

**CLEBERTON LONDERO CEZAR**

**SISTEMA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL  
UTILIZANDO TERMOGRAFIA:  
APLICAÇÃO NA USINA TERMELÉTRICA DA CAAL – ALEGRETE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista do curso de Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal do Pampa da Faculdade.

Orientador: José Wagner Kaehler




**ALEGRETE  
2012**



**Autoria:** Cleberton Londero Cezar

**Título:** Sistema de gestão da manutenção industrial utilizando termografia: aplicação na usina termelétrica da CAAL - Alegrete.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete.

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1	José Wagner Maciel Kaehler	DOCTOR		UNIPAMPA
2	Diego Berlezi Ramos	Dr		Unipampa
3	Luciano Lopes Pfitscher	Me		UNIPAMPA

**Data da aprovação:** 28 de junho de 2012.

*Dedico este trabalho a toda minha família,  
especialmente aos meus pais: Adão e Neli.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Em primeiro lugar, agradeço a Deus por tudo que tem feito por mim.*

*A toda minha família, que sempre acreditou em mim e sempre me deu apoio no decorrer do meu percurso acadêmico.*

*A todos os professores e funcionários da Unipampa, que me deram todo apoio e conhecimento para realização deste sonho.*

*Ao Prof. José Wagner Maciel Kaehler, pela atenção e dedicação no auxílio da elaboração deste trabalho.*

*Ao Prof. Diego Berlezi Ramos, que por algumas vezes precisou deixar o que estava fazendo para me acompanhar nas inspeções termográficas.*

*A toda equipe e funcionários da Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda., pelo que me proporcionou e porque abriu as portas para eu realizar este trabalho.*

*À Professora e amiga Letícia Andrade, que me ajudou desde o início da minha graduação, o meu muito obrigado por tudo.*

*E o meu muito obrigado aos demais amigos e familiares, que sempre me incentivaram e me ajudaram com palavras amigas.*

*Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar.*

*Anatole France*

## RESUMO

A termografia é umas das técnicas mais avançadas em estudo preditivo não destrutivo, as inspeções são realizadas sem contato com o equipamento, pois não há necessidade deles serem desligados e a inspeção é feita com o equipamento em funcionamento.

O estudo preditivo busca prever uma falha antes que esta aconteça isto por que, através de rotinas, podem-se analisar imagens e prever o tempo que será necessário para a troca ou a manutenção do equipamento que está sendo inspecionado.

Este trabalho tem com foco de aplicação a Usina Termelétrica à casca de arroz da Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda., onde se procurou analisar as imagens térmicas dos painéis elétricos e motores principais da usina, através de um estudo térmico usando termovisores, com vistas a melhorar o desempenho dos mesmos.

Foi criada uma formatação para realização de um estudo para a criação de um banco de imagens e um banco de dados no Excel, para dar um maior suporte e agilidade na hora de analisar as imagens e para confecção dos relatórios da inspeção termográfica.

Palavras-chave: usina, energia, termografia, preditiva, manutenção.

## **ABSTRACT**

Thermography is one of the most advanced techniques in a predictive study of non-destructive because the inspections are carried out without contact with the equipment. So, there is no need for them to be turned off and the inspection is done with the equipment running.

The study seeks to provide a predictive failure before it happens it that, through routines, one can analyze images and predict the time it will take for the replacement or maintenance of the equipment being inspected.

This work has focused application to the thermoelectric plant of the rice husk Alegrete Cooperativa Agroindustrial Ltda, where he sought to analyze the thermal images of electrical panels and main engines of the plant, through a study using thermal imagers, in order to improve their performance.

It was all created a format for a study to create an image database and a technical database in Excel, to give greater support and flexibility in time to analyze the images and for making the thermographic inspection reports.

**Keywords:** Plant, Energy, thermography, predictive, maintenance.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Conhecimentos necessários para uma boa análise termográfica. ....	16
Figura 2-Diagrama da manutenção preditiva .....	21
Figura 3-Experimento realizado por Herschel.....	23
Figura 4-(a) AGA década de 50 uso militar, (b) AGA 680 década de 60, (c) Agema 470, década de 90, (d) Agema 550 década de 90 e (e) P20 infrared câmera década Atual. ....	23
Figura 5-Representação gráfica das radiações, absorvidas ( $\lambda G$ ), refletidas ( $\sigma G$ ) e transmitida ( $\rho G$ ).....	27
Figura 6-Emitância radiante espectral de três tipos de radiadores.....	29
Figura 7-Emissividade espectral de três tipos de radiadores.....	29
Figura 8-Radiação incidindo em uma superfície de pouca emissividade. ....	30
Figura 9-Espectro eletromagnético. ....	31
Figura 10-Imagem térmica. ....	33
Figura 11-Termovisores de alto desempenho Thermacam T400, UNIPAMPA – Campus Alegrete. ....	34
Figura 12-Termovisores de alto desempenho Thermacam® e320, UNIPAMPA – Campus Alegrete. ....	34
Figura 13-Curvas de resposta para diferentes tipos de filtros. ....	36
Figura 14-Campo de Visão (FOV) .....	37
Figura 15-Representação do FOV e IFOV.....	38
Figura 16-Imagem da planilha de cálculos no Excel da Resolução Espacial.....	39
Figura 17-Planilha de cálculos resolução.....	40
Figura 18-Fluxograma de tomadas de decisões.....	41
Figura 19-Tabela de cálculos fatores de correções.....	44
Figura 20-Tabela de cálculos no Excel para método comparativo.....	46
Figura 21-Ciclo PDCA.....	49
Figura 22- Divisão de pasta motores.....	51

Figura 23-Divisão dos painéis e cubículos .....	52
Figura 24-Programa ThermoCam QuickReport .....	53
Figura 25-Diagrama banco de dados no Excel. ....	54
Figura 26-Tela principal.....	55
Figura 27- Tela motores .....	56
Figura 28- Tela motores importantes .....	56
Figura 29- Relatório padrão de cada objeto .....	57
Figura 30-Tela painéis e cubículo.....	58
Figura 31-Tela planilha cálculos.....	59
Figura 32- Tela relatórios .....	60
Figura 33-Relatório em campo para os painéis e cubículo.....	61
Figura 34-Relatório em campo para motores. ....	62
Figura 35-Relatório pós-campo, para os painéis e cubículo.....	63
Figura 36-Relatório pós-campo, para motores. ....	64
Figura 37-Foto do motor inspecionado (motor do ar secundário). ....	65
Figura 38-Imagem térmica do motor inspecionado (motor do ar secundário). ....	66
Figura 39-Parâmetros aplicados pelo método FET.....	67
Figura 40- Parâmetros aplicados pelo método Comparativo .....	67
Figura 41-Motor MTI-005.....	68
Figura 42-Eixo antes da limpeza e lubrificação.....	69
Figura 43- Rolamentos que serão trocados pelos novos. ....	69
Figura 44- Aquecedor indutivo.....	70
Figura 45-Rolamento novo colocado no eixo.....	70
Figura 46- Parâmetros aplicados após ação corretiva, método FET.....	71
Figura 47- Imagem térmica do motor MTI-005, após a manutenção corretiva. ....	72
Figura 48-Foto da contatora WEG CWM9 do PSC-016.....	73

Figura 49-Imagem térmica da contatora do PSC-016.....	73
Figura 50- Parâmetros aplicados após ação corretiva, método comparativo. ....	74
Figura 50-Termovisor Flir i7, adquirido pela CAAL.....	75
Figura 51-Foto da CAAL na década de 70.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Subdivisão da radiação infravelha.....	32
Tabela 2-Fator de correção de velocidade do vento (FCVV).....	42
Tabela 3-Fator de correção de carga (FCC) .....	43
Tabela 4-Classificação e providências .....	44
Tabela 5-Tabela tomada de decisões.....	45
Tabela 6- Periodicidade.....	48
Tabela 7-Comparação entre dos dois métodos. ....	68
Tabela 8-Comparação entre antes e depois. ....	71

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAAL-Cooperativa Agroindustrial Alegrete LTDA;

CUB-Cubículo da Sala Quadros de Comandos;

FCC-Fator de Correção de Carga;

FCVV-Fator de correção de velocidade do vento;

FET-Fator de elevação de temperatura;

FOV-Campo de visão;

IFOV-Campo de visão instantâneo;

Im-Carga Medida;

In-Carga Nominal;

LP-Passa longo;

MIFOV-Campo de Visão Instantâneo de Medida;

MPI-Motores de Pouca Importância;

MTD-Demais motores;

MTI-Motores Importantes;

NBP-Estreito passa-banda;

PA-Passa-banda;

Pix-Números de pixels;

PSC-Painéis da Sala Quadros de Comandos;

PSO-Painéis da Sala Operação Usina;

SP-Passa curta;

Ta-Temperatura ambiente;

TFC-Temperatura final corrigida;

TFC-Temperatura final corrigida;

Tm-Temperatura medida;

Tr-Temperatura de referência;

## SUMÁRIO

ERRATA .....	2
AGRADECIMENTOS .....	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	13
SUMÁRIO.....	14
INTRODUÇÃO .....	16
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
1.1 Manutenção .....	19
1.1.1 Manutenção preventiva .....	19
1.1.2 Manutenção corretiva .....	19
1.1.3 Manutenção preditiva .....	20
1.2 O surgimento da termografia.....	22
1.3 Teorias aplicadas .....	23
1.3.1 Calor.....	24
1.3.2 Temperatura.....	24
1.3.3 Transferência de calor .....	24
1.3.3.1 Condução.....	24
1.3.3.2 Convecção .....	25
1.3.3.3 Radiação.....	26
1.3.3.3.1 Propriedade da radiação.....	26
1.3.3.3.1.1 Corpo negro .....	27
1.3.3.3.1.2 Corpo cinzento .....	27
1.3.3.3.1.3 Corpo normal.....	27
1.3.3.3.1.4 Absortividade, Refletividade e Transmissividade .....	27
1.3.3.3.1.5 Fatores geométricos .....	29
2 A TÉCNICA DE TERMOGRAFIA .....	31
2.1 Filtros.....	34
2.1.1 Adaptação espectral .....	35
2.1.2 Tipos de filtro.....	35
2.2 Resolução espacial.....	36
2.2.1 Campo de visão (FOV) e campo de visão instantâneo (IFOV) .....	37

2.2.2 Cálculos para verificar se a câmera suporta a resolução e a distância necessária do objeto para inspeção. ....	39
2.3 Condições para inspeções termográficas em painéis e motores elétricos.....	40
2.4 Pontos importantes a serem analisados nos painéis e motores elétricos.....	42
2.5 Fatores de correções.....	42
2.5.1 Fator de correção de velocidade do vento (FCVV).....	42
2.5.2 Temperatura final corrigida (TFC).....	43
2.5.3 Fator de elevação de temperatura (FET).....	43
2.6 Método comparativo.....	45
3 ROTINAS APLICADAS.....	47
3.1 Procedimentos para inspeção.....	47
4 RESULTADOS E PROCEDIMENTOS.....	50
4.1 Banco de dados.....	50
4.1.1 Legenda.....	50
4.1.2 Banco de imagens.....	51
4.1.3 Criação do banco de dados no Excel.....	53
4.1.3.1 Tela principal.....	54
4.1.3.2 Tela motores.....	55
4.1.3.3 Tela painéis e cubículo.....	58
4.1.3.4 Tela planilha de cálculos.....	58
4.1.3.5 Tela relatórios: inspeção em campo e relações pós-campo.....	60
4.2 Inspeção termográfica.....	64
4.2.1 Inspeção nos motores elétricos.....	65
4.2.2 Manutenção corretiva do motor.....	68
4.2.3 Inspeção nos painéis de comando.....	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXO A- RELAÇÃO DOS PAINÉIS DA SALA OPERAÇÃO USINA.....	80
ANEXO B- RELAÇÃO DOS PAINÉIS DA SALA QUADROS DE COMANDOS.....	81
ANEXO C- RELAÇÃO DOS CUBÍCULOS DA SALA QUADROS DE COMANDOS..	82
ANEXO D- RELAÇÃO DE MOTORES USINA TERMELÉTRICA CAAL.....	83
ANEXO E- HISTÓRICO.....	87
ANEXO F- HISTÓRICO DA USINA TÉRMICA DA COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL ALEGRETE LTDA.....	88

## INTRODUÇÃO

A utilização das técnicas de termografia para diagnósticos são bastante amplas. Os estudos da termografia são aplicados em varias áreas. Destaca-se, particularmente, o seu uso no segmento industrial na detecção de defeitos. Uma maneira de investigar o mau funcionamento de equipamentos é através do perfil de temperaturas deles. Neles as radiações infravermelhas, que são invisíveis a olho nu, tornam-se visíveis com ajuda de equipamentos específicos que fazem esta transformação e medição.

Baseado nos estudos do perfil de temperaturas será feita uma análise das imagens térmicas dos painéis de comando e motores, buscando avaliar o desempenho dos equipamentos e a correção destes, fundamentando todas as informações, relatórios, imagens térmicas e fotos dos equipamentos na criação de um banco de dados, buscando uma maior organização.

Para elaboração deste trabalho, é necessário ter conhecimento nas áreas que são representadas pela Figura 1.

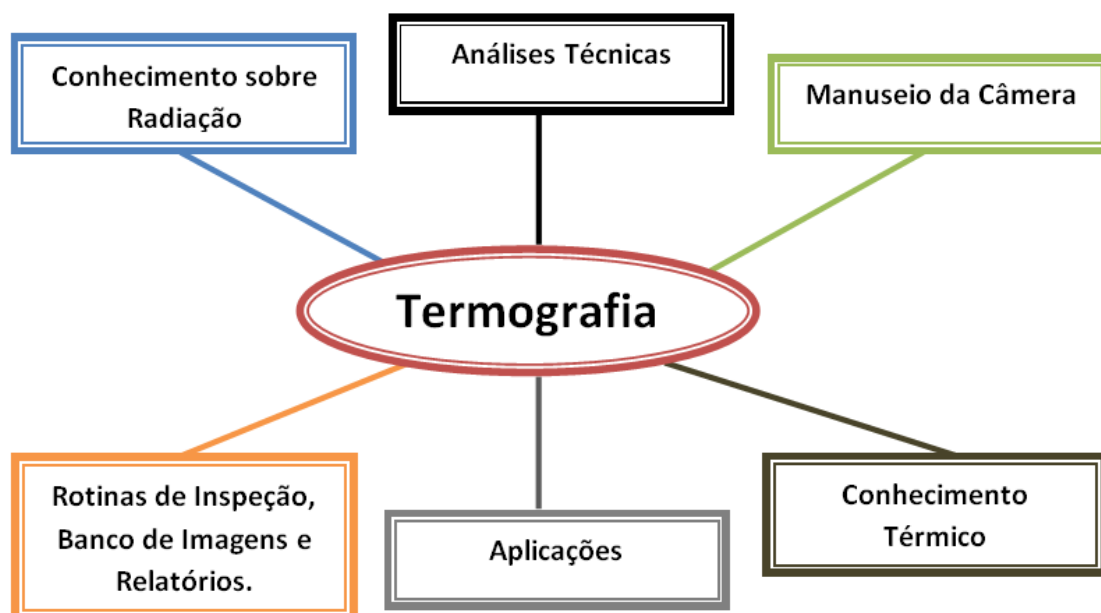


Figura 1-Conhecimentos necessários para uma boa análise termográfica.



## JUSTIFICATIVA

Vivemos em uma época em que o tempo representa dinheiro. Seguindo esta linha de pensamento, percebe-se a necessidade de buscar novas técnicas de manutenção que viabilizem uma diminuição nos custos com paradas não planejadas. Pode-se citar o exemplo de um caminhoneiro que precisa entregar uma carga em determinada região e tem um percurso a percorrer, porém, ele desconhece a região. Certamente como um bom caminhoneiro, ele vai verificar em um mapa a localidade, vai buscar informações com os outros caminhoneiros sobre o trajeto, a fim de prever como é o caminho a ser percorrido, com isso, evitando prejuízos. Através desse exemplo, a empresa pode ser representada pelo caminhoneiro, a ideia de prever o caminho é a método de manutenção preditiva, e os mapas e buscas de informações representam a técnica de termografia. Tanto o caminhoneiro como a empresa, buscam prever as falhas, com a finalidade de poupar tempo e dinheiro.

O ponto fundamental para uso da termografia é como ela pode manter o controle e prever o número de falhas, com isso aumentando a possibilidade de planejar melhor as paradas para manutenção da usina nas épocas de pouca produção.

## OBJETIVOS

### **Objetivo Geral**

É aplicar técnica de manutenção através do uso de técnicas preditivas e aplicar esta técnica em painéis elétricos e motores na usina térmica da CAAL, com a criação de um banco de imagens e de dados para uso nas inspeções termográficas.

### **Objetivos Específicos**

- Criação de procedimentos e rotinas de inspeções térmicas;
- Criar um banco de imagens e de dados com referências, com todos os cálculos aplicados na termografia e a metodologia usada para análise da elaboração dos relatórios;

- Identificar anomalias (pontos quentes) que influenciem no aumento da temperatura destes componentes nos painéis elétricos e nos motores elétricos;
- Indicar atuações que auxiliem na diminuição destas temperaturas através de manutenções corretivas.

## **ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS**

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

Introdução: Apresentação do assunto, justificativa, objetivos e organização do trabalho.

Capítulo 1 – Revisão bibliográfica: fundamenta e descreve a teoria e metodologia utilizada na elaboração deste trabalho.

Capítulo 2 – A técnica de termografia: descreve toda a metodologia aplicada na utilização da termografia para manutenção preditiva.

Capítulo 3 – Rotinas aplicadas: demonstra algumas rotinas aplicadas para manutenção dos equipamentos.

Capítulo 4 – Resultados e procedimentos: apresenta os resultados das análises feitas nos equipamentos da usina e procedimentos aplicados em equipamentos que apresentaram a temperatura acima da faixa normal e algumas análises feitas para fins didáticos.

Considerações finais: foram analisados os resultados do trabalho e as contribuições deste.

Ao término do trabalho, encontram-se a bibliografia consultada e os anexos.

## **1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 Manutenção**

Neste tópico serão abordados os três principais tipos de manutenção: manutenção preventiva, manutenção corretiva e manutenção preditiva (NBR-5462, 1994).

A manutenção aplicada neste trabalho é a manutenção preditiva, que é uma técnica não destrutiva não intrusiva.

#### **1.1.1 Manutenção preventiva**

A manutenção preventiva é um conjunto de ações preventivas executadas em determinados intervalos de tempo, sendo que o ponto fundamental desta manutenção é agir com antecedência nas falhas dos equipamentos, a fim de prever a hora certa de agir.

Esta técnica consiste em fazer um programa regular de vistorias. Esta metodologia é conhecida por se basear no tempo, com isso, este método de manutenção tem o objetivo de manter o controle e o desempenho dos equipamentos em perfeito funcionamento, com o objetivo de possuir um equipamento que não falhe e que exija pouca manutenção corretiva.

Pontos fundamentais para elaborar uma boa manutenção preventiva são: organizar inspeções periódicas de partes específicas e medições de parâmetros do equipamento, reformas periódicas de partes do equipamento que se desgastam ao longo do tempo ou trocas destes. Para que estes pontos sejam bem aplicados deve ser elaborado um plano de manutenção preventiva (MORO, 2007).

#### **1.1.2 Manutenção corretiva**

Consiste na execução da manutenção não planejada. A intervenção somente ocorre quando o equipamento para de funcionar. Esta é conhecida como “Run To Failure” (RTF), que significa “operar até quebrar”.

A manutenção corretiva é a mais primitiva das manutenções, porém, quando existirem falhas, esta manutenção vai sempre existir. Sendo que esta manutenção é dividida em dois tipos, sendo eles (G. GIOVANE, 2010):

- Manutenção corretiva não planejada: é quando já ocorreu à falha ou a queda do desempenho do equipamento, sendo assim, não há uma preparação para executar a manutenção. Com isso, os gastos com manutenção são elevados, pois até descobrir o que levou a falha, leva tempo, e tempo é dinheiro.
- Manutenção corretiva planejada: é quando, já com o auxílio ou acompanhamento de outra técnica de manutenção, como por exemplo, manutenção preditiva, verifica-se a necessidade de fazer uma manutenção corretiva.

### **1.1.3 Manutenção preditiva**

Manutenção preditiva consiste em monitorar a evolução do estado do equipamento e atuar no momento mais adequado, através da sinalização de grandezas físicas em geral não intrusivas como: Imagem Termográfica, Vibrações, Imagem Sonora, Harmônicos Elétricos dentre outros.

A aplicação da Manutenção Preditiva é possível quando o objeto apresenta um desvio de padrão, que pode caracterizar uma falha.

Neste trabalho vai ser aplicada esta técnica, com o auxílio da termografia como ferramenta de acompanhamento.

A aplicação traz os seguintes benefícios: disponibilidade máxima das máquinas, planejamento da mão de obra, segurança operacional, qualidade, confiabilidade e redução dos custos da mão de obra.

A implantação deste método ocasiona uma grande melhoria nos equipamentos, pois com o auxílio da termografia, pode-se ter um monitoramento do equipamento em plena carga.

Alguns objetivos da manutenção preditiva:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção de um equipamento;
- Extinguir desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Reduzir as manutenções não planejadas;

- Evitar o aumento dos danos, e com isso, aumentar a vida útil dos componentes e de um equipamento;
- Determinar previamente as interrupções dos equipamentos que precisam de manutenção.

Para aplicar a manutenção preditiva exige-se a utilização de aparelhos adequados, capazes de registrar falhas (RIBEIRO, 2003).

Na Figura 2, pode-se ver o diagrama da manutenção preditiva, onde se observa o processo resumido de como aplicar este método de manutenção.

- Identificar a falha: isso é possível através do uso de equipamentos específicos, como por exemplo, o termovisor.
- Processo de especificação, que se divide em:
  - Planejamento: nesta parte encontra-se o processo de orçamento, programações de manutenções e o controle do processo de manutenção;
  - Programação preditiva: nesta parte encontra-se a programação referente às rotinas, vida útil do equipamento e a durabilidade do mesmo.

Procedimentos: neste tópico encontram-se todos os aqueles referentes à inspeção e a execução do mesmo, assim como todo o processo de fiscalização.

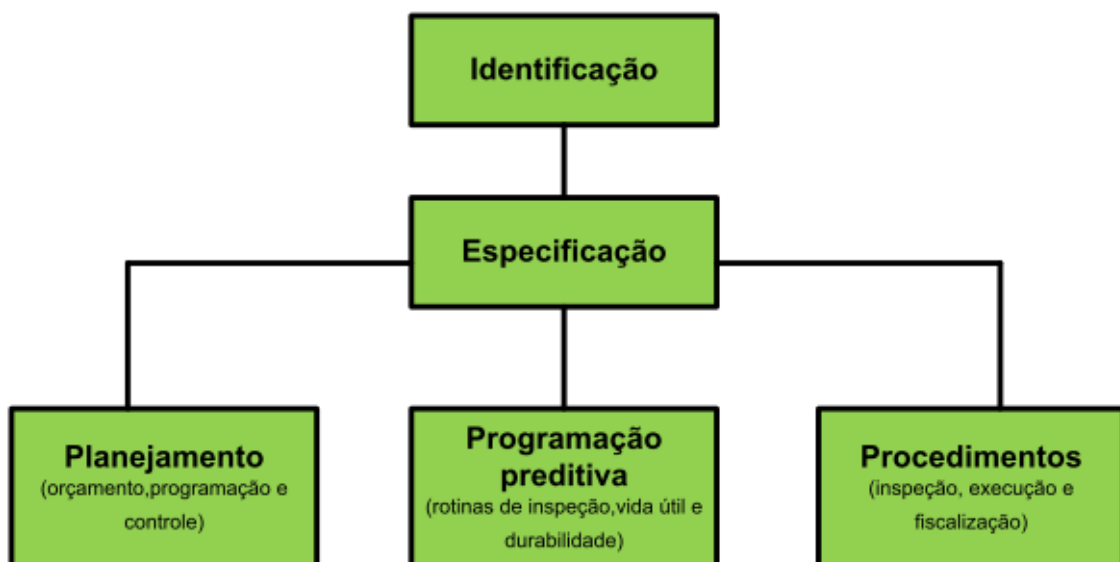


Figura 2-Diagrama da manutenção preditiva

## 1.2 O surgimento da termografia

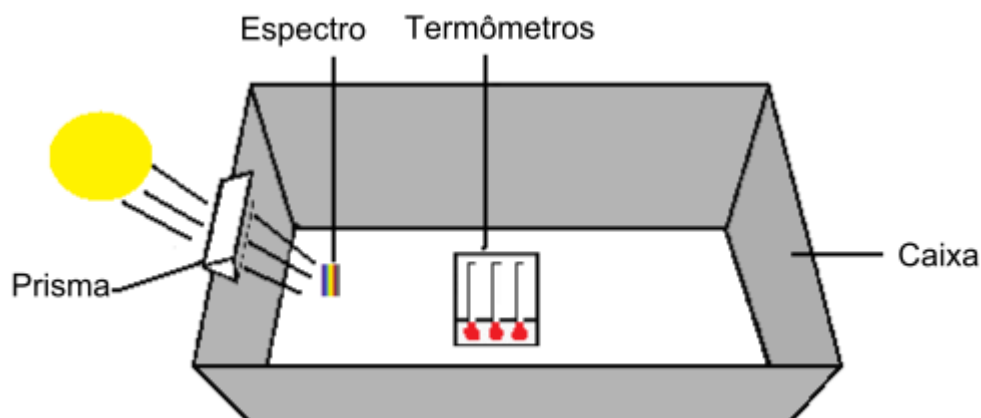
A utilização das técnicas de termografia para diagnóstico é bastante ampla. Na remota Grécia antiga já se tinha conhecimento sobre essa técnica, na qual filósofos e médicos gregos especulavam os meios pelos quais o calor se dissipava nos corpos. Assim, pode-se dizer que o início da termografia aconteceu nessa época (B. LEAL, ND).

O início da tecnologia infravermelha foi com o astrônomo alemão Sir Willian Herschel, em 1800, que realizou experiências com a luz solar, descobriu que a radiação infravermelha atravessava a luz solar por um prisma e colocou um termômetro nas várias cores onde pode medir a temperatura de cada cor (FLUKE & SNELL, 2009).

Após duas décadas, o físico alemão Thormas Seebeck expôs o efeito termoelétrico, sendo que em 1829, o físico italiano Leopoldo Nobili inventou o primeiro termopar, sensor de contato formado pela união de dois metais distintos baseando na teoria de Thomas Seebeck.

Em 1833, o Macedônio Melloni inventou o primeiro termopilha, (DOS SANTOS, 2006). Uma combinação de termomultiplicadores (aparelho de alta sensibilidade, utilizado em física para estudar o calor radiante) em série, e enfocou a radiação térmica sobre ela de forma que fosse possível detectar um determinado calor do corpo a uma distância de 9,1 metros (FLUKE & SNELL, 2009).

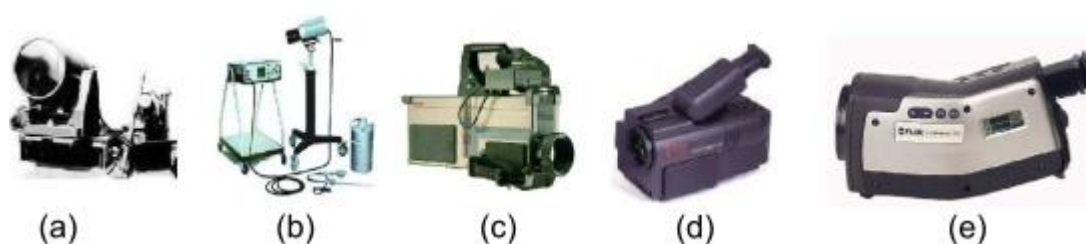
Em 1840, John Frederick William Hershel, filho de Sir William Hershel, realizou um experimento que se constituía de um prisma que projetava a luz do sol sobre um papel preto, muito fino, imerso em uma solução de tintura a álcool colorido. As ondas de luz absorvidas pelo papel produziam diferentes taxas de evaporação da solução de tintura, o que resultava em uma rudimentar imagem térmica estampada no papel, sendo esta a primeira imagem de infravermelho (DOS SANTOS, 2006). Na Figura 3 podemos ver a representação do experimento.



**Figura 3-Experimento realizado por Herschel.**

Entre 1916 a 1918, o inventor americano Theodore Case, praticou experiências com detectores de fotocondução, que consistiu em produzir um sinal através da interação direta com fótons em vez da geração de calor. Durante o período de 1940 a 1950 foi utilizado para aplicações militares e só na década de 60 foram produzidos os primeiros termovisores para serem usados em indústrias e para uso comercial.

A partir de 1970 houve um grande avanço na área, porém, voltados para aplicações militares. Um dos grandes avanços desta época foi o surgimento dos primeiros termovisores portáteis, os sistemas de geração de imagens térmicas eram muito confiáveis, mas a qualidade das imagens era péssima, comparada com as do início da década de 80 (FLUKE & SNELL, 2009). A Figura 4 mostra a evolução dos termovisores.



**Figura 4-(a) AGA década de 50 uso militar, (b) AGA 680 década de 60, (c) Agema 470, década de 90, (d) Agema 550 década de 90 e (e) P20 infrared câmera década Atual.**

### 1.3 Teorias aplicadas

Para desenvolver um bom trabalho na inspeção termográfica faz-se necessário ter conhecimento de alguns conceitos, tais como: calor, temperatura, transferência de calor e teorias da termometria.

### 1.3.1 Calor

É a transferência de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperatura. Essa energia se origina da agitação das moléculas das quais a matéria é formada e sua energia flui como calor de uma região de temperatura elevada para uma região de temperatura de nível baixo.

### 1.3.2 Temperatura

É a medida do grau de agitação molecular. Essa medida é um parâmetro físico associado às noções de frio e calor, bem como as permutações de energia térmica, mas que se poderia definir como a medida da energia cinética associada à vibração aleatória das partículas que compõem um dado sistema físico. Por esse motivo, são chamadas grandezas físicas termométricas.

Como a temperatura está associada ao movimento das moléculas, pode-se dizer que é a medida do nível energético das moléculas.

### 1.3.3 Transferência de calor

A transferência de calor pode ser determinada como a transferência de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperatura entre elas.

A transmissão de calor pode acontecer de três maneiras: condução, convecção e radiação. A termografia se utiliza do modo de transmissão de calor por radiação, com isso, permite que os instrumentos realizem medições de temperatura sem o contato direto com o componente.

#### 1.3.3.1 Condução

É o modo pelo qual o calor é transferido através de um meio material, de uma molécula (ou átomo) para outra. A principal característica da condução é a transferência de energia sem a simultânea transferência de matéria, ocorrendo, assim, predominantemente nos sólidos. A transferência por condução ocorre em qualquer situação, com diferentes temperaturas, a mesma pode ocorrer entre objetos de diferentes tamanhos, formatos e até mesmo, objetos que estejam dentro de outro.

Há materiais que são melhores condutores que outros, tendo uma maior condutibilidade térmica. De acordo com esta propriedade podemos classificá-los em condutores e isolantes.

Podemos calcular a taxa de transferência de calor por condução através da Equação (1).



$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k.A(T_1 - T_2)}{L} \quad (1)$$

Onde são,

$\frac{Q}{\Delta t}$  = Taxa de transferência (w ou J/s);

k= condutividade do material ( $J.s^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$ );

$\Delta T$ = Diferença de Temperatura (K);

L=Espessura da seção (m);

A=Área ( $m^2$ );

Os valores numéricos de k alteram em extensa faixa, e são sujeitos a uma composição química, estado físico e temperatura dos materiais.

### 1.3.3.2 Convecção

É a forma de transmissão do calor que ocorre principalmente nos fluidos (líquidos e gases). Diferentemente da condução onde o calor é transmitido de átomo a átomo sucessivamente. Na convecção, a propagação do calor se dá através do movimento do fluido envolvendo transporte de matéria.

O calor transferido por convecção pode ser conseguido através de uma aproximação pela Equação (2) de Isaac Newton:

$$\frac{Q}{\Delta t} = h.A(T_1 - T_2) \quad (2)$$

Onde são,

$\frac{Q}{\Delta t}$  = Fluxo de calor ( $J.s^{-1}$ );

h= Coeficiente de transferência de calor por convecção ( $J.s^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$ );

$T_1 - T_2$ = Diferença de Temperatura entre superfície e o fluido (K);

A=Área ( $m^2$ ).

O coeficiente de transferência (h), dependente de diversos fatores como, por exemplo: a orientação da superfície, tipo de fluido, velocidade do fluido e tipo de superfície.

### 1.3.3.3 Radiação

Uma maneira que pode ser definida a radiação é o processo pelo qual o calor é transferido de uma superfície com a temperatura mais elevada para uma superfície de temperatura menor, sendo que a mesma esteja separada por um espaço.

A radiação é emitida na forma de ondas eletromagnéticas e, para a matéria em estado de equilíbrio, ela está associada com a energia interna da matéria. A radiação de um sólido ou um líquido é basicamente um fenômeno de superfície, já que ela se origina dentro de uma faixa de  $1\mu\text{m}$  da superfície (INCROPERA, 1992).

A teoria básica da radiação eletromagnética pode ser estudada tanto do ponto de vista ondulatório como quântico. A fórmula do comprimento de onda é dada pela Equação (3).

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (3)$$

Sendo,

$\nu$ = frequência;

$\lambda$ = comprimento de onda  $\lambda$ ;

$c$ = Velocidade da Luz, ( $2,988 \times 10^8$  m/s.).

A radiação térmica emitida por um corpo irradiante ideal (corpo negro), para uma superfície hemisférica que o envolve, pode ser medida pela Equação (4) de Planck:

$$Eb = \sigma T^2 \quad (4)$$

Onde,

$\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  (constante de Stefan Boltzmann)

$Eb$ = Poder Emissivo total de um corpo negro.

$T$ = temperatura do corpo negro (K)

#### 1.3.3.3.1 Propriedade da radiação

Existem algumas propriedades da radiação que são de extrema importância na aplicação da termografia. Nos tópicos a seguir veremos alguns conceitos importantes na transmissão de calor por radiação.

### 1.3.3.3.1.1 Corpo negro

É um corpo ideal, cuja superfície é um absorvedor ideal de radiação incidente independentemente do comprimento de onda ou da direção da radiação. Desde que não exista nenhuma superfície com tal característica, o conceito de corpo negro é uma idealização (INCROPERA, 1992).

### 1.3.3.3.1.2 Corpo cinzento

É um corpo cuja emissividade e absorvidade de sua superfície são independentes do comprimento de onda. A radiação emitida e refletida por um corpo cinzento é considerada difusa. A emissividade e a absorvidade de um corpo cinzento são iguais (DOS SANTOS, 2006).

$$\varepsilon = \lambda G \quad (5)$$

### 1.3.3.3.1.3 Corpo normal

A radiação emitida por um corpo real não é inteiramente difusa e, portanto, a emissividade do corpo depende do ângulo de observação (INCROPERA, 1992).

### 1.3.3.3.1.4 Absortividade, Refletividade e Transmissividade

Quando a radiação incide numa superfície real, parte desta radiação é absorvida, parte é refletida e a parcela restante é transmitida através do corpo, a isso chamamos de absorvidade, refletividade e transmissividade (INCROPERA, 1992), como mostrado na Figura 5:

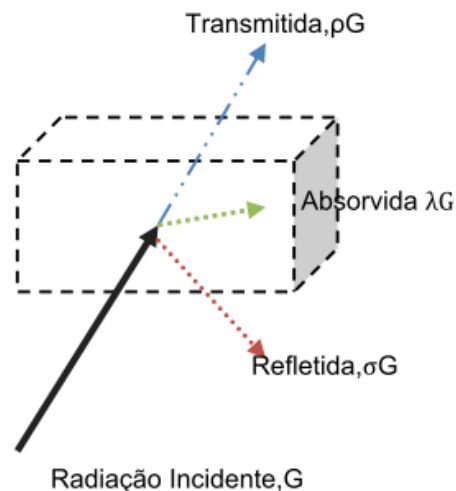


Figura 5-Representação gráfica das radiações, absorvidas ( $\lambda G$ ), refletidas ( $\sigma G$ ) e transmitida ( $\rho G$ ).

Absorvida ( $\lambda G$ ): a relação da energia radiante espectral absorvida por um objeto com a energia que incide sobre si.

Refletida ( $\sigma G$ ): a relação da energia radiante espectral refletida por um objeto com a energia que incide sobre si.

Transmitida ( $\rho G$ ): a relação da energia radiante espectral transmitida através de um objeto com a energia que incide sobre si.

A soma destes três fatores devem sempre resultar no total igual 1, conforme a equação (5).

$$\lambda G + \sigma G + \rho G = 1 \quad (6)$$

Para corpos opacos  $\rho G = 0$ , então  $\sigma G + \lambda G = 1$

A razão entre a energia real emitida por um corpo normal e a energia emitida por um corpo negro, é a emissividade ( $\varepsilon$ ); logo, a emissividade espectral ( $\varepsilon \lambda$ ) é a relação da emitância radiante espectral de uma superfície pela emitância radiante de um corpo negro com a mesma temperatura e comprimento de onda (DOS SANTOS, 2006). Pode ser estimado o valor conforme a Equação (6):

$$\varepsilon \lambda = \frac{m \lambda_a}{m \lambda_b} \quad (7)$$

As distribuições espectrais e a emissividade espectral são representadas da seguinte forma:

- $\varepsilon \lambda = \varepsilon = 1$ , para corpo negro;
- $\varepsilon \lambda = \varepsilon =$  constante menor que 1, para corpo cinza;
- $\varepsilon$  varia com o comprimento de onda, para radiador seletivo.

Essas três fontes de radiação são apresentadas com as curvas conforme as Figuras 6 e 7.

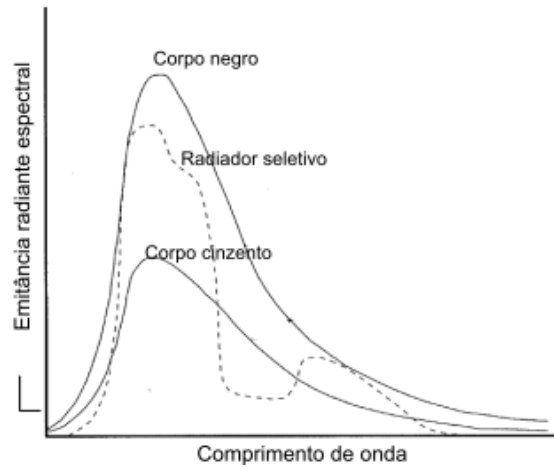


Figura 6-Emitância radiante espectral de três tipos de radiadores.

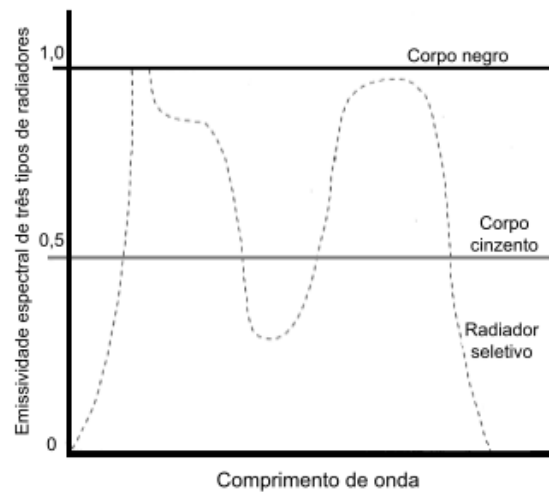


Figura 7-Emissividade espectral de três tipos de radiadores.

### 1.3.3.3.1.5 Fatores geométricos

Cada vez que o feixe de luz é refletido, sua intensidade ( $I$ ) é reduzida pela superfície de refletância ( $p$ ). Se o feixe é refletido  $N$  vezes, a intensidade resultante é dada pela Equação (8), (HOLST,2000).

$$I = I_1 \cdot p^N \quad (7)$$

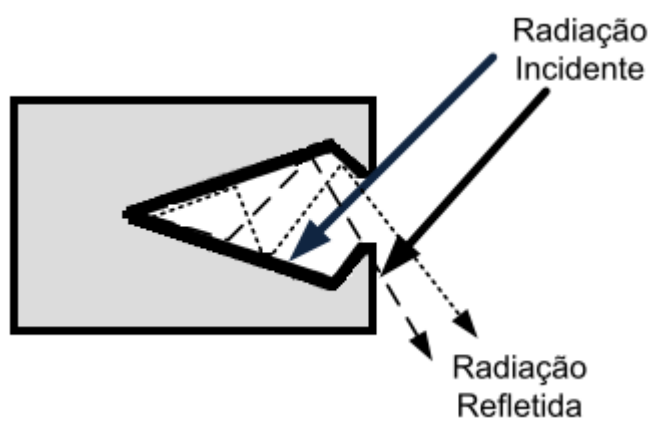
Onde,

$I$  =É a intensidade final, [ $W \cdot s^{-1}$ ];

$I_1$  =É a intensidade inicial, [ $W \cdot s^{-1}$ ];

$N$  = É o número de vezes que a radiação é refletida.

Múltiplas reflexões têm um enorme efeito na intensidade refletida (HOLST, 2000). Fatores geométricos ocasionam o efeito cavidade, e esse pode ser utilizado como meio de aumentar a emissividade de superfícies de baixa emissividade, como ilustra a Figura 8.



**Figura 8-Radiação incidindo em uma superfície de pouca emissividade.**

## 2 A TÉCNICA DE TERMOGRAFIA

A técnica de termografia é o método mais avançado de avaliação não destrutivo e não intrusivo disponível para o segmento de manutenção de equipamentos. É uma técnica que comporta o mapeamento de um corpo ou de uma determinada região com a finalidade de distinguir áreas de diferentes temperaturas. Essa técnica admite, portanto, a visualização artificial da luz dentro do espectro infravermelho.

O raio infravermelho é uma faixa de frequência eletromagnética, compreendida entre 600 e 800 nm de comprimento de onda, fluentemente emitida por qualquer corpo, com intensidade proporcional a sua temperatura. Na Figura 9 podemos ver a representação do espectro eletromagnético.

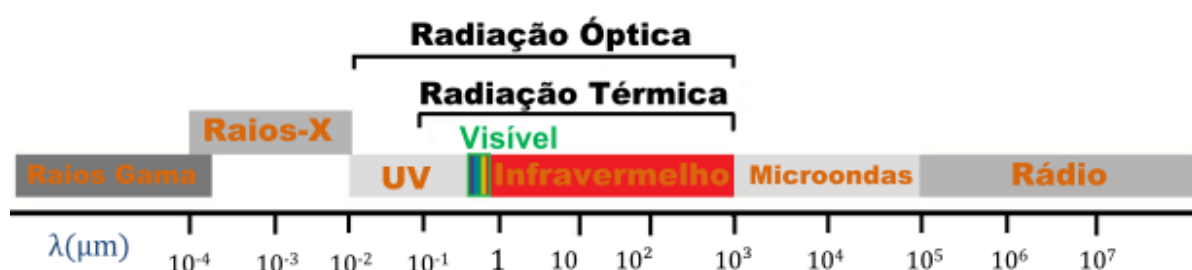


Figura 9-Espectro eletromagnético.

Como se pode ver na Figura 9, a faixa de radiação óptica é dividida em 3 subfaixas: radiação infravermelha, radiação visível e radiação ultravioleta.

Segundo Chrzanowski (2001), a Comissão Internacional de Iluminação (CIE-International Lighting Commission), traz uma subdivisão do espectro infravermelho, estes mesmos valores também estão nas normas da ABNT, (ABNT,1991), (ABNT,2006). Esta subdivisão está representada na Tabela 1.

<b>Região</b>	<b>Faixa de comprimento de onda</b>
<b>IR-A</b>	0,78 $\mu\text{m}$ a 1,4 $\mu\text{m}$
<b>IR-B</b>	1,4 $\mu\text{m}$ a 3 $\mu\text{m}$
<b>IR-C</b>	3 $\mu\text{m}$ a 1000 $\mu\text{m}$

**Tabela 1- Subdivisão da radiação infravelha.**

Atualmente, a termografia, ao lado de outras técnicas não intrusivas, tem um papel muito importante na área de manutenção preditiva, através da inspeção em sistemas mecânicos, elétricos, na indústria em geral, no controle de aquecimento térmico de uma termoeletrica. Por meio de seu emprego, é possível minimizar muitos problemas de produção, evitando falhas elétricas, mecânicas e de fadiga de materiais (REATIVA SERVICE ENGENHARIA ELÉTRICA, ND), (THERMALVIEW, ND), (E. PELIZZARI, 2006).

Para o uso da termografia faz-se necessário um conjunto de instrumentos sensíveis à radiação infravermelha - termovisores e radiômetros - permitindo visualizar o perfil térmico e medir as variações de calor emitidas pelas diversas regiões da superfície de um corpo, sem a necessidade de contato físico com este (REATIVA SERVICE ENGENHARIA ELÉTRICA, ND), (E. PELIZZARI, 2006).

Esse é um dos procedimentos geralmente adotados (THERMALVIEW, ND) durante a inspeção, que consiste em efetuar uma varredura qualitativa das instalações com o emprego do termovisor, buscando formar a imagem térmica de modo que proporcione uma análise dos pontos críticos. Na Figura 10, vê-se uma imagem térmica de um painel Elétrico da Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. Pode-se observar a elevação de temperatura em uma das fases da contatora.





**Figura 10-Imagem térmica.**

O principal objetivo de utilizar a termografia é o de prevenir falhas e prolongar a eficiência dos sistemas através da medição de temperatura dos pontos relevantes com radiômetro e pela confecção de fotografias digitais e de termogramas digitais (THERMALVIEW, ND).

Os dois modelos de termovisores utilizados para este trabalho foram termovisores de alto desempenho da marca Flir systems. Um é o modelo Thermacam T400 (Figura 11), e o outro é o modelo Thermacam® e320 (Figura 12), integrantes do acervo técnico e científico de Ensino, Pesquisa e Extensão dos Cursos de Engenharia da UNIPAMPA, Campus Alegrete.



**Figura 11-Termovisores de alto desempenho Thermacam T400, UNIPAMPA – Campus Alegrete.**



**Figura 12-Termovisores de alto desempenho Thermacam® e320, UNIPAMPA – Campus Alegrete.**

## **2.1 Filtros**

Dependendo do material a ser inspecionado, devem-se utilizar filtros, pois alguns materiais são transparentes ou opacos e necessitam da utilização de filtros.

Quando inspecionamos materiais transparentes, a câmera vê o que está atrás deste material, com isso, os registros de temperatura são uma combinação do próprio material que está por trás do material transparente, sendo que em alguns casos, um filtro pode ser colocado no óptico da câmara para superar estes problemas (FLIR, ND).

O desempenho espectral da maioria das câmeras pode ser encontrado em seu manual do usuário, ou de técnicas especiais, que através da visualização do espectral pode-se constatar se objeto tende mais para opaco ou para transparente.

Nos materiais transparentes, tal como o vidro e muitos plásticos, o seu grau de transparência varia com o comprimento da onda. Sendo assim, existem materiais transparentes em que o comprimento de onda infravermelho é igual ao dos materiais opacos, devido ao fato do material absorvente absorver muito bem a energia refletida sobre ele. De acordo com a lei Kirchhoff, um absorvedor bom é também um emissor bom, isto abre a possibilidade de medir o brilho e a temperatura.

### **2.1.1 Adaptação espectral**

Para fazer uma adaptação espectral deve-se inserir um filtro espectral no caminho óptico da câmara.

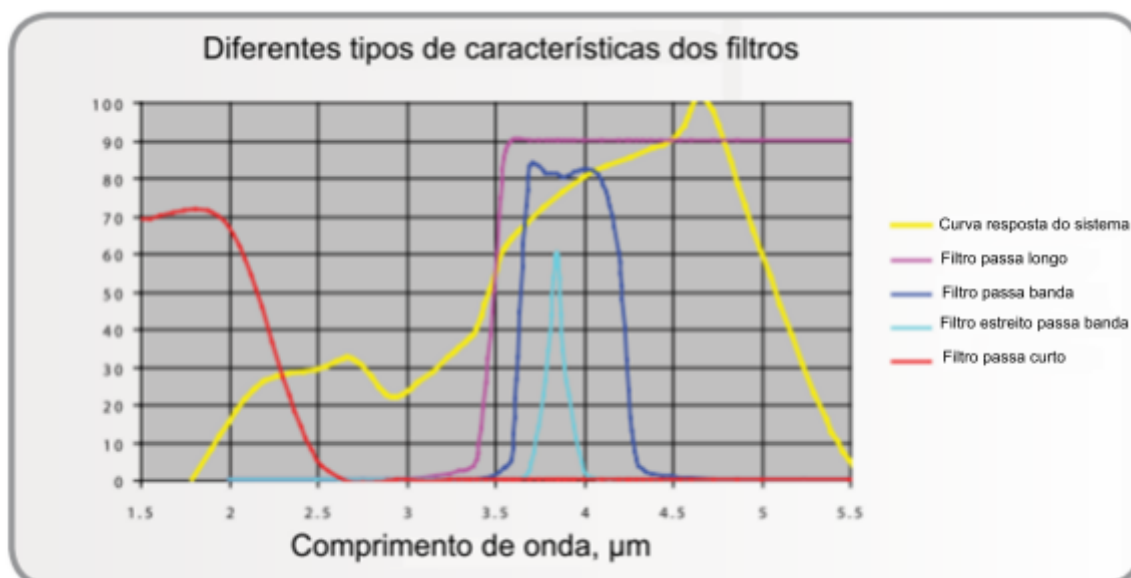
O primeiro passo deste processo é a analisar as propriedades espectrais do material semitransparente que você está tentando medir. Para materiais comuns, os dados podem estar disponíveis em dados publicados, caso contrário, isto requer análise com um espectrofotômetro (FLIR, ND).

### **2.1.2 Tipos de filtro**

Dentre os modelos de filtros, o mais simples é os de banda larga, os quais são usados apenas para reduzir a transmissão óptica e evitar a saturação do detector a altas temperaturas.

Os filtros podem ser descritos como passa curta (SP), passa longo (LP), passa-banda (PA), e estreito passa-banda (NBP).

Observa-se na Figura 13: os filtros SP e LP são especificados com um corte em um comprimento de onda de corte. Filtros PA e NBP são especificados com um comprimento de onda central e uma meia largura de comprimento de onda (metade da potência), sendo este último à largura onde a resposta espectral diminuiu para 50% do seu máximo (FLIR, ND).



Fonte: Adaptado de Flir Systems LTD, P27.

Figura 13-Curvas de resposta para diferentes tipos de filtros.

Para as medições de temperatura em materiais transparentes, os filtros selecionados devem proporcionar uma banda de absorção essencialmente completa. Absorção incompleta pode ser utilizada, pelo menos teoricamente, desde que ambas as absorvências e refletâncias sejam conhecidas e estáveis na banda de absorção. Infelizmente, muitas vezes a absorção varia com a temperatura e a espessura.

Os filtros podem também ser classificados de acordo com a sua temperatura de aplicação. Os filtros frios são estabilizados no ou próximo à mesma temperatura que o detector, é os filtros mais precisos e desejados para esta linha de inspeções térmicas. Os filtros quentes são comumente usados, mas tendem a fornecer incerteza de calibração radiométrica, mas devido à variação de emissão IR com mudanças de temperatura ambiente (FLIR, ND).

## 2.2 Resolução espacial

É a habilidade do sistema sensor em assinalar e medir os alvos. Esta capacidade é fundamentada na projeção geométrica do detector na superfície terrestre, determinando a sua área do campo dependendo de que modo ou para onde é dirigido o instrumento, numa certa altitude e num certo instante (FLORENZANO, 2002).

### 2.2.1 Campo de visão (FOV) e campo de visão instantâneo (IFOV)

Campo de visão é o tamanho que a imagem é vista no visor do termovisor, sendo que o tamanho da lente utilizada exerce influência sobre o tamanho da imagem que é visualizada (FLUKE & SNELL, 2009).

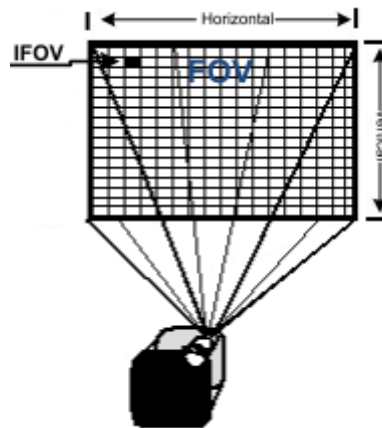
Campo de visão instantâneo (IFOV) são os pequenos *pixels* que formam a imagem no campo de visão.

Para aplicações que exijam mais detalhamento das imagens, como por exemplo, em subestações externas, onde será necessário um FOV grande, o tamanho do campo de visão vai depender de sua aplicação. Na Figura 14 podemos ver a ilustração do campo de visão, já na Figura 15, podemos ver mais detalhadamente o campo de visão do termovisor e a localização de um IFOV.



**Fonte:** Fluke & Snell, 2009, P27.

**Figura 14-Campo de Visão (FOV)**



**Figura 15-Representação do FOV e IFOV.**

Para encontrar o valor do IFOV, utilizamos a Equação (8).

$$\text{IFOV} = \frac{\text{FOV}}{\text{Pix}} \quad (8)$$

Onde,

Pix= número de pixels.

É normal os fabricantes fornecerem o IFOV, e através dessa informação, podemos calcular o alcance máximo para que um objeto, de tamanho determinado, possa ser detectado, utilizando a Equação 9 , (DOS SANTOS, 2006).

$$\text{DistD} = \frac{X}{\text{IFOV}} \quad (9)$$

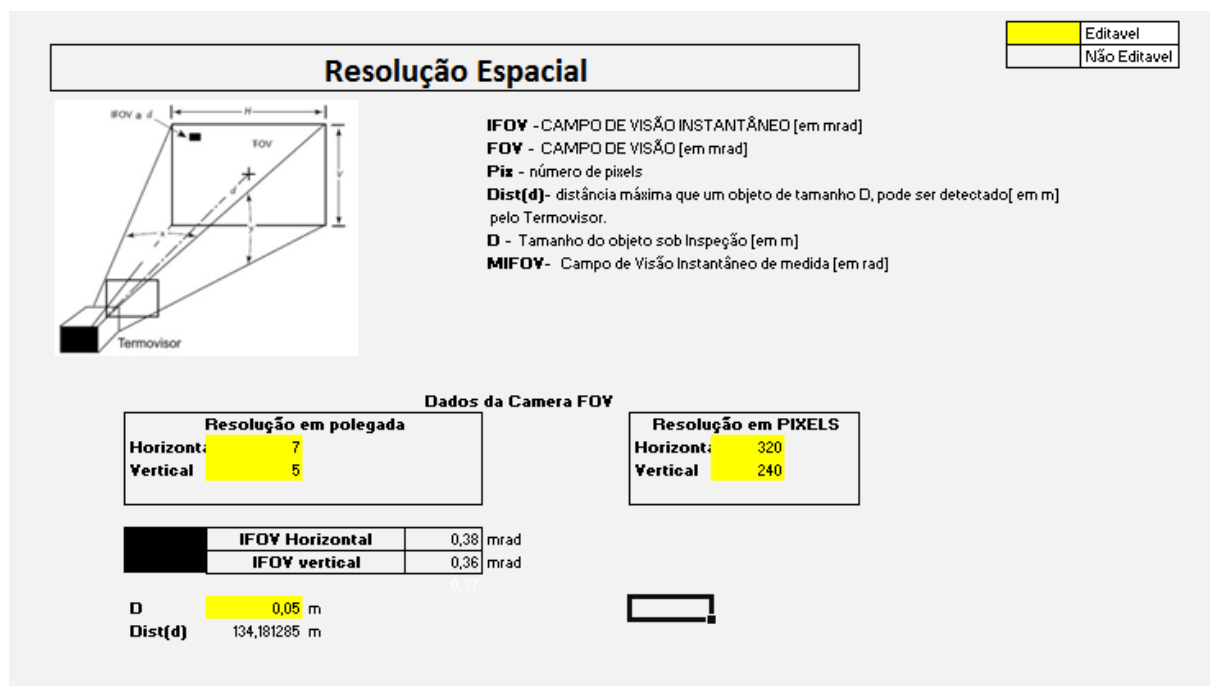
Onde,

DistD [m] = alcance máximo que um objeto de tamanho X pode ser detectado pelo Termovisor.

X [m] =Tamanho do objeto.

IFOV [mrad] =Campo de Visão Instantâneo.

Para facilitar os cálculos, foi desenvolvida uma planilha de cálculos no Excel conforme a Figura 16.



**Figura 16-Imagem da planilha de cálculos no Excel da Resolução Espacial.**

### 2.2.2 Cálculos para verificar se a câmera suporta a resolução e a distância necessária do objeto para inspeção.

Para obter uma boa imagem e saber o tamanho do menor objeto que pode ter sua temperatura medida (com precisão a um determinado alcance), usamos a Equação 10.

$$\text{DistM} = \frac{D}{MIFOV} \quad (10)$$

Onde,

DistM [m] = distância máxima que um objeto de tamanho D pode ter sua temperatura medida com exatidão.

D [m] = tamanho do objeto que está sendo inspecionado.

MIFOV [rad] = Campo de Visão Instantâneo de Medida

Foi feita uma planilha de cálculos (Figura 17) na qual foi aberta esta equação e dividida em várias partes, com isso, podemos obter a medida da lente do termovisor e a distância correta do objeto para inspeção.

Calculos para verificar se a camera suporta a resolução com a distancia necessaria do objeto			
Dist	48,3413901	distancia do solo	50
		Diameto ou area do objeto	0,07
		distancia do objeto	2
		Altura do Termografista	1,7
<b>MIFOV</b>	1,45E-03 rad	<b>FOV Horizontal</b>	26,55 in
		<b>FOV vertical</b>	19,92 in
		<b>Resolução da camera em polegas</b>	
		26,55 X 19,92	
<b>Resolução em PIXELS</b>			
<b>Horizontal</b>	320		
<b>Vertical</b>	240		

Figura 17-Planilha de cálculos resolução

### 2.3 Condições para inspeções termográficas em painéis e motores elétricos

Deve-se obedecer algumas condições a fim de se obter uma boa análise termográfica. Nos próximos tópicos, estarão algumas dessas espécies, sendo elas baseadas nas normas internas da Petrobrás (N-2475, 2005), (N-2472, 2007), (N-2487, 1998) e norma da ABNT (NBR-15424, 2006).

- Termovisor: faz-se necessário possuir um bom termovisor, a fim de que se possam obter boas imagens para que o trabalho alcance maior êxito.
- Calibração do termovisor: deve-se fazer a calibração dos equipamentos que não possuam um sistema de calibração automática, sendo que os parâmetros a serem usados são lentes, abertura e sensibilidade.
- Emissividade: para painéis elétricos, a emissividade adotada vai ser 0,85, porém na norma N-2475 da Petrobrás, existe uma tabela com valores de emissividade que podem ser adotados.
- Pré-inspeção: a pré-inspeção é uma preparação para inspeção termográfica, deste modo, deve ser elaborada uma programação a fim de coletar o máximo de informações do equipamento a ser analisado, verificar relatórios anteriores, o tempo que foi feita a última inspeção com os intervalos de tempo que é feito de cada imagem térmica, verificar se houve alguma alteração no painel e verificar os manuais dos equipamentos a serem examinados. Cada nova inspeção deverá seguir um cronograma para melhor organização da vistoria. Na Figura 18 podemos ver um organograma com cada tomada de decisão a ser feita na inspeção termográfica.



- Segurança: obedecer todas as normas de segurança dos equipamentos energizados, deve-se sempre usar os equipamentos de segurança.

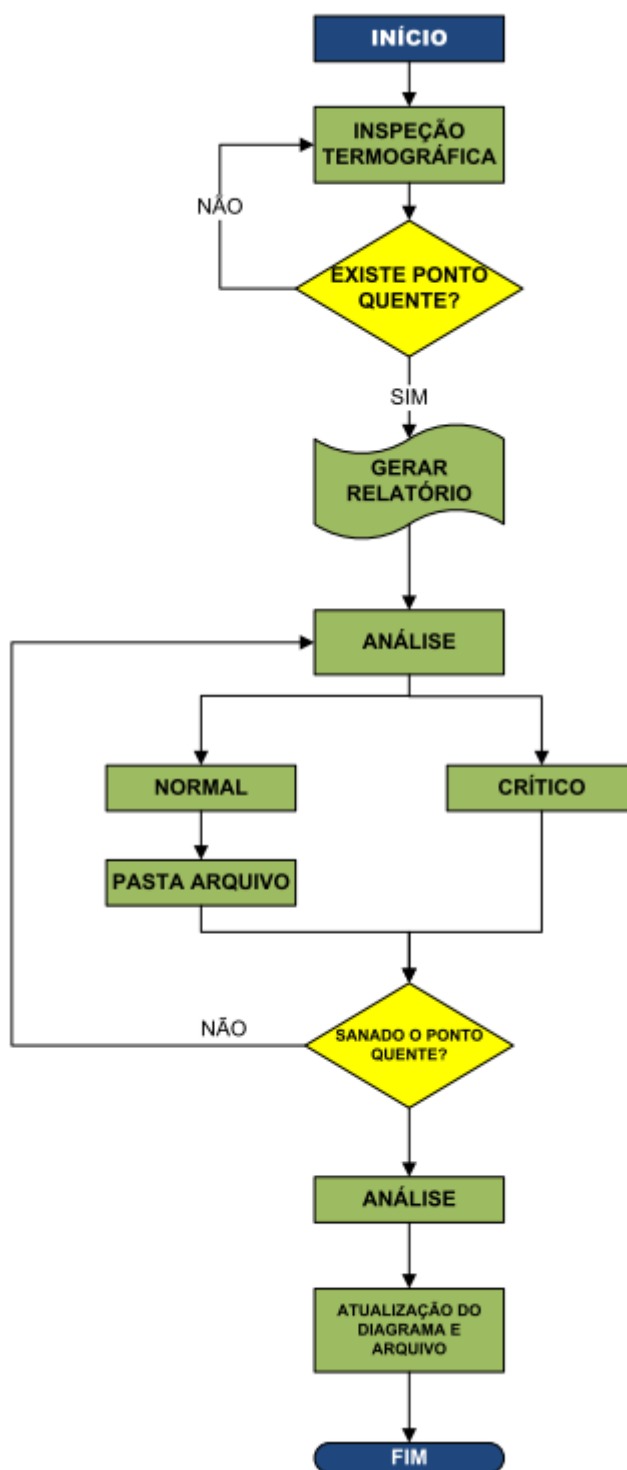


Figura 18-Fluxograma de tomadas de decisões.

## 2.4 Pontos importantes a serem analisados nos painéis e motores elétricos

Nos painéis deve-se ter uma atenção especial nas conexões de entrada e saída dos seguintes equipamentos: fusíveis, disjuntores, chaves seccionadoras, garras, TPs, TCs, relés, contadores, barramentos e semicondutores. Nos motores os pontos a serem analisados são a carcaça e os contatos das escovas e conexões dos cabos.

## 2.5 Fatores de correções

Para uma boa análise dos resultados das medições, deve-se fazer uma correção considerando os seguintes fatores (N-2475, 2005).

### 2.5.1 Fator de correção de velocidade do vento (FCVV)

Esta correção é feita através de cálculos utilizando a Tabela 2. O FCVV é aplicado em velocidade menor que 7m/s, pois em velocidade maior que esta não se aplica o uso da termografia.

Velocidade do vento (m/s)	Até 1	2	3	4	5	6	7
<b>FCVV</b>	1,00	1,37	1,64	1,86	2,06	2,23	2,00

**Tabela 2-Fator de correção de velocidade do vento (FCVV)**

Com o uso da Tabela 3, aplicamos os seguintes cálculos para a correção de carga FCC.

Para encontrar o valor do FCC, utilizamos a Equação (11).

$$FCC = \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2 \quad (11)$$

Onde:

FCC= Fator de Correção de Carga;

$I_n$ = Carga Nominal (A);

$I_m$ = Carga Medida (A),

Lembrando que os valores do FCC são amparados quando a carga for igual ou maior que 50% da carga nominal.

Carga (%)	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
<b>FCC</b>	1,00	1,11	1,23	1,38	1,56	1,77	2,00	2,37	2,78	3,30	4,00

Tabela 3-Fator de correção de carga (FCC)

### 2.5.2 Temperatura final corrigida (TFC)

Para calcular o valor da TFC, devemos primeiro achar o valor da elevação de temperatura corrigida ( $\Delta TC$ ), usando a Equação 12.

$$\Delta TC = (T_m - T_a) \times FCC \times FCVV \quad (12)$$

Onde:

$\Delta TC$ = Elevação de temperatura corrigida, calculada para carga nominal (100%);

FCC= Fator de Correção de carga;

$T_a$ = Temperatura ambiente;

$T_m$ = Temperatura medida;

FCVV= Temperatura de correção da velocidade do vento.

Sendo que em cargas com medida inferior a 50% da nominal, não devem ser usadas o FCC.

Depois de achado o valor da  $\Delta TC$ , devemos fazer o cálculo de TFC, usando a Equação 13.

$$TFC = \Delta TC + T_a \quad (13)$$

Onde:

TFC= temperatura final corrigida;

$\Delta TC$ = elevação de temperatura corrigida;

$T_a$ = temperatura ambiente.

### 2.5.3 Fator de elevação de temperatura (FET)

Para se obter o valor de FET, utilizamos a Equação (14).

$$FET = \frac{\Delta TC}{\Delta T_{m\acute{a}x}} \quad (14)$$

Onde:

FET= Fator de elevação de temperatura;

$\Delta TC$ = Elevação de temperatura corrigida;

$\Delta T_{m\acute{a}x}$ = aquecimento máximo admissível.

Após acharmos o valor de FET, devemos utilizar a Tabela 4 para verificarmos o nível dos aquecimentos e determinarmos as possíveis providências.

FST	Classificação	Providências
<b>0,9 ou mais</b>	Severamente aquecido	Manutenção imediata
<b>0,6 a 0,9</b>	Muito aquecido	Manutenção programada
<b>0,3 a 0,6</b>	Aquecido	Em observação
<b>Até 0,3</b>	Normal	Normal

**Tabela 4-Classificação e providências**

Esta parte de cálculos foi toda automatizada em uma planilha de Excel (Figura 19), sendo que através dos parâmetros inseridos, obtêm a classificação e as providências a serem tomadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>Tabela de Calculos</b>								Editavel	
2	Entre com os valores nas células amarelas								Não Editavel	
3										
4	In-Carga nominal (ampéres)			1						
5	Im- Carga medida(ampéres)			2						
6	FCC	0,25								
7										
8	TFC	31,4775								
9	$\Delta TC$	9,4775								
10	Ta	22								
11	Tm	39								
12	FCVV	2,23								
13	$\Delta T_{m\acute{a}x}$	10								
14	T <sub>máx</sub>	32								
15	FET	0,94775								
16	Velocidade do Vento (m/s)	6								
17										
18	FST	0,94775								
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										

\* FCC=Fator de correção de carga

\* $\Delta TC$ =

\*Ta=Temperatura ambiente;

\*Tm=Temperatura medida

\*FCVV=Temperatura de correção da Velocidade do vento.

\*TFC= temperatura final corrigida;

\* $\Delta TC$ = elevação de temperatura corrigida;

\* $\Delta T_{m\acute{a}x}$ = Elevação máxima de admissível;

\*T<sub>máx</sub>. = Elevação máxima admissível para o componente, normalmente especificada pelo fabricante.

Classificação	Providências
Severamente aquecido	manutenção imediata

**Figura 19-Tabela de cálculos fatores de correções.**

## 2.6 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 (15). 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 (INFRARED, ND), (C. CARDOSO, 2006).

$$\Delta T = T_r - T_m \quad (15)$$

Onde,

$\Delta T$ = Diferença da temperatura

$T_r$ = Temperatura de referencia;

$T_m$ = Temperatura medida.

Depois de possuir o valor do  $\Delta T$ , dever 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 de uma Tabela (5), para auxiliar na tomada de decisão. Para facilitar, foi feita uma tabela de cálculos no Excel conforme a Figura 20.

<b>Crítérios</b>	<b>Classificação</b>	<b>Providências</b>
<b>30 °C ou mais</b>	Emergência	Manutenção imediata
<b>10 °C a 30 °C</b>	Urgência	Manutenção mais rápida possível
<b>5 °C a 10 °C</b>	Aquecido	Em observação
<b>Até 5 °C</b>	Normal	Normal

**Tabela 5-Tabela tomada de decisões.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												

### Metodo comparativo

Entre com os valores nas células amarelas

	Editavel
	Não Editavel

No metodo comparativo não influencia em nada TA

Temperatura Ambiente	36	Temperatura Medida	40
Temperatura de Referencia	30	$\Delta T$	10

Situação	
Urgência	
Providências	
manutenção mais rapida possivel	

**Figura 20-Tabela de cálculos no Excel para método comparativo.**

Na tabela do Excel (Figura 20), o que está em amarelo seria o local onde se colocam os valores, sendo que o  $\Delta T$ , Situação e Providências, são automáticos, sem necessidade de calcular. Uma ferramenta simples, mas de grande utilidade.

### **3 ROTINAS APLICADAS**

Neste tópico vamos abordar algumas rotinas aplicadas para manutenção dos equipamentos.

#### **3.1 Procedimentos para inspeção**

São realizadas vistorias, buscando condições fora do normal do equipamento, assim como análises e aplicação de medidas corretivas e preventivas.

A fim de proporcionar uma boa inspeção é feita uma programação, no qual são feitas:

1º) Uma pesquisa do melhor horário para realização das inspeções, buscando-se sempre a maior carga do circuito;

2º) Deve ser elaborado uma rotina adequada ao histórico das anomalias (pontos quentes);

3º) Manter o Banco de Dados e imagens organizados e atualizados;

4º) Imprimir os relatórios que são utilizados para realização da termografia em campo nos quais contém todas as informações necessárias;

5º) Gerar um relatório de cada equipamento em que for encontrado um ponto quente ou mais, com as informações da localização do mesmo e as interpretações das anomalias térmicas registradas;

#### **1.2 Procedimentos para Manutenção**

Os procedimentos padrão adotados em relação à manutenção preditiva seguem basicamente esta rotina:

São feitas inspeções termográficas em todos os equipamentos a cada 4 meses;

Em equipamentos que foram encontrados pontos quentes e sofreram uma ação corretiva, é feita uma nova inspeção termográfica no mesmo, máximo 3 a 5 dias após manutenção para verificar se o mesmo foi corrigido ou dependendo do grau de sua classificação são tomadas as seguintes providências conforme a Tabela 6.

<b>Classificação</b>	<b>Providências</b>
<b>Severamente aquecido ou emergência</b>	Manutenção imediata.
<b>Muito aquecido ou urgência</b>	É programada uma manutenção para um período no máximo de 15 dias depois de encontrado o ponto quente ou até uma parada da usina.
<b>Aquecido</b>	Manter o equipamento em observação e fazendo uma vistoria semanalmente com o termovisor.
<b>Normal</b>	Fazer uma vistoria a cada 4 meses.

**Tabela 6- Periodicidade**

### **1.3 Análises dos problemas**

Depois de implementando o programa de banco de imagens e dados, futuramente poderá ser incrementado um método de melhorias, como ciclo PDCA (Figura 21), e suas ferramentas como por exemplos: brainstorming, matriz GUT (Gravidade Urgência Tendência), diagrama de pareto, método dos 5 por quês, diagrama de Ishikawa e outras mais que fazem parte do ciclo PDCA (Cantidio,2009).



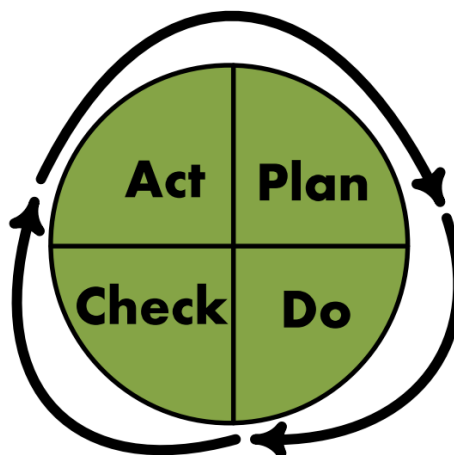


Figura 21-Ciclo PDCA

A definição da sigla PDCA é Plan, Do, Check e Act que significam Planejar, Executar, Verificar e Atuar.

## **4 RESULTADOS E PROCEDIMENTOS**

Este capítulo relatará a aplicação da termografia em painéis elétricos e nos motores da usina térmica da Cooperativa Agroindustrial Alegrete LTDA.

### **4.1 Banco de dados**

Para desenvolver um trabalho de termografia, foi preciso criar um banco de imagens com algumas ferramentas que se auxiliam na criação do relatório da inspeção termográfica.

A divisão do banco de dados divide-se em imagens térmicas, fotografias tiradas e banco de dados feitos no programa Excel, pois foi realizada uma pesquisa com os funcionários da usina sobre qual seria o melhor e mais fácil de operar, e por escolha dos funcionários, foi escolhido este programa.

#### **4.1.1 Legenda**

Para desenvolver um bom trabalho e uma organização, foi preciso criar algumas referências, para melhor didática e maior produtividade do trabalho.

As legendas estão divididas em duas partes, sendo elas: quadros de comandos e motores.

Os quadros de comandos estão divididos em três partes, sendo elas: Painéis da Sala Operação Usina, Painéis da Sala Quadros de Comandos e Cubículo da Sala Quadros de Comandos, com suas respectivas legendas: PSO, PSC e CUB.

Para os motores da usina, foi feito um levantamento de todos, sendo dividido em 3 tipos: Motores Importantes e Motores de Pouca Importância e demais motores, sendo suas legendas MTI, MPI e MTD.

#### 4.1.2 Banco de imagens

Para o banco de imagens, foi criada uma pasta geral com os nomes das mesmas, contendo as pastas motores e painéis, ficando cada uma subdividida como nas Figuras 22 e Figura 23.

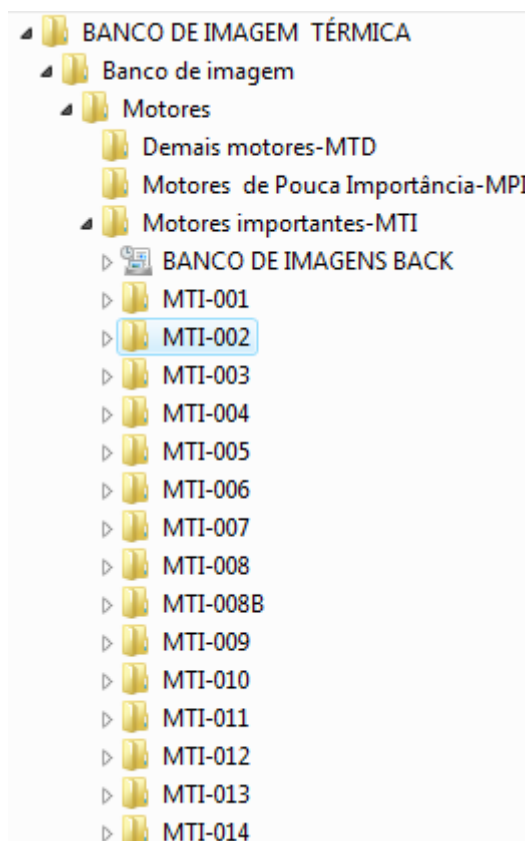
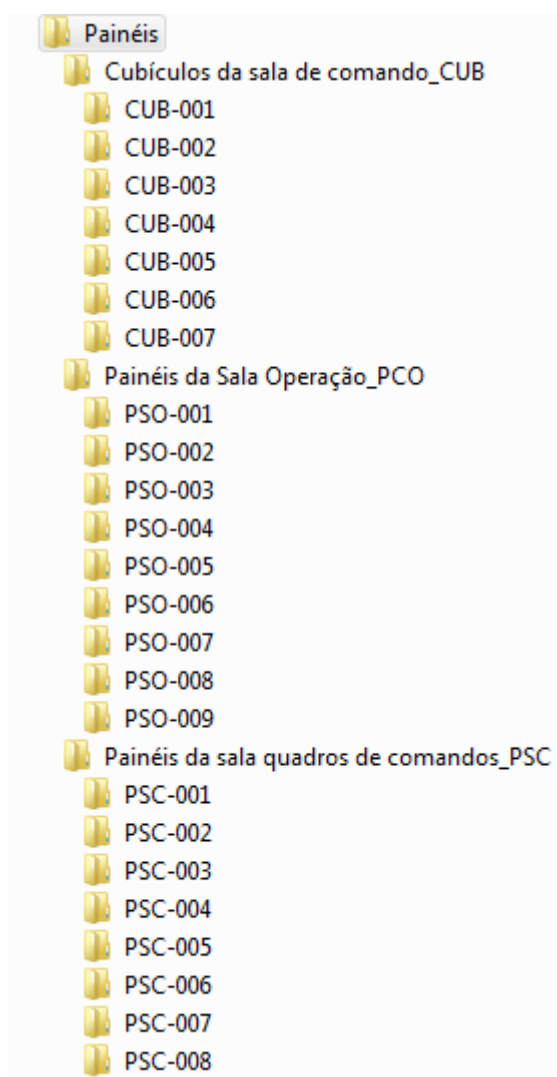


Figura 22- Divisão de pasta motores



**Figura 23-Divisão dos painéis e cubículos**

Ficando cada um dos PSO, PSC, CUB, MTI, MPI e MTD, subdividido em várias pastas, cada pasta referente a um objeto.

Como não pode ser visualizada na Figura 23 toda a divisão dos painéis da sala quadros de comandos\_PSC, a fim de explicação, PSC vai até PSC-023.

Na parte de imagem, foi utilizado o programa ThermaCam QuickReport (Figura 24) da Flir Sytems, com a função de corrigir parâmetros das imagens térmicas como: emissividade, temperatura reflectida, temperatura atmosférica, humidade relativa, distância, e outras ferramentas para edição que ajudam muito na hora de fazer uma análise e um estudo da imagem térmica através deste programa.

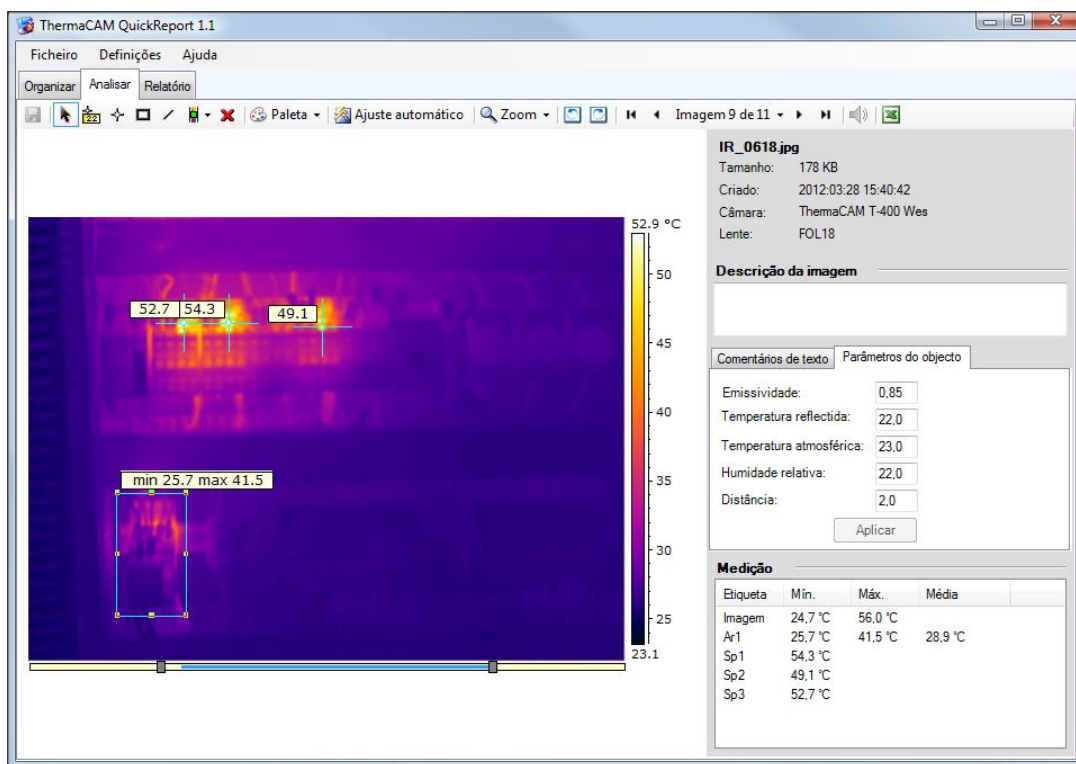


Figura 24-Programa ThermoCam QuickReport

#### 4.1.3 Criação do banco de dados no Excel.

Para administrar todas as informações e relatórios de inspeções, foi criado um programa de banco de dados no Excel, pois este programa é uma ferramenta de fácil compreensão e a empresa já possuía, portanto não houve necessidade de aquisição, facilitando a implementação do banco de dados.

Para melhor entender as interligações e a formulação do programa, podemos ver detalhadamente cada ligação através do diagrama do banco de dados Excel (Figura 25).

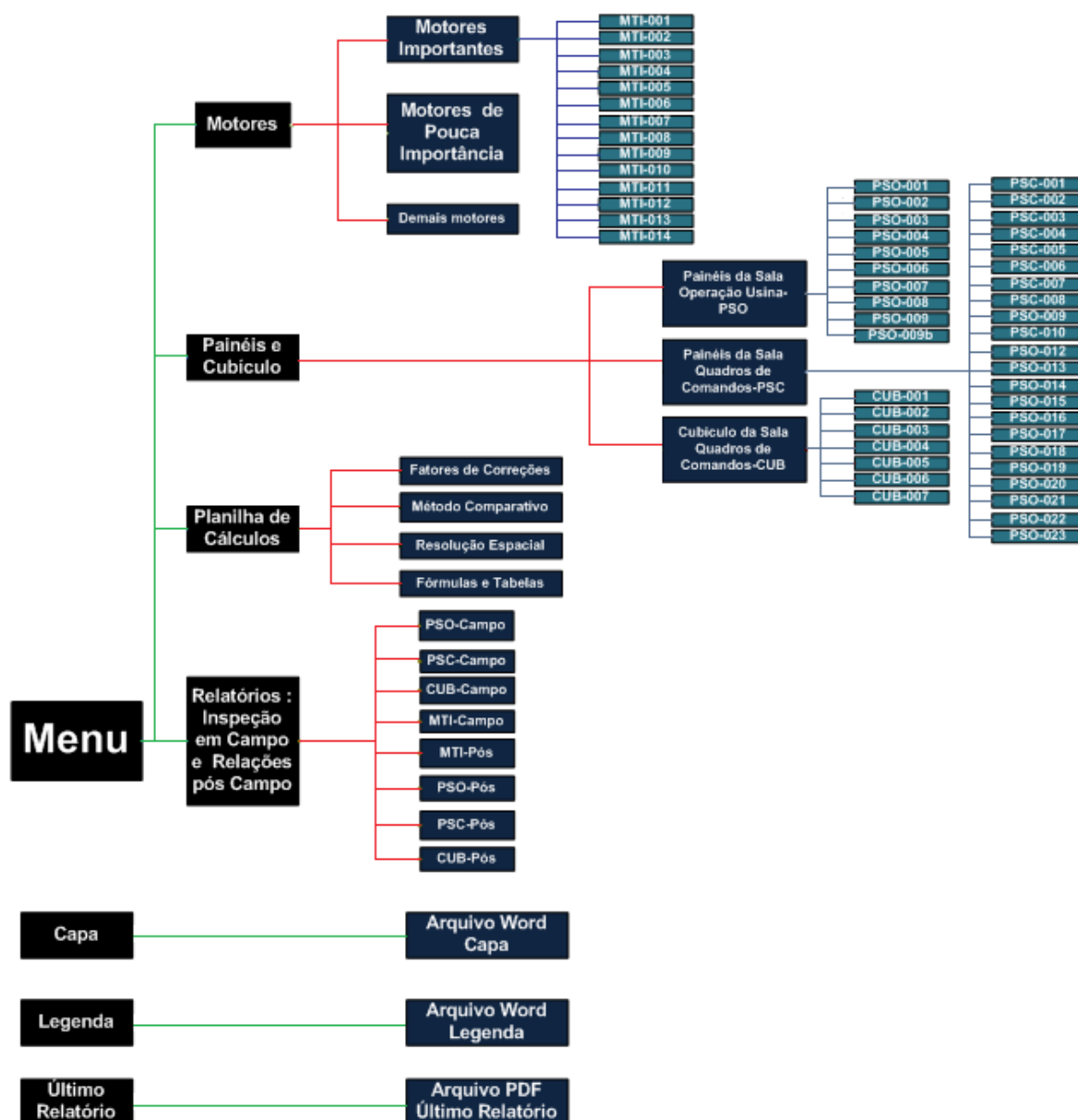


Figura 25-Diagrama banco de dados no Excel.

#### 4.1.3.1 Tela principal

Conforme as necessidades, foi criando um menu no Banco de dados de Imagens e Inspeções Termográficas. Toda sua programação é baseada na própria programação do Excel, como pode ser visto na Figura 26. A tela principal é formada por 7 hiperlink, sendo 4 para dentro do próprio Excel e 2 para arquivos feito do Word que seriam para criação da capa e outra da legenda, e um arquivo em pdf para último arquivo criado em pdf.



**Figura 26-Tela principal**

#### **4.1.3.2 Tela motores**

Esta tela contém o menu principal dos motores (Figura 27), porém apenas os hiperlinks motores importantes e o menu estão como links, os outros não estão ligados a nenhuma outra tela, pois como este programa foi feito para auxiliar na técnica de termografia, não foi criada nenhuma tela além da que foi utilizada na termografia na CAAL. Nessa mesma, foi feita apenas termografia nos motores importantes, que leva a uma nova tela, conforme a Figura 28.

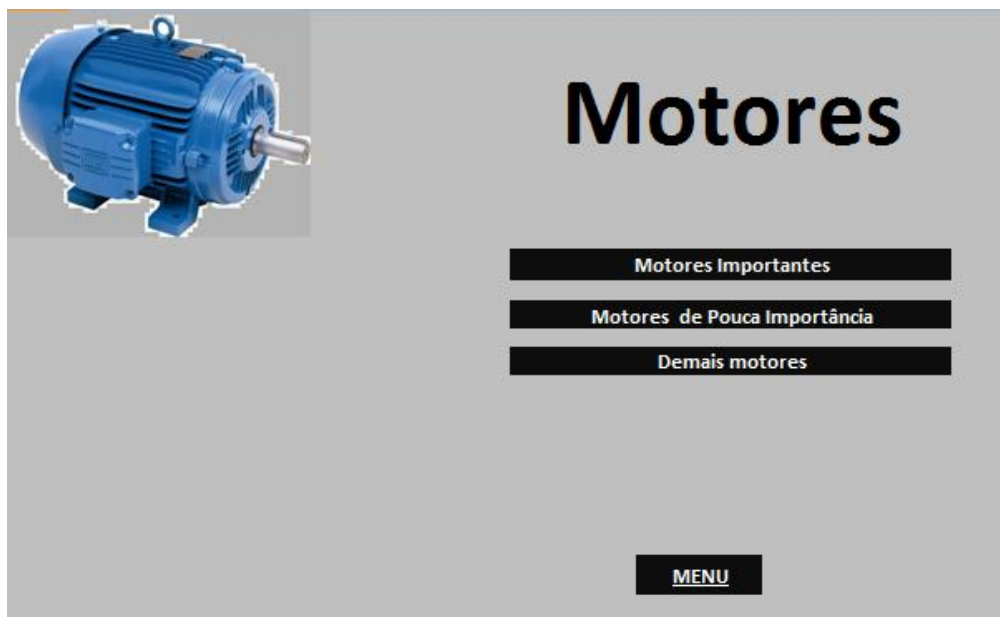


Figura 27- Tela motores

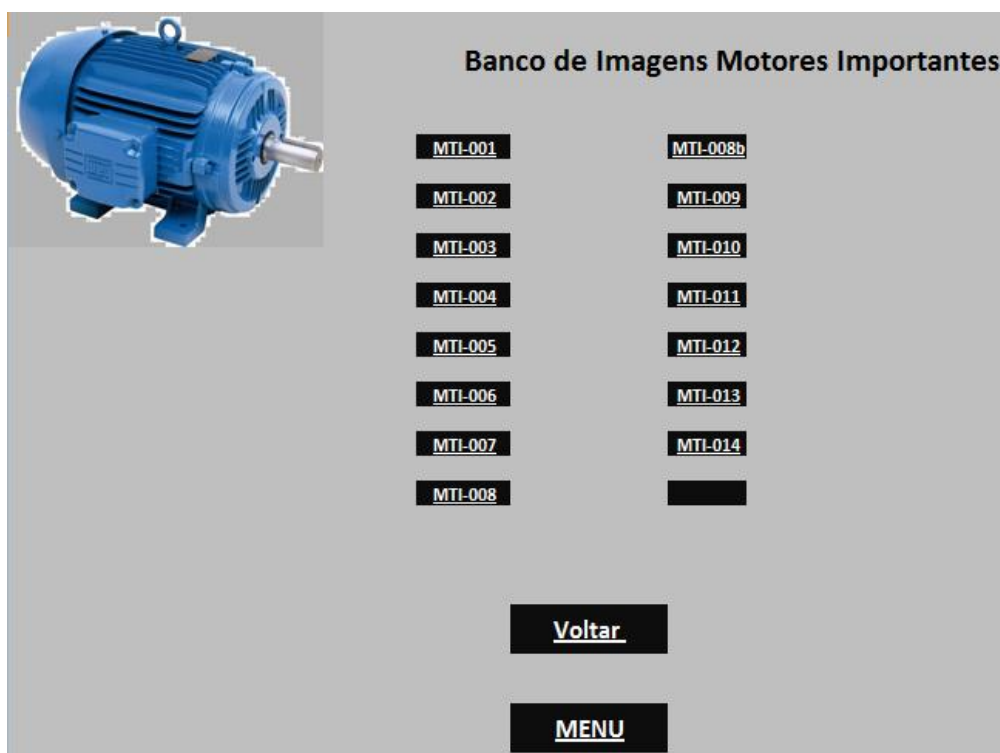


Figura 28- Tela motores importantes

Cada referencia MTI equivale a um relatório - conforme a Figura 29, sendo que os painéis e cubículos seguem o mesmo padrão.





Nº: MTI-005

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM MOTORES

SE:	1	Local:	Proximo Dreno de Linha Principal de Vapor	Fabricante:	Weg
Nº Manut.:		Módulo:	Interno	Modelo:	IP55
Nº Série		Potência:	25 cv 18,3 KW	Nº Pólos:	4
Especificação:	Ventilador de Ar Secundário	Função:	Auxiliar Queima da Casca	corrente:	37.2 A

### FOTO E IMAGEM TERMICA



FOTO

SDC14886



IMAGEM TÉRMICA

IR\_0742

Data da imagem:	28/03/2012	Temperatura Ambiente:	36°C
Horário:	14:46:19	Temperatura de Referência:	
Distância do Objeto:	1	Emissividade:	0,85
Operador de Termografia:	Cleberton Londero Cezar		

#### Pontos Quentes

T. Ponto 1	T. Ponto 2	T. Ponto 3
81,7	-	-

T. Ponto 4	T. Ponto 5	T. Ponto 6
-	-	-

#### DESCRIÇÃO

**METODO FET: 0,735229353-->Muito aquecido-manutenção programada**

FST	Classificação	Providências
0,9 ou mais	Severamente aquecido	manutenção imediata
0,6 a 0,9	Muito aquecido	manutenção programada
0,3 a 0,6	Aquecido	em observação
até 0,3	Normal	normal

Possíveis providências a ser tomada:

- Fazer uma Limpeza Verificar Rolamentos e Inspeção Interna do Equipamento.
- Se Possível Trocar o Motor, com isso Garantindo uma Qualidade Maior de Energia.

**Figura 29- Relatório padrão de cada objeto**

#### 4.1.3.3 Tela painéis e cubículo

Na tela painéis e cubículo (Figura 30), contém os links para as telas: Painéis da sala de operação usina-PSO, Painéis da sala quadros de comandos-PSC e Cubículos da sala quadros de comandos-CUB.



Figura 30-Tela painéis e cubículo

As Telas painéis da sala de operação usina, painéis da sala quadros de comandos e cubículos da sala quadros de comandos, segue o mesmo padrão dos motores, conforme Figura 28. A única coisa que muda são as legendas, respectivamente PSO, PSC e CUB. E os relatórios seguem os mesmos padrões dos motores (Figura 29).

#### 4.1.3.4 Tela planilha de cálculos

Na tela planilha de cálculos (Figura 31), encontram-se os links (menu) para os cálculos necessários para uma inspeção termográfica em campo e as fórmulas e tabelas que foram utilizadas. O menu é composto por: Fatores de correção (Figura 19), Método comparativo (Figura 20), Resolução espacial (Figuras 16 e 17) e fórmulas e tabelas.



Figura 31-Tela planilha cálculos

#### 4.1.3.5 Tela relatórios: inspeção em campo e relações pós-campo

Com a necessidade de imprimir relatórios diferenciados para fazer à pré-inspeção termográfica e os relatórios pós-inspeção para serem anexados nos relatórios a serem emitidos, foi criada a tela de relatórios (Figura 32), na qual encontramos os relatórios para PSO-Campo, PSC-Campo, CUB-campo, MTI-Campo, PSO-Pós, PSC- Pós, CUB- Pós e MTI-Pós.

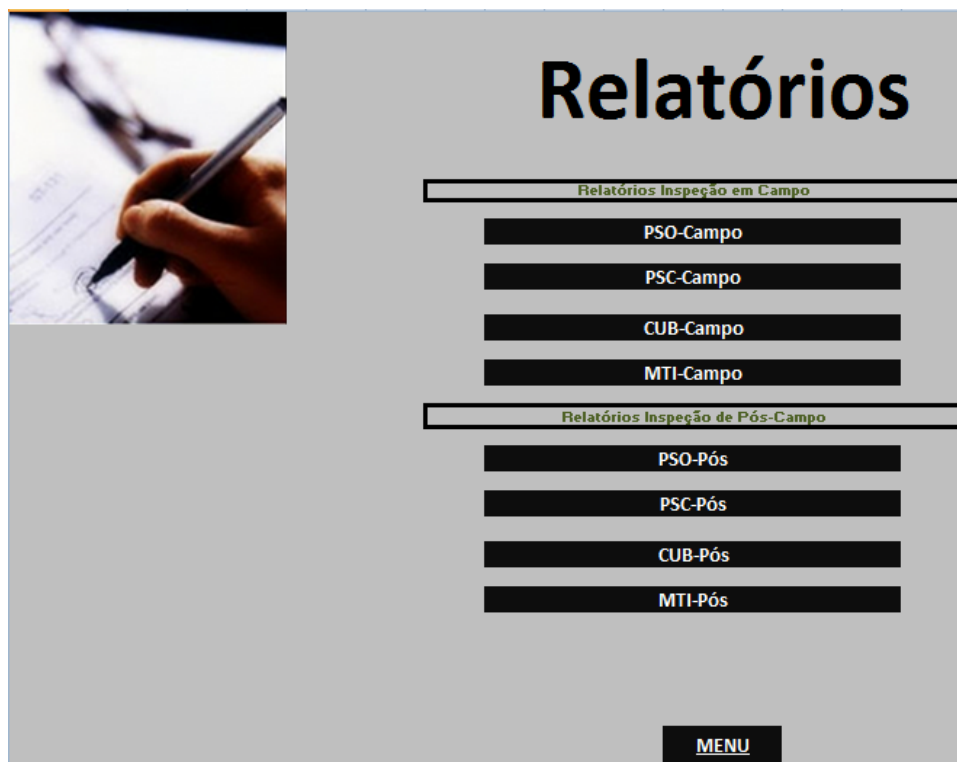


Figura 32- Tela relatórios

Os relatórios de inspeção Campo para PSO, PSC e CUB, seguem o mesmo padrão como mostra a Figura 33. Sendo que os relatórios para os motores aplicam outro padrão (Figura 34), pois nestes, constam dados adicionais como: potências, número de polos e marca.

<b>Painéis da Sala operação</b>						
Data da Inspeção:						
Horário:						
Operador de Termografi						
<b>Qdo</b>	<b>local</b>	<b>função</b>	<b>T.Amb.</b>	<b>T. Refer.</b>	<b>Dist. do Objeto</b>	<b>Descrição</b>

Figura 33-Relatório em campo para os painéis e cubículo.

<b>MOTORES IMPORTANTES</b>									
Data da Inspeção:									
Horário:									
Operador de Termografia									
Nº	Especificação	Potência		Nº de polo	Marca	T.Amb.	T. Refer.	Dist. do Objeto	Descrição
		CV	KW						
1	Exaustor de tiragem	175	128,8	6	weg				
2	Bomba alimentação de água caldeira 1	150	110,4	4	weg				
3	Bomba alimentação de água caldeira 1.1	150	110,4	4	weg				
4	Ventilador de Ar Primário	20	14,72	8	weg				
5	Ventilador de Ar secundário	25	18,3	4	weg				
6	Unidade hidráulica Grelha 1	7,5	5,52	4	weg				
7	Unidade hidráulica Grelha 2	7,5	5,52	4	weg				

**Figura 34-Relatório em campo para motores.**

Após fazer a análise e os relatórios dos objetos, são feitos resumos que recebem o nome de relatórios de pós-campo, sendo que todos seguem o mesmo padrão, conforme a Figura 35.

<b><u>Painéis da sala operação Usina</u></b>						
Data da Inspeção:		28/03/2012				
Horário:		14:30 as 17:30				
Operador de Termografia:		CLEBERTON LONDERO CEZAR				
codigo	Nº	Especificação	Inspeção	inspeção de correção	sanado	Descrição
PSO	1	Painel de controle e proteção do gerador	ok	-	sim	Leitura proteção do gerador
PSO	2	Painel do CLP Gerador e turbina	ok	-	sim	Controla toda a operação gerador e turbina
PSO	3	Sistema de controle caldeira	ok	-	sim	controle toda a operação caldeira
PSO	4	painel de interconexão com a consionaria	ok	-	sim	Interliga a usina com a AESUL
PSO	5	Painel Remota Versarmax patio	ok			Controla toda Biomassa
PSO	6	sistema de controle e supervisorío	ok	-	sim	Interligação com o sistema supervisorío
PSO	7	sistema de controle e supervisorío	ok	-	sim	Interligação com o sistema supervisorío
PSO	8	sistema de controle e supervisorío	ok	-	sim	Interligação com o sistema supervisorío
PSO	9	sala da turbina do gerador	ok	-	sim	controle de toda a função turbina
PSO	9b	sala da turbina do gerador	ok	-	sim	controle de toda a função turbina

**Figura 35-Relatório pós-campo, para os painéis e cubículo.**

Os relatórios de campo dos motores são diferentes dos demais – quadros e cubículos- tanto dos de pós-campo (Figura 36) quanto dos de pré-campo (Figura 35).

<b>MOTORES IMPORTANTES</b>										
Data da Inspeção:		28/03/2012								
Horário:		14:30 às 17:30								
Operador de Termografia:		Cleberton Londero Cezar								
		<b>Potência</b>								
<b>idig</b>	<b>Nº</b>	<b>Especificação</b>	<b>CV</b>	<b>KV</b>	<b>Nº Polo</b>	<b>Marca</b>	<b>Inspeção</b>	<b>Inspeção de Correção</b>	<b>Sanado</b>	<b>Descrição</b>
<b>MTI</b>	1	Exaustor de Tiragem	175	128,8	6	Weg	Ok	-	Sim	Tirar os Gases da Fornaria da Caldeira
<b>MTI</b>	2	Bomba Alimentação de Água Caldeira 1	150	110,4	4	Weg	Ok	-	Sim	Injetar Água no Balão de Vapor Caldeira
<b>MTI</b>	3	Bomba Alimentação de Água Caldeira 1.1	150	110,4	4	Weg	Ok	-	Sim	Injetar Água no Balão de Vapor Caldeira
<b>MTI</b>	4	Ventilador de Ar Primário	20	14,72	8	Weg	Ok	-	Sim	Queima da Casca
<b>MTI</b>	5	Ventilador de Ar secundário	25	18,3	4	Weg	Muito Aquecida	-	-	Auxiliar na Temperatura dos Gases da Queima da Casca
<b>MTI</b>	6	Unidade Hidráulica Grelha 1	7,5	5,52	4	Weg	Ok	-	Sim	Movimentar os Pistões da Grelha
<b>MTI</b>	7	Unidade Hidráulica Grelha 2	7,5	5,52	4	Weg	Ok	-	Sim	Movimentar os Pistões da Grelha
<b>MTI</b>	8	Rosca de Cinza Câmara de Combustão	2	1,472	4	Weg	Ok	-	Sim	Restirada da Cinza das Grelhas
<b>MTI</b>	8b	Rosca de Cinza Câmara de Combustão	2	1,472	4	Weg	Ok	-	Sim	Restirada da Cinza das Grelhas
<b>MTI</b>	9	Rosca de Cinza	1	0,736	4	Weg	Ok	-	Sim	Tirar Cinza do Economizador

Figura 36-Relatório pós-campo, para motores.

#### 4.2 Inspeção termográfica

Para uma boa inspeção termográfica, foi preciso elaborar um roteiro e seguir o fluxograma de tomadas de decisões (Figura 18). A partir disso, foi feita uma coleta de informações sobre os equipamentos para elaboração do roteiro - do dia 5 de março de 2012 até o dia 25 de março do mesmo ano-.



#### 4.2.1 Inspeção nos motores elétricos

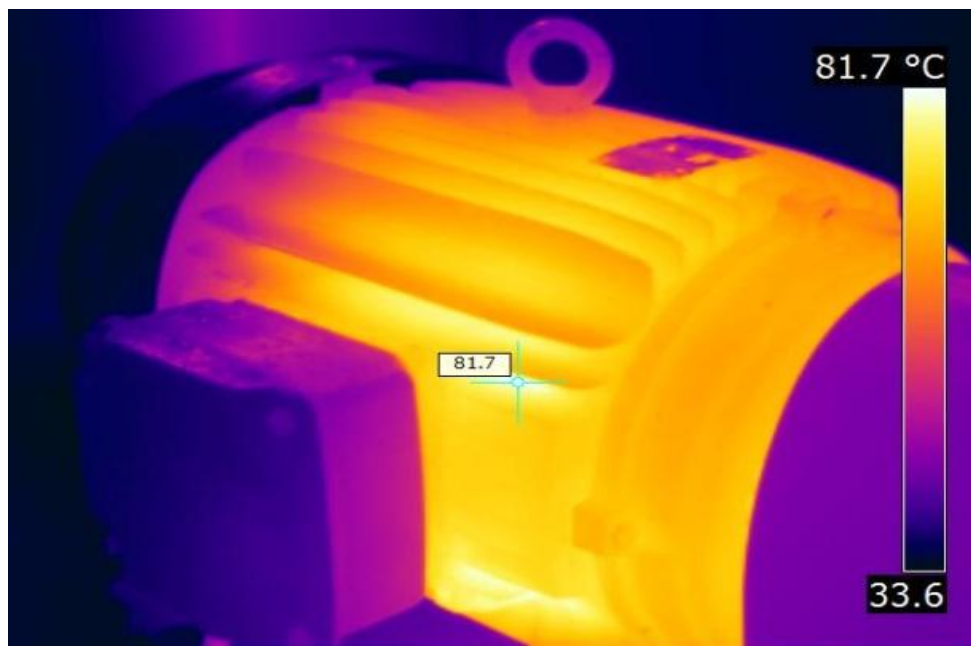
Foi analisada toda a relação de todos os motores da usina térmica, acompanhado do responsável técnico, que indicaram quais seriam os motores importantes em que deveriam ser feitas as inspeções térmicas para avaliar o funcionamento dos mesmos.

Esta relação de motores conta com 103 motores, sendo que desta quantia foram reservados 14 motores que seriam os mais importantes da usina, ou seja, os que deveriam passar por uma inspeção termográfica.

No dia 28 de março de 2012, foi feita a inspeção termográfica, junto com os responsáveis, nos 14 motores, sendo que apenas um motor apresentou uma anomalia, conforme os padrões adotados. Podemos ver na Figura 37 o motor do ventilador de ar secundário com potência 25CV da marca WEG e na utilização de auxiliar na temperatura dos gases da queima da casca. E na Figura 38 podemos ver a imagem térmica do mesmo.



**Figura 37-Foto do motor inspecionado (motor do ar secundário).**



**Figura 38-Imagem térmica do motor inspecionado (motor do ar secundário).**

Como mostra a Figura 38, a temperatura do ponto quente encontra-se na faixa dos 81,7°C.

O método de análise utilizado foi o método de Fator de Elevação de Temperatura (FET), apesar de que, poderia ser aplicado o método comparativo, porém seria necessário um motor do mesmo porte e executando as mesmas condições para fazer a comparação. O FET é o método é o mais eficaz, pois atende ao critério de carga, que seria de igual ou superior a 50 % da carga nominal, pois a carga medida foi de 32A e a carga nominal seria de 37,2A, desta forma seria aplicável.

Para fins de demonstração, foi feita análise pelos dois métodos (Figura 39 e 40), onde podemos comparar os valores dos resultados na Tabela 6.

Fatores de Correções		Editar
<i>Entre com os valores nas células amarelas</i>		Editar
In-Carga nominal (ampéres)	37,2	Não Editável
Im- Carga medida(ampéres)	32	
FCC	1,35141	
TFC	97,7593	
$\Delta TC$	61,7593	
Ta	36	
Tm	81,7	
FCVW	1	
$\Delta T_{m\acute{a}x}$	84	
Tmáx	120	
FET	0,73523	
Velocidade do Vento (m/s)	1	
FST	0,73523	

\* FCC=Fator de correção de carga

\* $\Delta TC$ =  
 \*Ta=Temperatura ambiente;  
 \*Tm=Temperatura medida  
 \*FCVW=Temperatura de correção da Velocidade do vento.  
 \*TFC= temperatura final corrigida;  
 \* $\Delta TC$ = elevação de temperatura corrida;  
 \* $\Delta T_{m\acute{a}x}$ = Elevação máxima de admissível;  
 \*Tmáx. = Elevação máxima admissível para o componente, normalmente especificada pelo fabricante.

Classificação	Providências
Muito aquecido	manutenção programada

Figura 39-Parâmetros aplicados pelo método FET.

Como se pode ver na Figura 39 os parâmetros inseridos no programa foram corrente medida (32A), corrente nominal (37,2A), temperatura ambiente (36°C), temperatura medida (81,7°C), temperatura máxima admissível (120°C) e velocidade do vento (1m/s).

Método Comparativo		Editar
<i>Entre com os valores nas células amarelas</i>		Editar
Temperatura Ambiente	36	Não Editável
Temperatura Medida	81,7	
Temperatura de Referencia	75	
$\Delta T$	6,7	
<b>Situação</b>		
Aquecido		
<b>Providências</b>		
em observação		

Figura 40- Parâmetros aplicados pelo método Comparativo

Na Figura 40 os parâmetros inseridos no programa foram temperatura ambiente (36°C), temperatura medida (81,7°C) e temperatura de referência (75°C).

	Valor Encontrado	Classificação	Valor de Referência
<b>Método Comparativo</b>	$\Delta T=6,7^{\circ}\text{C}$	Aquecido	Até $5^{\circ}\text{C}$
<b>Método de Fator de Elevação de Temperatura</b>	FET=0,735	Muito aquecido	Até 0,3

**Tabela 7-Comparação entre dos dois métodos.**

Como se pode ver na Tabela 7, há uma grande diferença entre os dois métodos, e devido ao fato de não existir outro motor com as mesmas características para ser tomado como referência, a temperatura utilizada de referência foi de  $75^{\circ}\text{C}$ , como mais próxima da temperatura ideal para o motor estando operando nas mesmas condições. Assim percebe-se que o método mais adequado é o FET.

#### **4.2.2 Manutenção corretiva do motor**

No dia 20 abril, aproveitando a parada da usina térmica, foi realizada uma manutenção corretiva no motor, com intuito de corrigir o ponto quente encontrado.

A primeira providência tomada foi abrir o motor e verificar se existia alguma anomalia (Figura 39)



**Figura 41-Motor MTI-005**

Foram encontradas duas anomalias, fáceis de serem corrigidas: a limpeza e a lubrificação de algumas partes do motor, como o eixo que mostra a Figura 42, e a troca dos rolamentos.



**Figura 42-Eixo antes da limpeza e lubrificação.**

Após a limpeza e lubrificação do eixo e de algumas peças do motor, foi feita a troca dos rolamentos antigos (Figura 43), por novos rolamentos.



**Figura 43- Rolamentos que serão trocados pelos novos.**

Para a troca dos rolamentos, foi utilizado um aquecedor indutivo (Figura 44) que serve para aquecimento do rolamento ao invés do uso de chama ou banho de óleo. Este equipamento produz fortes campos magnéticos alternados que induzem correntes circulares nos metais. As correntes causam aquecimento rápido, eficiente e de baixa voltagem, eliminando qualquer perigo de choques ou faíscas.



**Figura 44- Aquecedor indutivo.**

Logo que as peças foram aquecidas, foram introduzidas no eixo do motor (Figura 45), depois de colocados os rolamentos, feita limpeza, a lubrificação, foi montado novamente e feito o alinhamento do motor. O motor foi ligado, e o que pôde ser notado de imediato foi à diminuição da vibração, e o critério mais importante avaliado que era diminuição da temperatura do ponto quente, pôde ser verificado no dia 25 abril de 2012, quando foi feita uma nova inspeção termográfica. Na tabela 8 pode-se comparar a diferença da primeira inspeção para segunda inspeção, que aconteceu após a manutenção corretiva.



**Figura 45-Rolamento novo colocado no eixo.**

	Valor Encontrado	Classificação	Valor de Referência
Primeira inspeção	FET=0,735	Muito aquecido	Até 0,3
Inspeção após manutenção Corretiva	FET=0,540	Aquecido	Até 0,3

Tabela 8-Comparação entre antes e depois.

Podemos notar que houve uma grande melhora no FET, pois o equipamento saiu de uma área de muito aquecido para aquecido, com isso mudando o critério de providência de manutenção imediata para observação, sendo assim, o único cuidado a se ter após ação corretiva, é manter um controle de temperatura observando o equipamento mensalmente, a fim de evitar qualquer mudança inesperada. Na Figura 46 e 47 podemos ver os parâmetros inseridos e a imagem térmica após a manutenção corretiva; nota-se que houve uma melhora muito significativa em comparação a como estava antes.

Fatores de Correções		Editar
		Editar
Entre com os valores nas células amarelas		Não Editável
In-Carga nominal (ampéres)	37,2	
Im- Carga medida(ampéres)	32	
FCC	1,35141	
TFC	81,4073	
$\Delta T C$	45,4073	
Ta	36	
Tm	69,6	
FCVV	1	
$\Delta T m \acute{a} x$	84	
Tmáx	120	
FET	0,54056	
Velocidade do Vento (m/s)	1	
FST	0,54056	

\* FCC=Fator de correção de carga

\* $\Delta T C$ =  
 \*Ta=Temperatura ambiente;  
 \*Tm=Temperatura medida  
 \*FCVV=Temperatura de correção da Velocidade do vento.  
 \*TFC= temperatura final corrigida;  
 \* $\Delta T C$ = elevação de temperatura corrigida;  
 \* $\Delta T m \acute{a} x$ = Elevação máxima de admissível;  
 \*Tmáx. = Elevação máxima admissível para o componente, normalmente especificada pelo fabricante.

Classificação	Providências
Aquecido	em observação

Figura 46- Parâmetros aplicados após ação corretiva, método FET.

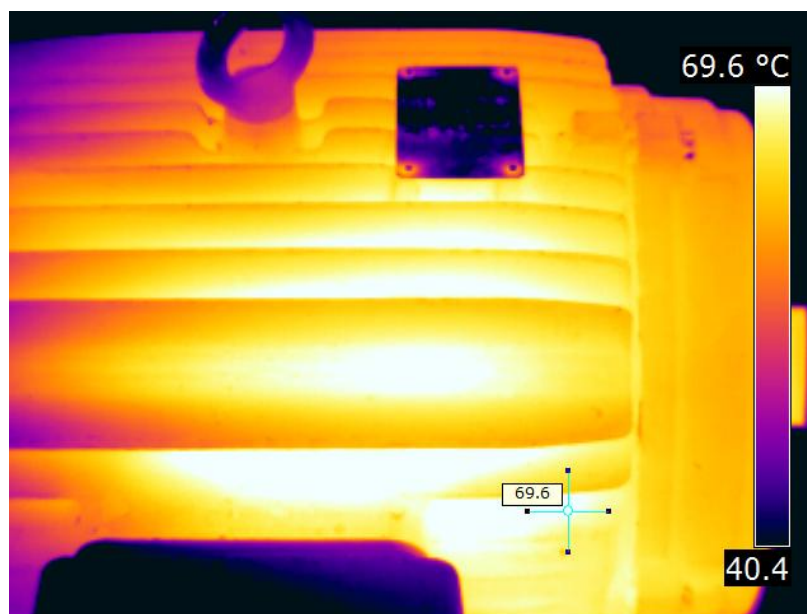


Figura 47- Imagem térmica do motor MTI-005, após a manutenção corretiva.

#### 4.2.3 Inspeção nos painéis de comando

Após inspeção nos motores da usina térmica, foi feita a inspeção em todos os painéis elétricos da mesma, contabilizando 8 painéis na sala de operação da usina, 1 na sala da turbina, 23 na sala de quadros de comandos e mais 7 cubículos.

De todos os painéis inspecionados não foi encontrado nenhuma anomalia, sendo assim, para fins didáticos, será feita análise de uma contatora do modelo WEG CWM9(Figura 48), ela apresentou a seguinte temperatura: 52,7°C, dentro da faixa normal que é de: 55°C, como pode se observar na Figura 49. O equipamento está localizado na sala de quadros de Comando, no painel com referência, PSC-016, CCM-Turbina, função acionamento de motores elétricos giro.

Devido as correntes medidas na contatora ser menor que 50% da corrente nominal não valendo o método de FET. Portanto o método aplicado é o comparativo, tendo como temperatura de referência 55°C.



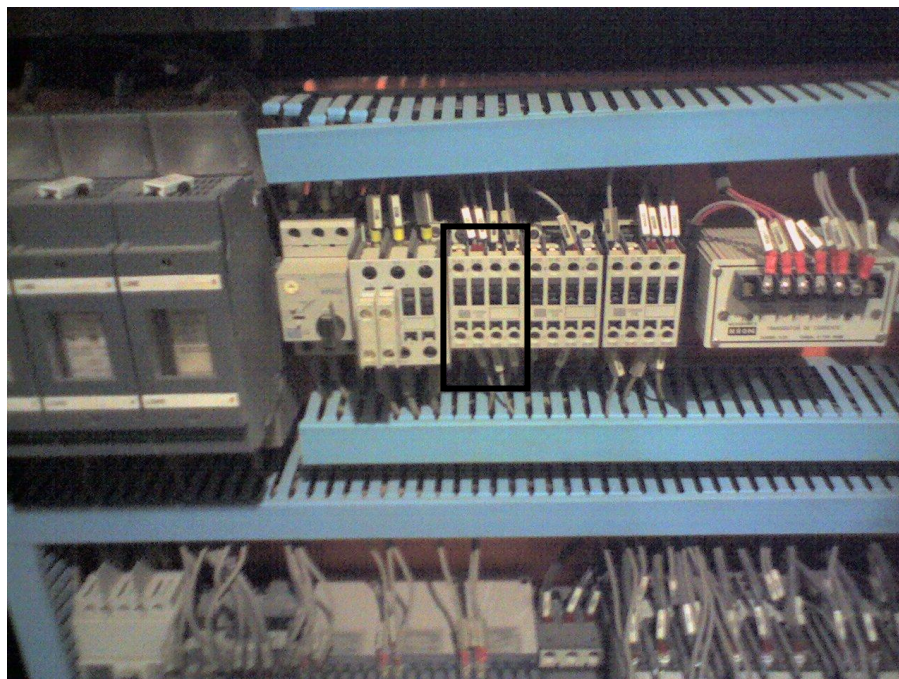


Figura 48-Foto da contatora WEG CWM9 do PSC-016



Figura 49-Imagem térmica da contatora do PSC-016

Na Figura 49, a temperatura do ponto quente fica em torno de 52,7°C.

Método Comparativo	
Entre com os valores nas células amarelas	
<input type="checkbox"/>	Editável
<input type="checkbox"/>	Não Editável
Temperatura Ambiente	<input type="text" value="36"/>
Temperatura Medida	<input type="text" value="52,7"/>
Temperatura de Referencia	<input type="text" value="55"/>
$\Delta T$	<input type="text" value="-2,3"/>
<b>Situação</b>	
Normal	
<b>Providências</b>	
normal	

Figura 50- Parâmetros aplicados após ação corretiva, método comparativo.

A Figura 50 apresenta um  $\Delta T$  de  $-2,3^{\circ}\text{C}$ , classificação normal.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da termografia facilita uma análise mais aprofundada em locais nos quais possivelmente haja defeito, o que antes, visto a olho nu, não seria facilmente percebido. Essa técnica permite um diagnóstico prévio da falha, através das emissões de radiações infravermelha e ultravioleta, que são transformadas em termogramas, facilitando a visualização das falhas.

Também foi possível concluir que, no caso da previsão do erro, é possível prolongar a vida útil do equipamento através de uma intervenção premeditada, assegurando um melhor desempenho do mesmo. Sendo uma ferramenta de suporte para o auxílio da equipe de manutenção, permitindo a eles contar com uma maior segurança quando forem executar uma manobra de manutenção.

Por ser desenvolvido na usina térmica da Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda., foi criado um programa de gestão de termografia, conforme o perfil da empresa, além de criar foi possível aplicar os métodos de análises de termografia nos painéis e motores elétricos, através disso pode mostrar resultados reais em campo.

A termografia é uma ótima ferramenta de manutenção preditiva, porém, para ter um êxito maior na sua aplicação, faz-se necessário a criação de um sistema de gestão para manipulações de imagens e também o acréscimo de outros estudos, como por exemplo: análise de vibrações, videoscopia, análise acústica, termometria, ferrografia, análise dos harmônicos elétricos (Assinatura Elétrica dos Equipamentos).

Através deste trabalho aplicado a CAAL, os dirigentes da empresa adquiriram um termovisor da marca Flir, modelo i7 conforme a Figura 47, para poder aplicar todo estudo e sistema feito para a empresa.



**Figura 51-Termovisor Flir i7, adquirido pela CAAL.**

Com a realização desta monografia foi possível ampliar o conhecimento que tínhamos sobre a termografia, tendo sido possível desenvolver uma ferramenta (de gestão) que facilitou aplicação desta técnica de manutenção preditiva. Entretanto, não houve tempo hábil para efetuar uma análise em todos os motores da usina, logo não foram criados os bancos de dados correspondentes.

Sobre o sistema de gestão da manutenção, recomenda-se que sejam mantidas sempre atualizadas as informações através da aquisição de novas imagens térmicas e que sejam emitidos relatórios sempre que houver uma nova inspeção.

Com este trabalho surge o interesse em aprofundar este estudo, com agregação de outras técnicas de manutenção preditiva que juntos com a termografia assegurarão uma melhor performance operacional dos equipamentos monitorados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **TB-23/91 Iluminação-Terminologia**. Dez/1991. Pp3.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR15424: Ensaio não destrutivo - Termografia – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2006. Pp1-2.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. PP.6-7.

Bastos, Antonio Claudio L. Moreira; Rodrigues, Elizabeth Maria Soares; De Souza, José Pio Iúdice. **Físico-Química**. Belém,UFPA, 2011

B. Leal, Marcos. **A historia da Termografia**, SobreTerm- Sociedade Brasileira de Termografia.

CAAL. **Historia**. Disponível em < <http://www.caal.com.br/site/paginas/ver/a-historia>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

Cantidio, Sandro. **Processo de solução de problemas com o uso do PDCA**. Disponível em <http://sandrocan.wordpress.com/tag/ciclo-pdca/>>. Acesso em: 30 jun. 2012.

CONTEC. **N-2472: Ensaio Não Destrutivo - Termografia**. S.L, 2007. Pp3-7

CONTEC. **N-2475: Inspeção termográfica em sistemas elétricos**. S.L, 2005. Pp7-9

CONTEC. **N-2482: Inspeção termográfica em equipamentos de processo**. S.L, 1998. P.4

Chrzanowski, K.**Non-Contact Thermometry - Measurement errors** .SPIE PL, Research and development Treaties, Vol. 7, Warsaw, 2001. p24.

C. Cardoso, Eduardo Mathias. **Procedimento para avaliação e correções das anormalidades detectadas com o termovisor**. Companhia Estadual de Energia Elétrica, Canoas-RS, 2006.p.2-3.

Dos Santos, Laerte. **Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas**, Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Federal de Itajubá, 2006.

E. Pelizzari, C. O. D. Martins, A. F. S. Menezes, A. Reguly. **Aplicações da termografia como ferramenta de manutenção preditiva em conectores elétricos**, Artigo, Porto Alegre-, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

Flir Systems LTD. **The Ultimate Infrared handbook for R&D professionals- A resource guide for using infrared in research and development industry**, United Kingdom, nd. p25-33.

Florenzano, Tereza Gallotti. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

Fluke Corporation e The Snell Group. **Introdução aos princípios da termografia**, American Technical, 2009.

G, Giovane. **Termografia em Painéis Elétricos: Análise em Disjuntores Motor**, Joinville - SC: SENAI, 2009. p14-16.

Holst, G. C. **Common Sense to Approach to Thermal Imaging**, JCD Publishing and SPIE Optical Engineering Press, 2000.

Incropera, Frank P. Et. Al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 3° ed. LTC, Rio de Janeiro, RJ. 1992.

Infrared Training Center. **Curso de Termografia. Sorocaba-SP**, nd. Pp.7

Moro. Norbeto, Auras. P. André. **Introdução à gestão da manutenção**. Apostila, Florianópolis, SC: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007. P15-20.

Nd, **Termografia**, disponível em:

<<http://thermalview.com.br/whatis/area.htm>>, Acessado em outubro de 2011.

O. Braga, Paulo Roberto. **Estudos de casos com termovisor P-65 Flir**. Apresentação da Eletrobras-Eletronorte, nd.

Peter Atkina, Loretta Jones. **Princípios de Química - Questionando a vida moderna e o meio ambiente**, Universidade de Northern Colorado, Ed. Bookman, Reimpressão 2002.

Reativa Service Engenharia Elétrica. **Termografia no Brasil**, disponível em:

<<http://termografiabrasil.blogspot.com/p/o-que-e-termografia.html>>, Acessado em outubro de 2011.

Ribeiro, Celso Ricardo. **Processo de implementação da manutenção produtiva total (T.P.M.) na indústria brasileira. Monografia**, Taubaté, SP: universidade de Taubaté, 2003. P9-10.

### **ANEXO A- Relação dos painéis da sala operação usina.**

<b>Código</b>	<b>Nº</b>	<b>Especificação</b>	<b>Descrição</b>
<b>PSO</b>	001	Painel de controle e proteção do gerador	Leitura proteção do gerador.
<b>PSO</b>	002	Painel do CLP gerador e turbina.	Controla toda a operação geradora e turbina.
<b>PSO</b>	003	Sistema de controle caldeira	Controle toda a operação caldeira.
<b>PSO</b>	004	Painel de interconexão com a concessionária	Interliga a usina com a AESUL.
<b>PSO</b>	005	Painel remoto versar Max pátio Biomassa	Controla toda Biomassa.
<b>PSO</b>	006	Sistema de controle e supervísório	Interligação com o sistema supervísório.
<b>PSO</b>	007	Sistema de controle e supervísório	Interligação com o sistema supervísório.
<b>PSO</b>	008	Sistema de controle e supervísório	Interligação com o sistema supervísório.
<b>PSO</b>	009	Sala da turbina do gerador	Controle de toda a função turbina.
<b>PSO</b>	009b	Sala da turbina do gerador	Controle de toda a função turbina.



**ANEXO B- Relação dos painéis da sala quadros de comandos.**

<b>Código</b>	<b>Nº</b>	<b>Especificação</b>	<b>Descrição</b>
PSC	001	CCM- caldeira	Entrada principal.
PSC	002	CCM- caldeira	Acionamento de exaustor de tiragem.
PSC	003	CCM- caldeira	Acionamento de exaustor de tiragem.
PSC	004	CCM- caldeira	Acionamento das bombas de alimentação caldeira.
PSC	005	CCM- caldeira	Acionamento ar primário e ar secundário.
PSC	006	CCM- caldeira	Acionamento bombas intermediária p/desaerador.
PSC	007	CCM- caldeira	Acionamento da alimentação superior.
PSC	008	CCM- caldeira	Partidas diretas.
PSC	009	CCM- caldeira	Partidas diretas.
PSC	010	CCM- caldeira	Partidas diretas.
PSC	011	CCM- caldeira	Partida motores grelhado.
PSC	012	CCM- turbina	Entrada principal.
PSC	013	CCM- turbina	Acionamento bombas circulação de H2O, torres de resfriamento 1.
PSC	014	CCM- turbina	Acionamento bombas circulação de H2O, torres de resfriamento 1.1.
PSC	015	CCM- turbina	Acionamento das torres de resfriamento 1 e 2.
PSC	016	CCM- turbina	Acionamento de motor elétrico giro lento.
PSC	017	CCM- turbina	Acionamento partidas diretas.
PSC	018	Quadro de transferência automática	Acionamento e controle do gerador diesel.
PSC	019	Quadro geral de toda distribuição da usina	Entrada do gerador de emergência.
PSC	020	QGBT	Entrada principal.
PSC	021	QGBT	Saída alimentador, CCM-turbina e CCM-caldeira.
PSC	022	QGBT	Saídas para os demais alimentadores: iluminações, compressor, tomadas.
PSC	023	QGBT	Controle do fator de potência da Usina

### **ANEXO C- Relação dos cubículos da sala quadros de comandos**

<b>Código</b>	<b>Nº</b>	<b>Especificação</b>	<b>Descrição</b>
<b>CUB</b>	001	Cubículo de surtos	Cubículo de proteção do gerador.
<b>CUB</b>	002	Cubículo saída do gerador	Alimentar barra de 13,8 KV.
<b>CUB</b>	003	Cubículo rebaixador 13,8 KV	Alimentação do TR auxiliar da usina.
<b>CUB</b>	004	Cubículo de proteção 13,8 KV	Alimenta com 13,8 KV TR elevador.
<b>CUB</b>	005	Cubículo de proteção 22,1 KV	Alimenta a barra com 23 KV.
<b>CUB</b>	006	Cubículo de interligação c/concessionária	Interliga a Usina com a Concessionária.
<b>CUB</b>	007	Cubículo do alimentador 24 KV	Alimenta Todo o Parque Industrial.

### ANEXO D- Relação de Motores Usina Termelétrica CAAL

Item	Especificação	Potência		N° Pólos	Marca
		CV	KW		
1	Rosca sem Fim 1	1,5	1,104	4	SEW
2	Rosca sem Fim 1.1	1,5	1,104	4	SEW
3	Elevador de Canecas 1	1,5	1,104	2	SEW
4	Elevador de Canecas 1.1	1,5	1,104	2	SEW
5	Rosca sem Fim 2	3	2,208	2	SEW
6	Rosca sem Fim 2.1	3	2,208	2	SEW
7	Rosca sem fim 3	3	2,208	2	SEW
8	Rosca sem Fim 3.1	3	2,208	2	SEW
9	Rosca sem Fim 4	4	2,944	4	SEW
10	Rosca sem Fim 4.1	4	2,944	4	SEW
11	Rosca sem Fim 5	4	2,944	4	SEW
12	Rosca sem fim 5.1	4	2,944	4	SEW
13	Elevador de Canecas 2	3	2,208	4	SEW
14	Elevador de canecas 2.1	3	2,208	4	SEW
15	Rosca sem Fim 6	4	2,944	4	SEW
16	Rosca sem Fim 6.1	4	2,944	4	SEW
17	Elevador se Canecas 3	1,5	1,104	2	SEW
18	Elevador de Canecas 3.1	1,5	1,104	2	SEW
19	Rosca sem Fim 7	1,5	1,104	4	SEW
20	Rosca sem Fim7. 1	1,5	1,104	4	SEW
21	Ventilador Captador de Pó	7,5	5,52	2	Eberle
22	Exaustor de Tiragem	175	128,8	6	WEG
23	Bomba Alimentação de Água Caldeira 1	150	110,4	4	WEG
24	Bomba Alimentação de Água Caldeira 1.1	150	110,4	4	WEG
25	Bomba Intermediária para Desaerador 1	7,5	5,52	2	WEG
26	Bomba Intermediária para Desaerador 1.1	7,5	5,52	2	WEG
27	Ventilador de Ar Primário	20	14,72	8	WEG
28	Ventilador de Ar Secundário	25	18,4	4	WEG
29	Rosca de Alimentação Superior 1	3	2,208	4	WEG
30	Rosca de Alimentação Superior 2	3	2,208	4	WEG
31	Rosca de Alimentação Superior 3	3	2,208	4	WEG

32	Rosca de Alimentação Superior 4	3	2,208	4	WEG
33	Rosca de Alimentação Inferior 1	3	2,208	4	WEG
34	Rosca de Alimentação Inferior 2	3	2,208	4	WEG
35	Rosca de Alimentação Inferior 3	3	2,208	4	WEG
36	Rosca de Alimentação Inferior 4	3	2,208	4	WEG
37	Unidade hidráulica Grelha 1	7,5	5,52	4	WEG
38	Unidade hidráulica Grelha 2	7,5	5,52	4	WEG
39	Bomba de Injeção Química 1	0,75	0,552	4	WEG
40	Bomba de Injeção Química 2	0,75	0,552	4	WEG
41	Bomba de Injeção Química 3	0,75	0,552	4	WEG
42	Mexedor Tanque de Injeção Química 1	0,33	0,2429	4	WEG
43	Mexedor Tanque de Injeção Química 2	0,33	0,2429	4	WEG
44	Mexedor Tanque de Injeção Química 3	0,33	0,2429	4	WEG
45	Rosca de Cinza grelhado 1	1	0,736	4	WEG
46	Rosca de Cinza grelhado 2	1	0,736	4	WEG
47	Rosca de Cinza grelhado 3	1	0,736	4	WEG
48	Rosca de Cinza grelhado 4	1	0,736	4	WEG
49	Rosca de Cinza grelhado 5	1	0,736	4	WEG
50	Rosca de Cinza Câmara de Combustão	2	1,472	4	WEG
51	Rosca de Cinza Câmara de Pós- Queima	2	1,472	4	WEG
52	Rosca de Cinza Economizador	1	0,736	4	WEG
53	Rosca de Cinza Externa 1	3	2,208	4	WEG
54	Rosca de Cinza Externa 1.1	3	2,208	4	WEG
55	Rosca de Cinza Externa 2	3	2,208	4	WEG
56	Rosca de Cinza Externa 2.1	3	2,208	4	WEG
57	Rosca de Cinza Externa 3	3	2,208	4	WEG
58	Rosca de Cinza Externa 3.1	3	2,208	4	WEG
59	Rosca de Cinza Externa 4	3	2,208	4	WEG
60	Rosca de Cinza Externa 4.1	3	2,208	4	WEG
61	Válvula Rotativa do Economizador 1	0,5	0,368	4	SEW
62	Válvula Rotativa Silo de Cinza	0,5	0,368	4	SEW
63	Válvula Rotativa para Multiciclone	0,5	0,368	4	WEG
64	Válvula Rotativa para Filtro de Mangas	0,33	0,2429	4	SEW

65	Rosca de Cinza Multiciclone e Filtro de Mangas 1	4	2,944	4	Siemens
66	Rosca de Cinza Multiciclone e Filtro de Mangas 2	4	2,944	4	SEW
67	Elevador de Canecas para as Cinzas 1	7,5	5,52	4	WEG
68	Elevador de Canecas para as Cinzas 1.1	0,75	0,552	4	SEW
69	Rosca Extratora do Silo de Cinza 1	5	3,68	4	WEG
70	Rosca Extratora do Silo de Cinza 2	5	3,68	4	WEG
71	Rosca de Cinza para Silo de Cinza	2	1,472	4	WEG
72	Sopradores de Fuligem 1	1	0,736	4	WEG
73	Sopradores de Fuligem 2	0,33	0,2429	4	WEG
74	Sopradores de Fuligem 3	0,33	0,2429	4	WEG
75	Sopradores de Fuligem 4	0,33	0,2429	4	WEG
76	Sopradores de Fuligem 5	0,33	0,2429	4	WEG
77	Bomba Sistema Desmi 1	3	2,208	2	WEG
78	Bomba Sistema Desmi 1.1	3	2,208	2	WEG
79	Bomba de Alimentação Desmi 1	1,5	1,104	2	WEG
80	Bomba de Alimentação Desmi 1.1	1,5	1,104	2	WEG
81	Bomba Poço Filtro 1	15	11,04	2	KSB
82	Bomba Poço Filtro 1.1	15	11,04	2	KSB
83	Bomba Tanque de Ácido	0,5	0,368	4	KSB
84	Bomba Tanque de Soda	0,5	0,368	4	KSB
85	Bomba Circulação de Água torres de Resfriamento 1	350	257,6	4	WEG
86	Bomba Circulação de Água torres de Resfriamento 1.1	350	257,6	4	WEG
87	Exaustor Torres de Resfriamento 1	50	36,8	4	WEG
88	Exaustor Torres de Resfriamento 1.1	50	36,8	4	WEG
89	Motor Elétrico de Giro Lento	12,5	9,2	4	WEG
90	Bomba Condensado 1	15	11,04	4	WEG
91	Bomba Condensado 1.1	15	11,04	4	WEG
92	Bomba de Drenagem do Filtro	1	0,736	4	WEG
93	Bomba de Óleo Auxiliar	20	14,72	4	WEG
94	Bomba Refrigeração da Cinza	15	11,04	2	WEG
95	Exaustor de Nevoa	1,5	1,104	2	WEG

96	Bomba Resfriamento do Óleo	10	7,36	2	WEG
97	Bomba Alimentação Água da Torre 1	7,5	5,52	2	WEG
98	Bomba Alimentação Água da Torre 1.1	7,5	5,52	2	WEG
99	Bomba Pé Elevador 2.0 e 2.1	3	2,208	4	WEG
100	Bomba Fosso de Cinza	2	1,472	4	WEG
101	Exaustor de cima Caldeira 1	1	0,736	4	WEG
102	Exaustor de cima Caldeira 1.1	1	0,736	4	WEG
103	Compressor de Ar	30	22,08	2	WEG

Itens:

22, 23, 24, 27, 28, 37, 38, 50, 52, 85, 86, 90, 91 e 103- Motores Importantes.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 87, 88-Motores de Pouca Importância (importantes também, porém não tão importantes como os MTI).

Os itens restantes se encaixam nos demais motores, que são importantes para o bom funcionamento da usina, mas não com a importância dos MTI e MPI.

## ANEXO E- Histórico

Para começar a descrever a criação da Usina Térmica da Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda., será feito uma breve síntese de como surgiu a Cooperativa.

Conforme o histórico descrito no site da CAAL, a Cooperativa começou antes mesmo de sua fundação, pois é obra de uma trajetória cooperativista que remonta a meados do século 20.

Em 20 de dezembro de 1948, surgiu o início do cooperativismo através de um grupo de produtores visionários que realizaram a primeira assembleia.

Em 1949 foi fundada a Cooperativa Arrozeira Alegretense.

Em 3 de dezembro de 1977, com a união da Cooperativa Orizícola Progresso que já havia incorporado a Cooperativa Tritícola, a CAAL então teve sua fundação (Figura 21).

Em 1999 a CAAL incorporou a Cooperativa Rizícola Santa Terezinha, vindo a se tornar a única cooperativa de arroz do município de Alegrete.



**Fonte:** <http://www.caal.com.br/site/paginas/ver/a-historia>

**Figura 52-Foto da CAAL na década de 70.**

## **ANEXO F- Histórico da usina térmica da cooperativa agroindustrial Alegrete Ltda**

A cooperativa sempre teve um pensamento voltado ao crescimento, com esse pensamento, a CAAL sempre buscou atuações sustentáveis. A partir disso, foi feito um projeto elaborado para construção da usina termoeletrica, com capacidade nominal instalada de 3,8 Megawatts.

A energia gerada pela CAAL pode ser comparada ao suprimento de uma pequena cidade de 40 mil habitantes; ela retira do meio ambiente aproximadamente 45 mil toneladas de carbono anualmente, além disso, conta com um sistema de filtragem formado por um conjunto de 490 mangas filtrantes que controla e retém a emissão de gases e partícula dos resultantes da queima de casca de arroz.

As cinzas da queima da casca são utilizadas para recuperação de solo degradado, proporcionando um grande benefício ao meio ambiente.

De acordo com informações de documentos e de relatos coletados com os funcionários mais antigos, que participaram desde o início das obras, coletamos as seguintes informações:

Em 1997, surgiu a ideia de construir uma Usina Termoeletrica que se aproveitasse da casca de arroz, então, com essa ideia, iniciaram-se as negociações com as empresas construtoras.

Em 2007, depois de vários anos em negociações, iniciou-se a construção da parte física da Usina.

Em maio de 2009, depois de estarem finalizadas as construções, iniciaram-se os testes, para só depois, entrar em pleno funcionamento.

Em janeiro de 2010, depois de finalizadas todas as fases de testes e de adaptações, teve início à geração.

Em 2012, será disponibilizada a energia excedente gerada pela Usina Termoeletrica CAAL para câmara de comercialização de energia elétrica comercializar.