nov. 2019.

### 2.2 IRRADIAÇÃO

Quando a radiação incide em uma superfície real, parte dessa radiação é absorvida e parte dessa radiação é transmitida através do corpo, a soma dessas quantidades deve ser igual à radiação total, então irradiação é a taxa de radiação que atinge uma superfície. A radiação infravermelha não é visível ao olho humano, mas podemos percebê-la devido as suas propriedades de aquecimento. Todos os objetos

emitem radiação infravermelha numa temperatura acima do zero absoluto ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), essa radiação emitida depende de dois fatores, a temperatura de objeto e a capacidade do objeto emitir radiação. A quantidade de radiação incidente que é absorvida, refletida ou transmitida é expressa como uma fração de energia total incidente na superfície, e definem-se as seguintes quantias.

- Absorvidade: É a fração da radiação total incidente que é absorvida pela superfície.
- Emissividade: a quantidade total de energia irradiada pela superfície de um corpo negro e a radiação monocromática emitida pela superfície.

### 2.3 CORPO NEGRO

Um sistema capaz de absorver toda a radiação térmica que incide sobre ele é chamado de corpo negro, nenhuma parte da radiação é refletida ou transmitida. Em um estado de equilíbrio térmico, as taxas de emissão e absorção de energias de um corpo são iguais, dessa forma, se a absorvidade de um sistema é 100% - absorve toda a radiação incidente nele independentemente do comprimento de onda – a sua emissividade também será de 100%, assim, o corpo negro além de ter uma absorvidade ideal, ele também é um emissor ideal, pois sua absorvidade e emissividade são iguais. O estudo do corpo negro foi de muita valia para determinar e desenvolver as teorias de quantização das energias do comportamento do universo.

### 2.4 LEI DE RAYLEIGH-JEANS

Dois pesquisadores Lord Rayleigh e James Jeans, desenvolveram uma teoria na tentativa de explicar os fenômenos experimentais relativos ao corpo negro. Em 1900, Reyleigh conseguiu pela primeira vez obter o quarto grau da dependência do comprimento de onda, através de uma derivação matemática mais completa incluindo uma constante de proporcionalidade, e em 1905 Reyleigh e Jeans agregaram umas medidas experimentais para os comprimentos de onda, mas estas tendiam a produzir uma energia com tendência ao infinito e o comprimento de onda se tornava cada vez menor, assim, essa teoria não se sustentou e ficou conhecida como – catástrofe ultravioleta -, apesar desse desapontamento, esse estudo serviu como incentivo para o desenvolvimento da teoria quântica. A lei atende nas medições experimentais para

os grandes comprimentos de onda, mas discorda para comprimentos de onda pequenos.

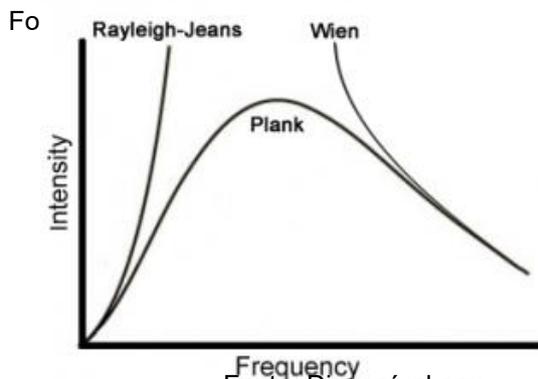
## 2.5 LEI DO DESLOCAMENTO DE WIEN

Wilhelm Wien foi um físico alemão que conseguiu calcular em temperaturas diferentes, suas máximas radiações emitidas pelo corpo negro, conseguindo determinar o comprimento de onda emitido. A intensidade de energia que o corpo negro irradia depende do comprimento de onda e da temperatura que essa energia é emitida, então, à medida que a temperatura aumenta, a quantidade de energia na sua intensidade máxima vai se deslocando para comprimento de ondas menores. Em 1893 Wien demonstrou que o comprimento de onda máximo é inversamente proporcional a temperatura de um corpo, surgindo a Lei de Wien.

## 2.6 LEI DE PLANCK

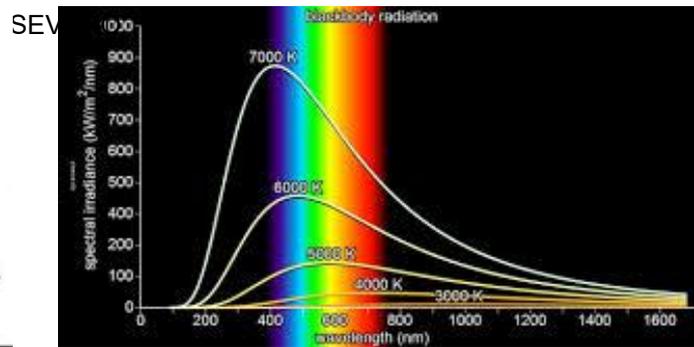
Max Plank foi um físico alemão conhecido como o pai de física quântica, ele buscou sanar dois problemas nos cálculos da radiância espectral que a física clássica não conseguia resolver, ele considerou que a possibilidade de distribuição de energia eletromagnética sobre os diferentes modos de oscilação de carga na matéria fossem limitadas a múltiplos inteiros da energia fundamental, proporcional a frequência de oscilação. Plank assumiu essa quantização cinco anos depois que Albert Einstein sugeriu a existência de fótons como meio de explicar o efeito fotoelétrico. Plank acreditava que a quantização se aplicava apenas em pequenas oscilações em paredes com cavidades e não assumindo as propriedades de propagação da luz em pacotes discretos de energia. Além disso Plank não atribuiu nenhum significado físico a esta suposição, mas não acreditava que fosse apenas um resultado matemático que possibilitou uma expressão para o espectro emitido pelo corpo negro a partir de dados experimentais dos comprimentos de onda. Dessa forma, Plank resolveu o problema da catástrofe ultravioleta. É importante observar que para a região visível a fórmula de Plank pode ser aplicada pela aproximação de Wien, e da mesma forma para temperaturas maiores e menores de comprimento de onda também podemos ter a aproximação dada por Rayleigh e Jeans. Na figura 4 mostra as curvas da radiação do corpo negro.

Figura 3 - Gráfico das Radiações de Plank, Rayleigh-Jeans e Wien.



Fonte: Disponível em:  
<https://medium.com/@eltonwade/cap-%C3%ADtulo-1-o-corpo-negro>.  
 Acesso em: 05 nov. 2019.

Figura 4 - Gráfico da Radiação do corpo Negro.



## 2.7 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os ensaios não destrutivos são procedimentos técnicos praticados a equipamentos ou a algum tipo de material de forma que suas propriedades e características não sofram alterações físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, são baseados na aplicação dos fenômenos físicos como ondas eletromagnéticas, elasticidade, acústica, permitindo uma análise da condição de funcionamento de um determinado sistema.

## 2.8 TERMOVISOR

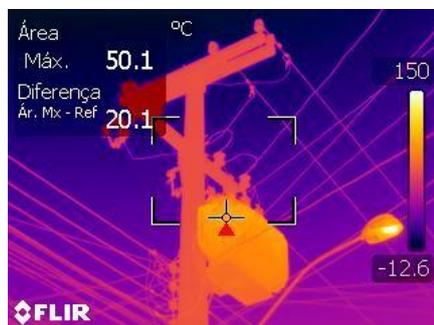
Equipamento usado para visualizar e medir a temperatura de radiação infravermelha em qualquer corpo que esteja dentro do seu ranger de leitura, ele visualiza o espectro do objeto e aponta o ponto de maior ou de menor radiação, caso o operador queira medir temperaturas mais quentes ou mais frias. O equipamento usado neste estudo, é de fabricação da FLIR Figura 5. de modelo T440, realiza imageamento multiespectral dinâmico, permitindo a formação de imagens detalhadas. Nas figuras 06 e 07 mostram a comparação de uma foto com um termograma.

Figura 5 – Termovisor FLIR T440.



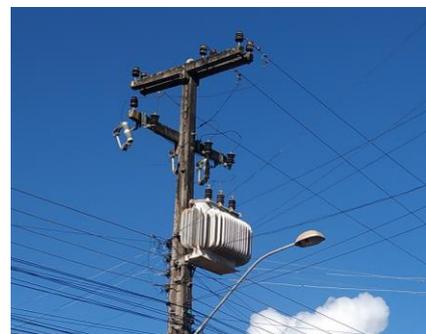
Fonte: Disponível em:  
<https://www.sermatecnet.com.br/produto-site/termovisores-flir>.  
 Acesso em: 25 ago. 2020.

Figura 6 – Termograma.



Fonte: O autor (2020).

Figura 7 – Transformador de Distribuição de Energia.



Fonte: O autor (2020).

## 2.9 ANALISADOR DE ENERGIA

Equipamento usado no sistema elétrico de baixa e média tensão nas redes de distribuição para analisar grandezas elétricas como tensão, corrente, potência, impedância, fator de potência, seus dados serviram para diagnosticar os parâmetros da área em que foi instalado, determinando o tipo de problema que está afetando os consumidores daquela região. Esse analisador é do fabricante PowerNet PQA – 700 Figura 8, que fornece relatórios detalhados necessários para este estudo.

Figura 8 – Analisador PowerNet PQA – 700.



Fonte: Disponível em: <http://ims.ind.br/produto-detalle/powernet-pqa-700>.  
 Acesso em: 25 ago. 2019.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ENSAIOS TERMOGRÁFICOS

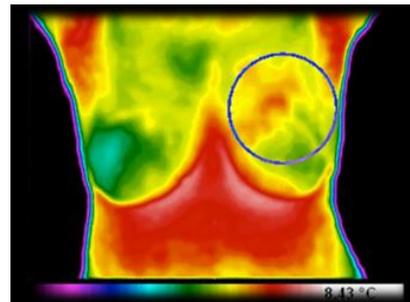
Termografia é um tipo de ensaio não destrutivo que consegue medir a temperatura de um corpo formando uma imagem térmica (termograma), o termovisor é o equipamento capaz de processar a radiação infravermelha naturalmente emitida pelos corpos para a medição de temperatura. Esse tipo de ensaio tem vasta aplicação, como exemplos na indústria para verificar a integridade dos equipamentos Figura 9, na medicina para detecção de tumores e outras patologias Figura 10, na construção para verificar fissuras, infiltração Figura 11, entre outras. Neste trabalho esse equipamento foi usado em equipamentos da rede elétrica de distribuição.

Figura 9 – Termografia em motores.



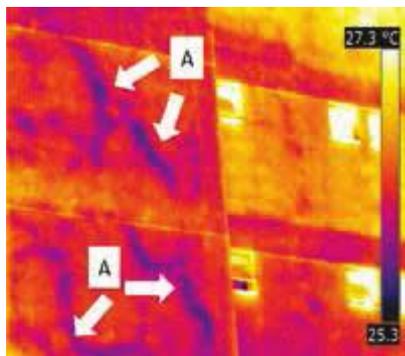
Fonte: Disponível em:  
<http://instrutemp.blogspot.com/2017/11/importancia-da-termografia-para.html>.  
 Acesso em: 25 maio 2020.

Figura 10 – Termografia em corpo humano.



Fonte: Disponível em:  
<https://www.osetoreletrico.com.br/6-usos-improvaveis-de-um-termovisor/>.  
 Acesso em: 25 maio 2020.

Figura 11 – Termografia em estrutura de concreto.



Fonte: Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/profile/Elton\\_Bauer/publication/282119247](https://www.researchgate.net/profile/Elton_Bauer/publication/282119247). Acesso em: 08 jul. 2020.

### 3.2 TRANSFORMADORES DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Transformadores são equipamentos que modifica os níveis de tensão e corrente elétrica mantendo a sua potência, seu funcionamento é baseado na criação de uma corrente elétrica através de um campo magnético variável, O físico e químico Michael Faraday foi o primeiro a formular a Lei da Indução Magnética, que diz que quando há uma variação de fluxo magnético através de um circuito elétrico surgirá nesse circuito uma força induzida, chamada de Força Eletromotriz.

Os transformadores de distribuição são encontrados nos postes de distribuição de energia elétrica e nas entradas de força em média tensão em estabelecimentos de maiores consumo de energia, são de alta potência e projetados para ter alta eficiência, de modo a minimizar o desperdício de energia e o calor gerado. Sua refrigeração é realizada através da troca de calor do óleo isolante, que circula em seu núcleo dentro de um tanque metálica com grande área de contato com o ar exterior. Seu núcleo também é formado de chapas de aço e enrolamentos de fios de cobre, podendo ser monofásico, bifásico ou trifásico. São transformadores que rebaixam a tensão de uma rede de distribuição de média tensão ao nível de utilização do consumidor final. Na nossa região os níveis de média tensão são de 13,8 KV trifásico, e em baixa tensão de 380 V trifásico e 220 V monofásico.

Figura 12 – Transformador de potência de Distribuição.

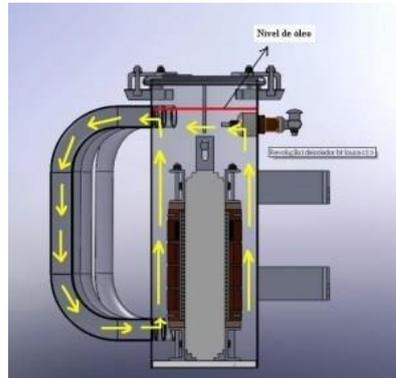


Fonte: Disponível em:  
<https://www.infoescola.com/electricidade/transformadores/>  
Acesso em: 08 nov. 2019.

Os transformadores geram calor devido à paisagem de corrente elétrica nos seus condutores interno, sendo necessário um isolante e um material refrigerador para o seu bom funcionamento, dessa forma as partes internas da maioria dos transformadores são imersos em óleo, assim o óleo tem essas duas funções a de refrigeração e a de isolamento elétrico. Esse óleo deve ter uma boa condutividade

térmica que permita uma boa circulação da fonte de calor para o meio externo, também tem que ter uma boa rigidez dielétrica que tem como objetivo resistir aos impactos elétricos internos.

Figura 13 – Vista Interna do Transformador de potência de Distribuição.



Fonte: Disponível em:

<http://datalink.srv.br/artigos-tecnicos/funcoes-do-oleo-isolante-para-transformador/>  
Acesso em: 08 nov. 2019.

A vida útil desses equipamentos está diretamente ligado ao calor em que é submetido, com o aumento de temperatura interna o papel isolante desencadeia uma reação química que gera água e gás carbônico, destruindo o isolamento elétrico do transformador levando a sua queima.

Os transformadores de potência são fabricados de acordo com algumas características de funcionamento como suas perdas, potência e custos de fabricação, dessa forma eles são fabricados para serem utilizados usando a máxima eficiência utilizando uma faixa de carregamento econômico.

Tabela 1 - Faixa de carregamento mais econômico de transformadores.

Potência [kVA]	Carregamento [kVA]
15	Até 20,5 kVA
30	20,5 – 35,5 kVA
45	35,5 – 60 kVA
75	60 – 96 kVA
112,5	Acima de 96 kVA

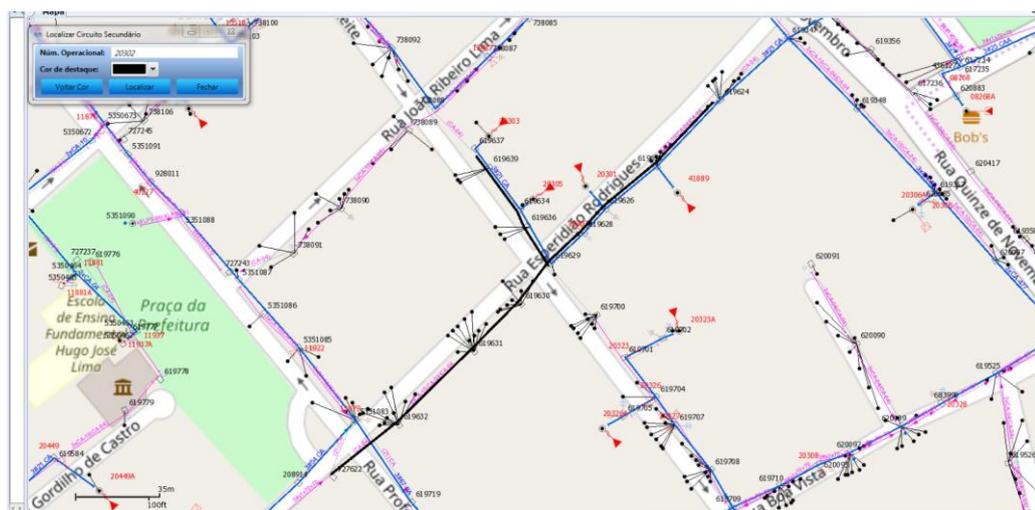
Fonte: O autor (2020).

Em uma rede de distribuição os transformadores são instalados de acordo com a demanda de consumo da área, esse consumo depende da quantidade de pessoas

a serem atendidas, dependendo do tipo de consumidor essa demanda pode ser maior ou menor. Nessa instalação é necessário levar em consideração o horário de ponta - horário de máximo carregamento dos transformadores- que se for uma área comercial o horário de ponta será entre as 11h00min h e as 15h00min h, já em uma área residencial o horário de ponta será das 18h00min h as 21h00min h; dessa maneira os transformadores devem ser instalados de acordo com a potência de carregamento vista na tabela 1, maximizando economicamente sua compra para a concessionária de energia.

Na Figura 14 temos um exemplo de uma área comercial onde um transformador de distribuição atende, no Centro de Arapiraca, onde seu carregamento está a 161%, sendo necessário fazer uma divisão de área, podendo ser instalado outro transformador ou dividir as cargas desse transformador com outro, se isso for possível.

Figura 14 – Área do transformador de potência de Distribuição.



Fonte: O autor (2020).

A metodologia deste trabalho foi feita em duas etapas, a primeira foi realizada coletando informações de alguns transformadores que estavam em sobrecarga, dados retirados dos resultados dos equipamentos analisadores de energia que estavam instalados nos transformadores, esses dados foram tratados e serviram de referência para comparar o percentual de carregamento dos transformadores e a temperatura que iria ser medida. A segunda etapa se deu com a visita em campo, com o auxílio do equipamento de termovisão para realizar as leituras de temperaturas dos transformadores, vale observar que as leituras foram realizadas nos horários de pico entre 18h00min e 19h00min horas, para tentar obter a maior temperatura dos mesmos.

Esse ensaio consistiu em checar os transformadores com prováveis sobrecargas que já tinham sido mapeados.

O procedimento foi chegar ao local, ligar o termovisor, efetuar a calibração do equipamento e realizar a leitura térmica do transformador, após a leitura os dados foram registrados em uma planilha para serem compilados para os resultados do estudo.

#### 4 COLETA DE DADOS

Os dados coletados foram organizados em uma tabela onde mostra a porcentagem de carregamento dos transformadores e a leitura de temperatura em °C do tanque do transformador. Os dados obtidos estão relacionados na tabela 02 abaixo.

Tabela 2 - Dados coletados.

Transformador	Temperatura (°C)	Carregamento (%)
1	30	< 100%
2	30,9	< 100%
3	33,7	< 100%
4	34,5	< 100%
5	34,9	< 100%
6	35,1	< 100%
7	35,6	< 100%
8	38,2	<=100%
9	38,8	<=100%
10	46,9	103%
11	42,9	111%
12	41,6	113%
13	42,5	135%
14	50,3	152%
15	53,5	158%
16	84,4	161%
17	50,1	179%

Fonte: O autor (2020).

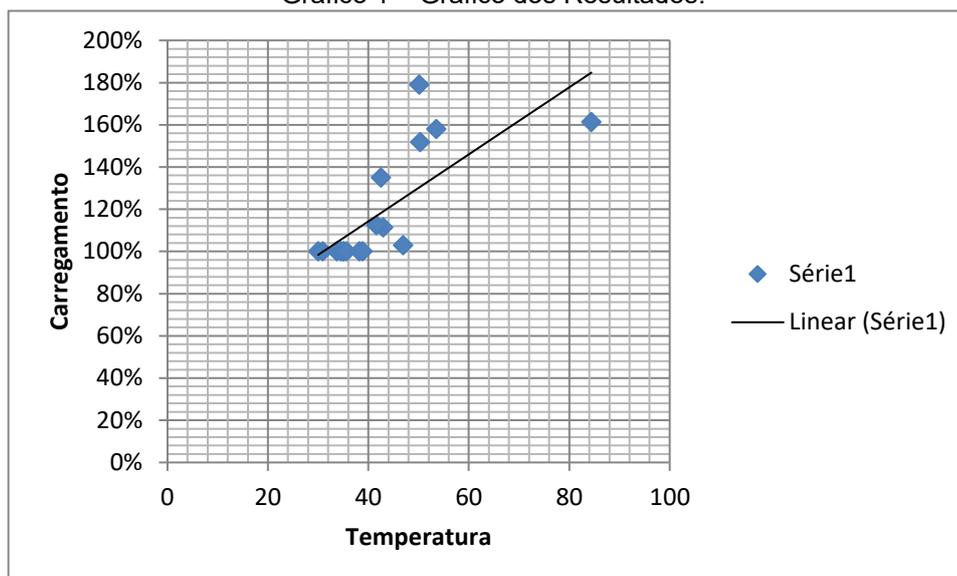
## 5 RESULTADOS

Observamos que transformadores menor ou igual a 100% do seu carregamento trabalham numa faixa de temperatura média próxima a 38°C, que é a temperatura normal de trabalho, quando essa porcentagem de carregamento ultrapassa os 100%, a temperatura começa a se elevar, como era de se esperar, porém o objetivo do estudo é determinar qual temperatura podemos considerar que o transformador está em sobrecarga, para isso temos que levar em conta algumas considerações.

Como vimos na tabela 1, os transformadores comerciais possuem uma determinada potência onde nos horários de picos eles podem suportar uma determinada sobrecarga, um transformador de 75 KVA pode trabalhar até 96 KVA de potência, ou seja, 28% a mais da sua carga nominal, isso em curto período, cerca de três horas de funcionamento, nos horários de pico; portanto a temperatura que indicaria um possível sobrecarga medida pelo termovisor do tanque de um transformador seria na faixa de 52°C que equivaleria a 130% de carregamento. Outro fator seria os fabricantes dos transformadores, fato que não foi considerado neste estudo, pois os diferentes tipos de marcas fabricam modelos diferentes e tanques diferentes, que por sua vez pode influenciar na leitura de temperatura devido ao maior ou menor volume de óleo, ou a quantidade de radiadores que varia de um fabricante para outro. Também foram observadas que algumas leituras não foram obtidas de forma esperada isso devido ao sistema ser dinâmico e poder haver modificações de forma diária as cargas dos consumidores, um exemplo é um consumidor que não está em casa no horário da leitura, diminuindo dessa forma o carregamento do transformador e conseqüentemente a temperatura do tanque do transformador.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, com a norma NBR 5416/1997 e a NBR 5440/1999 limitam os valores das temperaturas no topo do óleo que é de 95°C e no núcleo do transformador que é de 105°C, valores esses que determinam o funcionamento nominal de um transformador de distribuição, valores acima de 130°C no núcleo do transformador ou 150% de carregamento iniciam reações de oxidação do óleo isolante podendo ocasionar avarias no equipamento. Com base nessas informações, e pelos dados obtidos podemos também determinar o limite máximo de temperatura que o transformador de distribuição poderia operar sem queimar, porém com uma vida útil reduzida, que seria a uma de temperatura limite de 60°C em seu tanque. Abaixo gráfico dos resultados.

Gráfico 1 – Gráfico dos Resultados.



Fonte: O autor (2020).

O gráfico mostra os resultados dados coletados e distribuídos de acordo com a porcentagem do carregamento e a temperatura, ele mostra uma linha de tendência com relação ao aumento de temperatura e ao carregamento dos transformadores. Podemos observar de acordo com a tabela 02 que os transformadores que não estão em sobrecarga suas temperaturas estão abaixo de 40°C, assim como também pode ser observado que os transformadores que estão acima de 100% de carregamento a temperatura dos tanques dos transformadores já começam a passar de 40°C. Vale observar que esses transformadores que estão abaixo de 100% de carregamento não foi possível coletar dados do seu real carregamento, por não se usar o analisador em transformadores abaixo de 100% de carregamento, dessa forma esses transformadores de 1 a 9 podem ter uma variação entre 50% a 100% do seu carregamento, porém para este estudo esses dados não são relevantes, pois a ideia é fazer o mapeamento das temperaturas dos transformadores em sobrecarga.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo determinar um valor de temperatura medida no tanque de transformadores de distribuição para indicação de sobrecarga deste equipamento, isso veio na intenção de otimizar custos da empresa, diminuindo a quantidade idas de turmas de inspeção, diminuindo o tempo de resposta aos consumidores, agilizando a programação das equipes de manutenção para solucionar o problema.

Vimos que através de pesquisas de relatórios e pesquisa de campo, conseguimos coletar dados para determinar a temperatura inicial, levando em consideração que a máxima capacidade de trabalho de um transformador de distribuição é de 100% em horário fora do pico e 130% do seu carregamento em horário de pico, isso equivale a uma leitura de temperatura em seu tanque de 40°C horário fora de pico e 52°C horário de pico. Da mesma forma ocorre com a temperatura limite de funcionamento do transformador sem que inicie o processo de oxidação do óleo isolante, que é de 150% de carregamento, para essa condição a temperatura medida no tanque do transformador é de 60°C. Vale salientar que nessa condição de funcionamento do transformador acima 150% de carregamento sua vida útil será diminuída. Em termos de temperatura concluímos que valores acima de 40°C medidos nos tanques dos transformadores de distribuição em horários fora de pico e valores acima de 52°C no horário de pico, já indicariam uma provável sobrecarga.

## REFERÊNCIAS

- BAUER, Elton; PAVÓN. Elier, Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construções**, p. 93-98, set. 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Elton\\_Bauer/publication/282119247](https://www.researchgate.net/profile/Elton_Bauer/publication/282119247). Acesso em: 08 jul. 2020.
- BRUM, Bruno. Transformadores. **InfoEscola**. [20--]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/electricidade/transformadores/>. Acesso em: 03 nov. 2019.
- DATALINK: ENGENHARIA ELÉTRICA. **Funções do óleo isolante do transformador de distribuição**. Curitiba, PR: Datalink: Engenharia Elétrica, [201-]. Disponível em <http://datalink.srv.br/artigos-tecnicos/funcoes-do-oleo-isolante-para-transformador/>. Acesso em: 08 nov. 2019.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- INSTRUTEMP: INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO. **A importância da termografia para a manutenção preditiva**. São Paulo: Instrutemp: Instrumento de Medição, 2018. Disponível em: <http://instrutemp.blogspot.com/2017/11/importancia-da-termografia-para.html>. Acesso em: 19 abr. 2020.
- KELLER, F. J.; GETTYS, W. E.; SKOVE, M. J. **Física**. São Paulo: Makron Books, 2004.
- LEI DE PLANCK. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. São Francisco: Fundação Wikipédia, 18 ago. 2019. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Planck](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Planck), Acesso em: 05 nov. 2020.
- LEI DE RAYLEIGH-JEANS. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. São Francisco: Fundação Wikipédia, 25 jul. 2019. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Rayleigh-Jeans](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Rayleigh-Jeans). Acesso em: 03 nov. 2019.
- RUBIM, Carlos. 6 usos prováveis de um termovisor. **O setor elétrico**, nov. 2019. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/6-usos-improvaveis-de-um-termovisor/>. Acesso em: 25 maio 2020.
- SEVERO, José Helder. **Radiação de corpo negro**. [20--]. 24 slides. Disponível em: [http://fap.if.usp.br/~JHSEVERO/radiacao\\_corpo\\_negro.pdf](http://fap.if.usp.br/~JHSEVERO/radiacao_corpo_negro.pdf). Acesso em: 08 jul. 2020.