

**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

HELGNER BORGES ARAÚJO

Orientador: Prof. Eng. RONALDO LOURENÇO FERREIRA

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

RIO VERDE – GOIÁS

2014

**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

HELGNER BORGES ARAÚJO

Orientador: Prof. Eng. RONALDO LOURENÇO FERREIRA

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

RIO VERDE – GOIÁS

2014



**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

HELGNER BORGES ARAÚJO

Esta monografia foi julgada adequada para obtenção do grau de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA** e aprovada em sua forma final.

Prof. Esp. Ronaldo Lourenço Ferreira
Orientador

Prof. Ms. João Pires de Moraes
Examinador

Prof. Esp. Ludmylla Gomes Cabral
Examinador

Prof. Ms. João Pires de Moraes
Dir. da Faculdade de Eng. Mecânica

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a minha avó Isoldivina Dias Borges, Cleber Borges Araújo, sua esposa Adriele keite Borges Araújo, sua filha Emily Borges Araújo, meus pais Valtuir Gonçalves Araújo e Marlene Dias Borges Arújo. Em especial, minha esposa Daiane da Silva Freitas Araújo, minha filha Isabelle Freitas Araújo e meus amigos Evandro Nunes Souza e Marcelo Luiz Borges, e à todos que me apoiaram na concretização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus todo poderoso que ilumina nossos caminhos e nos protege todos os dias de nossas vidas, à minha esposa Daiane e a minha filha Isabelle que renunciaram às poucas oportunidades de lazer, para serem as maiores incentivadoras e parceiras nessa caminhada rumo a um futuro melhor para nossa família. Aos meus pais, Valtuir e Marlene, por me apoiarem sempre que precisei.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde, por cederem seus conhecimentos e experiências durante esse período de cinco anos de graduação e que são os responsáveis diretos pelo profissional que me tornarei futuramente.

Ao Prof. Eng. RONALDO LOURENÇO FERREIRA, pelo tempo dedicado à orientação deste trabalho e por ter acreditado em meu potencial.

Aos meus amigos e colegas de graduação, em especial, Evandro Nunes que por várias vezes auxiliou-me no entendimento das matérias estudadas, e ao amigo Marcelo Luiz Borges que me ajudou desde a elaboração do tema desta monografia, até o desenvolvimento da parte prática, também por ceder sua bancada didática para o desenvolvimento do mesmo, e por fim, a todos que contribuíram para a realização deste.

RESUMO

BORGES ARAÚJO, Helgner. Termografia infravermelha. 2014. 25f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - UniRV - Universidade de Rio Verde , 2014.

Em busca da redução de custos e na tentativa de evitar o tempo que se perde na quebra de máquinas e equipamentos, as empresas buscam novas formas de desenvolver a manutenção e a inspeção de seu maquinário, sendo hoje fundamental nos processos de produção a manutenção preditiva, pois permite descobrir e corrigir as falhas em seu estado inicial, o que a torna cada vez mais eficiente e indispensável no dia a dia de praticamente toda e qualquer indústria. Dessa forma, um dos métodos que vêm crescendo no mercado de manutenção preditiva é o de análise termográfica, que por ser um método de manutenção de baixo custo, ter um infinito campo de aplicação, podendo ser utilizada sem precisar interromper o processo de produção. O olho humano não é capaz de compreender a radiação infravermelha emitida pelos corpos, porém as câmeras termográficas podem medir esta radiação através de sensores infravermelhos, capacitados para captar estas longitudes de ondas. A termografia é um tipo de ensaio não destrutivo que por sua vez, permite a obtenção das temperaturas e um completo relatório das distribuições de calor nos componentes, se utiliza de sistemas de infravermelhos e tem como objetivo fornecer informações reativas às condições operacionais de componentes, equipamentos ou de todo o processo. A termografia infravermelha permite captar a temperatura de um objeto ou uma superfície sem manuseá-la. Sendo assim, podemos transformar as leituras da radiação infravermelha em medições de temperatura, isso acontece medindo a radiação infravermelha emitida do espectro eletro magnética da superfície ou do objeto transformando estas informações em sinais elétricos.

PALAVRAS-CHAVE:

Manutenção Preditiva, temperatura, análise termográfica.

ABSTRACT

BORGES ARAÚJO, Helgner. Infraredthermography. 2014 f 25. Monograph (GraduateMechanicalEngineering) - UniRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2014.

In pursuit of cost reductions and avoiding wasting of time regarding broken machinery and equipment, companies seek for other ways of developing the maintenance and inspection of their goods, being, nowadays, essential in process of production the predictive diagnostic that allows to find out and correct flows in early stages, becoming more efficient and indispensable to most industry every day, thus, one of the methods which is growing in the predictive maintenance Market is the thermo graphic analysis, by being a low cost method of maintenance, having an infinite usage field and it may be used without interrupting the production process. The human eye is not able to realize the infrared radiation emanated by bodies, although thermo graphic cameras can measure this radiation through infrared sensors enable to catch those wavelengths. The thermography, which is a type of non-destructive test that allows the achievement of temperatures and a complete report of heat allocations in the components in infrared systems, has its goals as supplies reactive information to operational circumstances of components, equipment's or all the process. The infrared thermography allows getting the temperature of an object or a surface without touching it. Thereby, we can convert the infrared radiation reports into temperature measurement, so this happens by measuring the infrared radiation emanated by the electromagnetic spectrum from the surface or object changing this information into electric signs.

KEYWORDS:

Predictive Maintenance, temperature,

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1– Sir Frederick William herschel (1738-1822).....	15
FIGURA 2– Evolução dos termovisores.	17
FIGURA 3– Espectro eletromagnético.....	22
FIGURA 4– termograma de uma xícara com café	24
FIGURA 5– Exemplo de diferentes paletas existentes.....	25
FIGURA 6– Exemplo de folha de alumínio amassado	27
FIGURA 7– Exemplo de emissividade da fita isolante.....	28
FIGURA 8– Exemplo de inserção de parâmetros no termovisor	29
FIGURA 9– Imagem da bancada didática.....	30
FIGURA 10– Desenho técnico engrenamento redutor cestaria.....	30
FIGURA 11– Imagens térmicas do redutor em perfeito estado de funcionamento.....	31
FIGURA 12– Imagens da engrenagem motora com um dente quebrado.....	32
FIGURA 13– Imagens térmicas do redutor após funcionamento com o dente quebrado	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	12
1.2	Estruturas do trabalho	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Tipos de manutenção	17
2.1.1	Manutenção corretiva	17
2.1.2	Manutenção preventiva	18
2.1.3	Manutenção preditiva	18
3	TEORIAS ENVOLVIDAS	19
3.1	Calor	19
3.2	Temperatura	19
3.3	Tipos de transferência de calor	20
3.3.1	Condução	20
3.3.2	Convecção	20
3.3.3	Radiação	20
3.4	Espectro eletro magnético	22
3.5	Emissividade	22
3.6	Corpo negro	23
3.7	Termovisor	23
3.7.1	Termograma	23
3.8	Faixa de temperatura	24
3.9	Amplitude e nível	24
3.10	Paletas	24
3.11	Foco térmico	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1	Metodologia aplicada para determinação das propriedades térmicas	26
4.2	Umidade relativa do ar	26
4.3	Medindo a distância	27
4.4	Temperatura refletida	27
4.5	Emissividade do alvo	28
4.6	Ajustando o foco	28
4.7	Inserindo os parâmetros no termovisor	29
4.8	Projeto de bancada didática	29

4.8.1	Montagem da bancada didática	29
4.9	Desenvolvimento do projeto	30
4.9.1	Foto térmica do redutor com engrenamento original	30
4.9.2	Foto térmica do redutor com engrenamento comprometido	32
4.10	Avaliação da imagem térmica	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6	CONCLUSÃO	35
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

Rpm. – rotação por minuto

Hp. – horsepower

Cv. – cavalo vapor

Hz. – hertz

V. – volt

Kw. – quilowatt

mm. – milímetros

cm. – centímetros

C. – célsius

M/s. – metros por segundo

Nm. – nanmetro

K. – quilo

Kg. – quilo gramas

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido no intuito de obter conhecimento sobre uma técnica de manutenção preditiva que está em grande ascensão no mercado, pois é uma técnica que possibilita prolongar a vida útil e quantificar a eficiência do sistema, evitando paradas inesperadas no processo, visto que permite antecipar o defeito e assim programar o conserto em datas e horários propícios, onde não haja prejuízos na interrupção do processo.

O relatório por imagens térmicas revelou-se uma ferramenta de muito valor para diagnosticar falhas e anomalias que são impossíveis de se observar sem o auxílio das câmeras termográficas. O principal aspecto que agrega tanto valor a este tipo de análise é sua praticidade, podendo ser aplicada sem necessitar a parada do processo e por não precisar de muitos equipamentos, sendo que os necessários são de pequeno porte e alta eficiência gerando imagens de alta resolução e diagnóstico imediato.

O benefício adquirido através deste tipo de análise, o torna muito atrativo ao mercado global, pois possui ampla aplicação seja na mecânica, elétrica, medicina, ou fins militares e estatais, possibilitando facilidade, eficiência e ótimo resultado, gerando um excelente custo benefício.

1.1 Objetivos

O objetivo do trabalho é abordar o assunto da captação de temperatura por radiação infravermelha, uma técnica de manutenção preditiva utilizada atualmente para inspeção de máquinas e de equipamentos utilizados no processo produtivo, objetiva ainda, fazer a apresentação do aparelho utilizado na termografia e no termovisor.

1.2 Estruturas do trabalho

Sua estrutura visa atender às exigências do curso de Engenharia Mecânica, oferecido pela UNIRV – Universidade de Rio Verde.

O presente trabalho foi organizado em quatro blocos: introdução, revisão bibliográfica, desenvolvimento e conclusão.

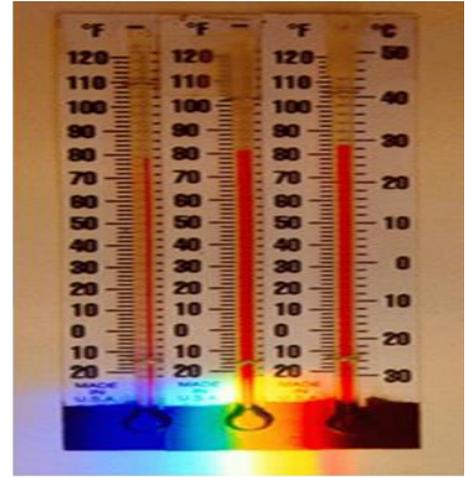
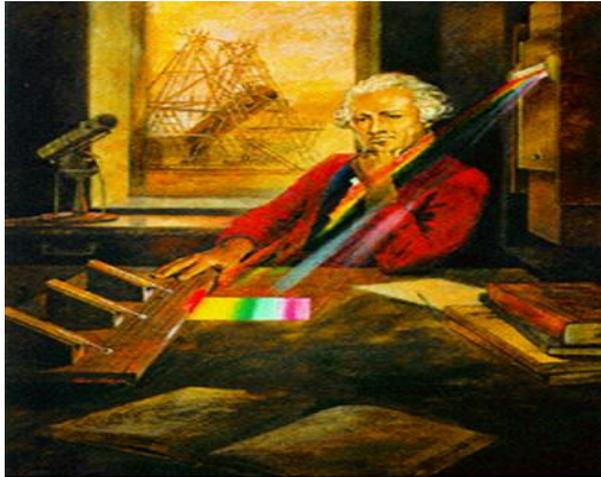
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1800, o alemão Friedrich Wilhelm Herschel, mais conhecido por Sir William Herschel, astrônomo do rei inglês, George III, e descobridor do planeta Urano, procurava um meio de abrigar seus olhos quando observava o Sol através de telescópios e, ao testar a amostragem de vidros coloridos, observou que algumas deixavam passar mais calor do que outras, (Maldague & Moore, 2001).

Na procura de descobrir um único material, que pudesse atenuar o calor e proteger seus olhos do brilho do sol, repetiu a experiência que Marsilio Landriani havia realizado em 1777, (Rogalski & Chrzanowski, 2002).

Com o auxílio de um prisma e três termômetros de mercúrio com os bulbos pintados de preto, Herschel mediu a temperatura das várias partes de cor da luz do sol refratadas através do prisma e incididas em um anteparo como podemos observar na figura 1. Notou um aumento de temperatura da cor violeta para a cor vermelha, como havia sido observado anteriormente por Landriani, entretanto, observou também que o maior pico de temperatura ocorria na região escura, além do vermelho, (Maldague & Moore, 2001).

Décadas mais tarde essa região do espectro eletromagnético passou a ser chamada de Região Infravermelha e a radiação, de Radiação Infravermelha, (Richards, 2001). Herschel publicou os resultados dos seus experimentos em um artigo para a *Philosophical Transactions of Royal Society*, (AGA, 1969).



Fonte: www.medical-thermography.com

FIGURA 1– Sir Frederick William Herschel (1738-1822).

John Frederick William Herschel, filho de Sir William Herschel, publicou em 1840 um artigo no qual descrevia um arranjo usado para gravar imagens infravermelhas do espectro solar. Esse arranjo incidia de um prisma que arremessava a luz do sol sobre um papel preto, muito fino, imerso em uma solução de tinta a álcool colorido, as ondas de luz absorvidas pelo papel davam diferentes taxas de evaporação da solução de tinta, o que resultava em uma rudimentar imagem térmica pintada no papel, (Richards, 2001).

Essa foi a primeira imagem de infravermelho registrada, esta técnica foi aprimorada em 1929 por Marianus Czerny que inventou o Evaporograph, (Holst, 2000).

O Evaporography era um sistema de processamento de imagens infravermelhas que usava uma fina película de óleo volátil aplicado a uma fina membrana absorvente e se baseava na evaporação diferencial do óleo, (Richards, 2001).

Em 1880 o bolômetro foi inventado por Samuel Pierpont Langley e melhorado por Charles Greeley Abbot. Bolômetro é um detector térmico que consiste de uma ponte de Wheatstone, na qual é conectada a um dos seus braços uma fina tira de platina escurecida, cuja condutividade elétrica varia quando aquecida por uma radiação incidente, (Gaussorgues, 1994).

No ano de 1892, Sir James Dewar introduziu o uso de gases liquefeitos como agentes de refrigeração e inventou um recipiente isolado a vácuo, conhecido como frasco Dewar, no qual era possível conter gases liquefeitos por dias inteiros, A partir de 1900, muitas patentes relacionadas a dispositivos de detecção por infravermelho foram emitidas, mas o grande desenvolvimento da termografia foi resultado do interesse militar que já na I Guerra Mundial

desenvolvia sistemas experimentais de detecção do inimigo. Um sistema de infravermelho testado naquela época permitia detectar um avião a uma distância de 1500 metros ou uma pessoa a mais de 300 metros, (AGA, 1969).

Em 1917, Case criou o primeiro fotodetector dispositivo baseado na interação direta entre os fótons da radiação incidente e elétrons do material, cuja sensibilidade e tempo de resposta eram superiores às do bolômetro, (Maldague & Moore, 2001).

Com o desenvolvimento do fotodetector, programas de pesquisa militar na área de processamento de imagens térmicas, se intensificaram e durante a II Guerra Mundial obtiveram grandes avanços no desenvolvimento da visão noturna, pois os mísseis eram guiados pelo calor e o primeiro scanner de linha fornecia o perfil de temperatura ao longo de uma linha, para formar uma imagem bidimensional que necessitava do deslocamento relativo do objeto analisado, (Tavares, 2003).

Com a inclusão em 1954 de um sistema de varredura óptico-mecânico ou eletrônico, os equipamentos puderam formar uma imagem bidimensional e mesmo assim, um Termovisor levava 45 minutos para criar uma imagem. Só em meados da década de 60 é que foi desenvolvido o primeiro Termovisor de tempo real, capaz de produzir 20 imagens por segundo, nesta ocasião se iniciou a comercialização de Termovisores, (Holst, 2000).

No início da década de 70 chegou ao Brasil os primeiros Termovisores, estes aplicavam detectores resfriados a nitrogênio líquido, sistemas de varredura ópticos-mecânicos para formar as imagens térmicas e a temperatura do objeto inspecionado era obtida através de cálculos, (Santos, 2006).

Detectores de resfriamento criogênico evoluíram de refrigerados eletricamente para detectores sem resfriamento, cujo sistema de varredura óptico- mecânico foi o peso que nos anos 70 chegava mais próximo dos 40 kg, sendo diminuído para menos de 2 kg. As leituras de temperatura passaram a ser visitadas diretamente através do monitor do Termovisor e a sensibilidade térmica aumentou consideravelmente, atualmente os Termovisores são portáteis como podemos observar na figura 2 e podem ser conectados ao computador, pois possuem softwares para análise das imagens (Santos, 2006).



Fonte: Santos, 2006

FIGURA 2– Evolução dos termovisores.

2.1 Tipos de manutenção

A manutenção é definida como sendo um apanhado de atividades e recursos aplicados aos equipamentos, na intenção de garantir o seu bom funcionamento dentro dos parâmetros de disponibilidade, (Mirshawka, 1993).

O termo é utilizado para abordar a forma na qual as organizações tentam evitar falhas, cuidando de suas instalações físicas, onde o autor enfatiza que a manutenção é uma parte importante da maioria das atividades de produção, e afirma ainda que em algumas operações, as atividades de manutenção serão responsáveis por parte significativa do tempo e da gerência de produção, (santos, 2006). Ainda é comum certa confusão quanto à nomenclatura utilizada para definir os tipos de manutenção, os nomes podem variar, mas o conceito deve estar bem compreendido, conforme mostrado a seguir, pois permitem a escolha do tipo mais conveniente para um determinado equipamento, instalação ou sistema, (Comitti, 2004).

2.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva somente corrige as falhas sem descobrir as causas que levaram a quebra da máquina, (santos, 2006). Trata-se da manutenção feita na máquina ou equipamento que por sua vez já apresenta algum defeito ou falha em seu funcionamento, ou seja, é a execução do reparo propriamente dito, substituindo ou reparando a peça ou maquinário comprometido, sendo que neste caso, o reparo é feito já com o processo parado. Isso dificulta a estimativa da produção, por não saber quando as paradas vão ocorrer e nem o tempo gasto para o reparo, (Garrido, 2009).

2.1.2 Manutenção preventiva

Este tipo de manutenção trata de realizar os consertos e a substituição das peças em intervalos de tempos já estipulados ou ainda seguindo critérios fixados no intuito de reduzir a perda dos rendimentos, sendo feita as interferências nas máquinas ou equipamentos que ainda não apresentaram defeitos, porém essa manutenção é feita segundo critérios já estabelecidos que na maioria das vezes, são definidos por hora ou período de funcionamento, (Mirshawka, 1993).

2.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção é feita na máquina ou equipamento através de um exame ou teste, a fim de localizar o defeito ou ponto vulnerável e programar sua correção em um momento propício, onde não haja prejuízos na parada da linha de produção. Sendo assim, as falhas podem ser encontradas e corrigidas em seus estágios iniciais, antes que se tornem falhas capazes de provocar a interrupção no processo produtivo, podendo diminuir os custos e o tempo de intervenção através do conhecimento prévio dos defeitos a serem corrigidos, aumentando a disponibilidade dos equipamentos para o processo e minimizando os riscos de acidentes e interrupções inesperadas (Santos, 2006).

Neste caso, os mecânicos que antes só substituíam peças com defeito, passam a ser profissionais realmente qualificados e capacitados que por sua vez, são capazes de fazer estudos e apontar quais equipamentos precisam de atenção especial, desde uma simples operação com um engraxamento ou lubrificação, ou até mesmo a substituição de peças com defeito, (Santos, 2006).

3 TEORIAS ENVOLVIDAS

3.1 Calor

Calor é a transferência de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperatura entre elas. Essa energia se origina da agitação das moléculas das quais a matéria é constituída e sua transferência se processa da região mais ardente para a mais fria. O calor é, portanto, um fenômeno transitório, que detém quando não existe mais uma diferença de temperatura, (Holst, 2000).

3.2 Temperatura

Como se sabe a matéria é constituída por moléculas adotadas basicamente de movimento de vibração, ou seja, possuem energia cinética de vibração que varia de uma para outra. No entanto, podemos avaliar um nível médio de vibração para as moléculas que compõe um corpo. Moléculas mais quentes se movimentam mais rapidamente, e moléculas mais frias se movem mais devagar, (Quites & Lia, 2005).

Sendo assim, a temperatura é definida como nível médio da energia cinética da vibração das moléculas ou átomos de um corpo, em outras palavras se dois objetos estão em equilíbrio térmico com um terceiro objeto, então eles estão em equilíbrio térmico um com o outro, (Chrzanowski, 2001).

Existe certo atributo ou propriedade de estado que descreve os estados termodinâmicos dos objetos que estão em equilíbrio térmico um com o outro, e isto é denominado temperatura. Consideramos para o uso da termografia a escala em kelvin, pois as moléculas estão completamente paradas a zero kelvin o que corresponde $- 273,15$ célsius,(Chrzanowski, 2001).

Os conceitos de calor e temperatura às vezes são difíceis de ser separados, chegamos até a imaginar que são iguais, por estar sempre relacionados, mas a diferença fundamental

entre eles é que em se tratando de temperatura medimos a intensidade, enquanto que no calor medimos a quantidade de energi,. (Santos, 2006).

3.3 Tipos de transferência de calor

3.3.1 Condução

A condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura, para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido ou líquido) ou entre meios diferentes em contato direto, este mecanismo pode ser encarado como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas de uma substância devido a interações entre elas, (Quites & Lia, 2005).

3.3.2 Convecção

A convecção pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido, através da ação combinada de: condução de calor, acúmulo de energia e movimento de mistura, a transmissão de calor por convecção é classificada, de acordo com o modo de motivação do fluxo, sendo elas naturais ou forçadas, (Quites & Lia, 2005).

Quando o movimento de mistura tem meramente o lugar como resultado da diferença de densidade causado pelos gradientes de temperatura, falamos de convecção natural ou livre, em outras palavras, é quando somente o efeito da gravidade atua, quando o movimento de mistura é induzido por algum agente externo, tal como uma bomba ou ventilador, chamamos de convecção forçada, (Quites & Lia, 2005).

3.3.3 Radiação

A transmissão de calor por radiação ocorre sem contato físico entre os corpos, através de ondas eletromagnéticas. Sendo assim, uma fonte quente cede calor a uma fonte fria sem que o espaço intermediário altere seu estado térmico, na verdade todo corpo acima de 0 K é capaz de emitir radiações eletromagnéticas, essas radiações atravessam um espaço transparente e prosseguem sem nenhuma alteração de trajetória ou de comprimento de onda até colidirem com um meio que lhe seja opaco. Então, haverá parcial ou quase total absorção

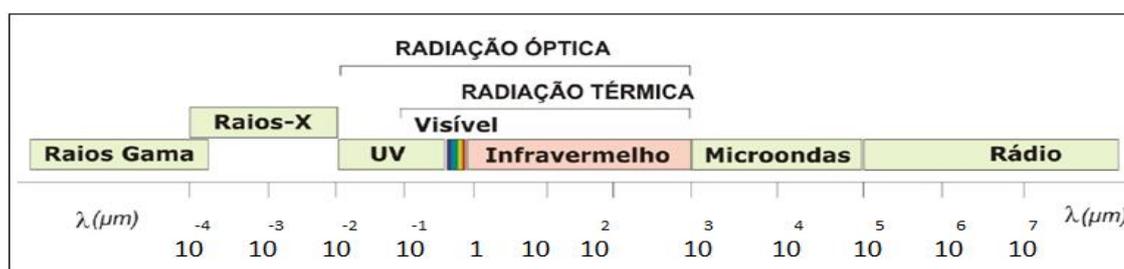
de radiações se transformando de energia radiante para energia térmica, esse é o meio pelo qual o sol nos doa calor todos os dias, (Quites & Lia, 2005).

Todos os objetos que estão acima do zero absoluto (0 K) kelvin ou (-273,16° C) Celsius, emitem radiação térmica. Isso acontece por causa da agitação térmica de átomos e moléculas que os constituem, portanto quanto maior a agitação, maior será a temperatura e emissão da radiação.

3.4 Espectro eletro magnético

Como a radiação eletromagnética é uma onda, entende-se que as grandezas que caracterizam uma onda devem também estar associadas à radiação eletromagnética, pode-se então dizer que a onda eletromagnética é caracterizada por uma frequência e comprimento de onda, o olho humano não visualiza a radiação infravermelha emitida pelos corpos, contudo somente uma pequena faixa chamada visível, compreendida entre 350nm a 700nm, (Santos, 2006). Sendo que 1nm equivale a 1 bilionésimo do metro, isto é, $1 \text{ nm} = 0,000\ 000\ 001 \text{ m}$ ou ainda $0,000001\text{mm}$.

Na figura 3, podemos observar que a radiação infravermelha está localizada entre o espectro visível e o espectro micro-ondas, onde nos indica que a infravermelha é maior que a visível, porém menor que as micro-ondas. Claramente percebemos que a faixa do espectro visível é apenas uma pequena porção, quando comparada ao vasto mundo das ondas eletromagnéticas que nos rodeiam.



Fonte: Santos, 2006

FIGURA 3– Espectro eletromagnético

Como podemos notar acima, a faixa em que os termovisores podem captar compreende de 2 a 5 μm para aparelhos mais antigos e de 7,5 a 14 μm para aparelhos mais novos, a radiação Infravermelha, assim como as radiações das diferentes regiões do espectro eletromagnético, basicamente obedece às mesmas leis, propagam-se em linha reta, refletem, refratam, são absorvidas, interferem, apresentam espalhamento de feixe, podem ser enfocadas e viajam no vácuo, a uma velocidade de aproximadamente 324 m/s.(santos, 2006)

3.5 Emissividade

A razão entre energia emitida por um corpo em um determinado comprimento de onda e a de um corpo negro, a temperatura igual dá-se o nome de emissividade (Santos, 2006).

Sendo assim, quanto maior a temperatura, mais radiação é emitida e em temperaturas mais baixas o objeto emite menos radiação e cada material emite uma quantidade diferente uns dos outros.

3.6 Corpo negro

O corpo negro é aquele que absorve totalmente a energia que é incidida sobre ele e ao mesmo tempo não reflete, ou transmite calor, teoricamente sua emissividade vale 1.

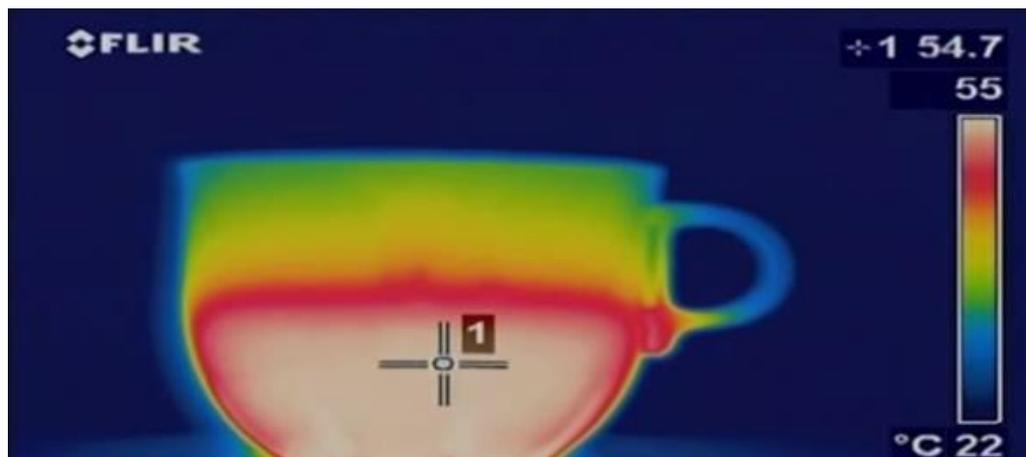
Gustav Robert Kirchhoff em 1860 propôs o termo Corpo Negro como sendo, um corpo capaz de absorver toda radiação incidente, independente do comprimento de onda, direção de incidência e sua polarização. A radiação por ele emitida teria uma distribuição espectral dependente apenas de sua temperatura, para tal corpo estar em equilíbrio termodinâmico, ele deveria irradiar energia na mesma taxa em que a absorve, (AGA, 1969). Portanto, um Corpo Negro, além de ser um absorvedor perfeito, é também um emissor perfeito e não é um transmissor, (Groote, 2004).

3.7 Termovisor

3.7.1 Termograma

O termovisor, ou câmera de termografia, é um aparelho capaz de detectar o calor proveniente da radiação infravermelha emitida por um corpo, convertendo o sinal elétrico e produzindo imagens através de cálculos de temperaturas (MENDONÇA, 2005). Na Figura 4 está ilustrado um exemplo de um termograma de uma xícara com café.

Para as imagens geradas pelo termovisor são chamadas de termogramas, se faz necessário um programa para a obtenção e tratamento destas imagens térmicas (CORTIZO, 2007).



Fonte: Flir Systems, 2010

FIGURA 4– termograma de uma xícara com café

3.8 Faixa de temperatura

É a faixa de medição de temperatura do Termovisor, normalmente é comercializada a faixa de -20°C a 500°C e raramente o limite máximo da faixa (500°C).

É importante lembrar que faixa de temperatura é uma característica do equipamento logo, quando definido a faixa de temperatura, seu equipamento só ira trabalhar dentro daquela faixa ajustada.

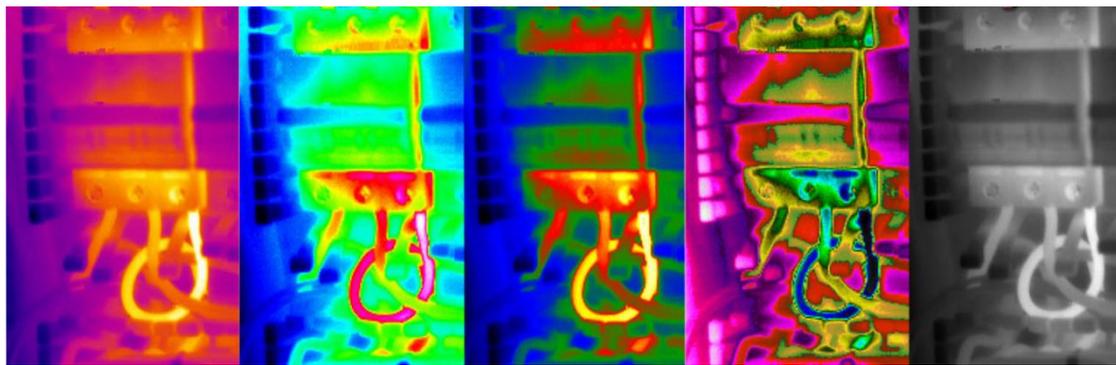
3.9 Amplitude e nível

É a parte interior da faixa de temperatura, ou seja, é a intensidade de radiação no qual o equipamento pode realizar imagens e medições, em outras palavras é o contraste das imagens que mais agrada ao observador.

Nível é o ponto intermediário da amplitude, consiste no brilho da imagem. É importante lembrar que amplitude e nível são características da imagem, e que esse ajuste pode ser feito direto no equipamento.

3.10 Paletas

São as cores que aparecem na imagem, sendo elas: monocromática que vai do tom preto ao branco, a variação é no tom de cinza; policromática que vai do tom preto ao branco, a variação é aplicada com várias cores dependendo da tonalidade escolhida.



Fonte: Flir Systems, 2010

FIGURA 5– Exemplo de diferentes paletas existentes

3.11 Foco térmico

O foco determina a qualidade da medição de temperatura, a imagem fora do foco refletirá muito mal no termógrafo, além de apresentar uma leitura errada, pois fora do foco a leitura pode variar para mais ou para menos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Termografia é a técnica que amplia a visão humana para a observação do espectro infravermelho através do termovisor, com ela fica fácil a localização de regiões quentes ou frias, através da compreensão dos termogramas chamados de imagens térmicas.

No intuito de estudar a eficiência da termografia infravermelha, iremos realizar um experimento em uma bancada didática, onde um motor elétrico acoplado a um redutor de velocidade em pleno funcionamento será inspecionado.

Será realizada uma medição com o engrenamento normal da máquina, e logo após, provocaremos uma quebra no dente da engrenagem motora e novamente o colocaremos em funcionamento. Após o período de algum tempo, faremos novas medições com o intuito de comprovar o engrenamento comprometido pela quebra de um dente da engrenagem motora, que possivelmente provocará uma elevação de temperatura, então iremos mostrar a importância da análise termográfica na manutenção preditiva.

A partir desse experimento, exploraremos a obtenção dos dados e padrões de medição necessários para obtermos a imagem térmica e o manuseio correto do equipamento.

4.1 Metodologia aplicada para determinação das propriedades térmicas

Para conseguir um procedimento que determine as propriedades térmicas do material, é necessário identificar as características importantes do meio ambiente e da própria amostra.

Tais como; conhecer os parâmetros de emissividade do material, temperatura refletida, temperatura ambiente, a distância entre o equipamento e o alvo e a umidade relativa do ar.

4.2 Umidade relativa do ar

Para o fornecimento do valor de umidade relativa do ar, utiliza-se um psicrômetro que deve ser posicionado ao lado do alvo ficando em repouso por 1 min para estabilização da

indicação. O valor fornecido deve ser anotado e inserido tanto no termovisor durante a leitura, quanto no programa do termovisor fornecido pelo fabricante.

4.3 Medindo a distância

A distância entre o termovisor e o alvo pode ser medida por meio de uma trena e o valor fornecido deve ser anotado e inserido tanto no termovisor durante a leitura, quanto no programa do termovisor.

4.4 Temperatura refletida

O procedimento para determinação da temperatura refletida foi baseado no manual do termovisor fornecido pela Flir Systems (2010).

Deve-se cortar um pedaço de folha de alumínio de aproximadamente (30 x 40) cm, amassar e colocar em um papel cartão do mesmo tamanho.

O papel cartão com o alumínio deve ser posicionado no alvo, com o lado da folha de alumínio voltado para o termovisor, a Figura 6 mostra como fica o pedaço de papel alumínio amassado.



Fonte: Própria

FIGURA 6– Exemplo de folha de alumínio amassado

Deve-se inserir no painel do termovisor a emissividade como sendo 1.0, e a distância do alvo como sendo 1,0 metro e medir o valor da temperatura aparente da folha de alumínio. O valor fornecido deve ser anotado para entrar como referência, quando solicitada a temperatura refletida durante a determinação da emissividade do material e a realização das leituras térmicas.

Um detalhe muito importante é que a temperatura refletida deve ser idêntica à temperatura atmosférica do ambiente.

4.5 Emissividade do alvo

O procedimento para determinação da emissividade do alvo foi baseado no manual do termovisor fornecido pela Flir Systems (2010).

Pode se usar a tabela de emissividade dos materiais fornecida pelo fabricante, se o material do alvo não estiver na nela, deve-se usar um pedaço de fita isolante na superfície, de aproximadamente, (6 x 3) cm. Em seguida posicionar o pedaço de fita e mantê-la por 10 minutos nesta posição, até a estabilização da temperatura, dessa forma pode-se inserir o valor da emissividade da fita isolante que já é conhecida. Na figura 7 podemos observar este exemplo.



Fonte: Flir Systems, 2010

FIGURA 7– Exemplo de emissividade da fita isolante

4.6 Ajustando o foco

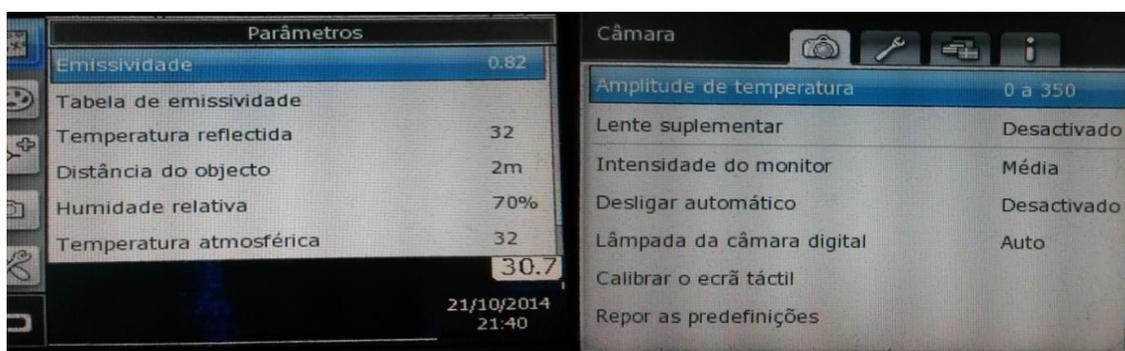
Deve-se ajustar o foco do termovisor na fita isolante, até que a imagem fique mais detalhada e agradável vista a olho nu, para que seja realizada então, a medição da temperatura e anotado o valor.

Após esse procedimento, retira-se a fita isolante, posiciona-se o foco na superfície do alvo e varia-se a emissividade até que a temperatura do alvo fique condizente com a temperatura anotada da fita isolante, feito isso, anota-se o valor da emissividade do alvo.

4.7 Inserindo os parâmetros no termovisor

Os parâmetros adquiridos, conforme descritos anteriormente são necessários para melhor detalhamento das informações da imagem, assim como uma melhor confiabilidade de dados, já que por sua vez um simples parâmetro indicado erroneamente acarretara uma leitura de valores distorcidos.

Os parâmetros a serem inseridos como vemos na figura 8 abaixo são; emissividade, temperatura refletida em graus célsius, humidade relativa do ar e temperatura atmosférica, que por sua vez, deve modificar a amplitude da temperatura em graus Celsius. Após a inserção, o termovisor já estará pronto para a obtenção da imagem.



Fonte: Própria

FIGURA 8– Exemplo de inserção de parâmetros no termovisor

4.8 Projeto de bancada didáctica

4.8.1 Montagem da bancada didáctica

A bancada é constituída de motor eléctrico da marca Weg, com modelo de carcaça 71, rotação de 1680 rpm, potência 0,37HP/0,50CV, um inversor de frequência da marca WEG CFW 08, cuja frequência é 0 a 80Hz e a tensão de alimentação 220V.

Possui um redutor da marca Cestari, modelo C51224NA00AW, potência 0,37 Kw, rotação de entrada 1750 RPM, rotação de saída 110,06 RPM e fator de serviço 4,45.

A base estrutural é composta de uma viga U de 203,2 mm x 1.200 mm, soldada sobre duas cantoneiras de 25,4 mm x 1.200mm, que foram perfuradas para a fixação do conjunto, como podemos observar abaixo na figura 9.

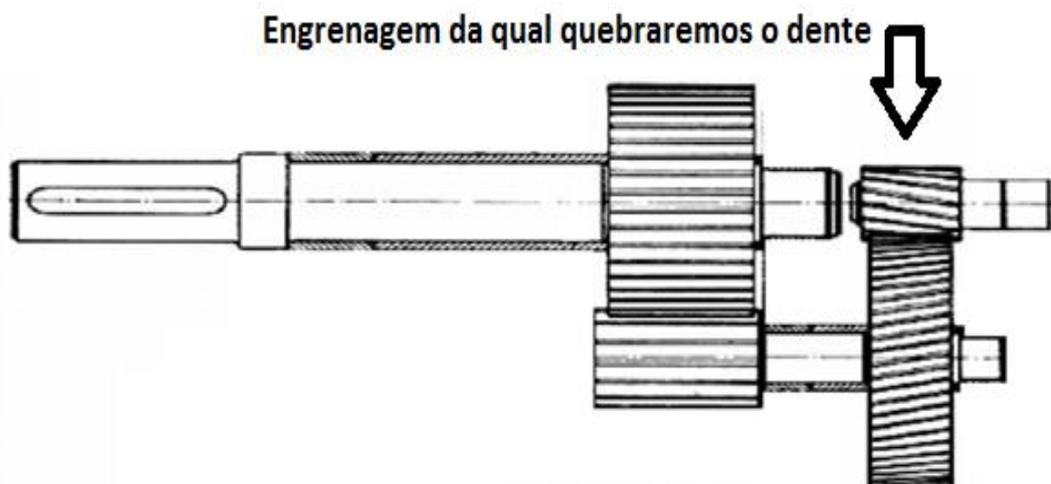


Fonte: Própria
 FIGURA 9– Imagem da bancada didática

4.9 Desenvolvimento do projeto

4.9.1 Foto térmica do redutor com engrenamento original

O foco deste projeto concentra-se no acoplamento do engrenamento do redutor Cestari mostrado abaixo na figura 10, o engrenamento “original” que em perfeito estado foi colocado em funcionamento por 6 horas.

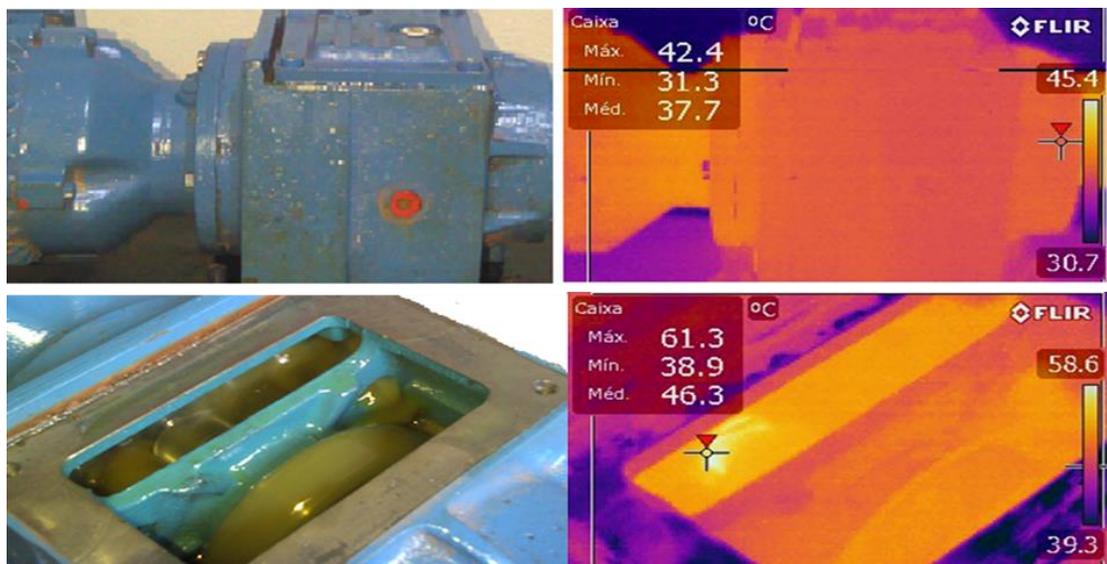


Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABa0IAH/projetos-mecanicos>
 FIGURA 10– Desenho técnico engrenamento redutor cestaria.

Em seguida, configuramos o termovisor inserindo os parâmetros; emissividade 0,82, temperatura refletida 32 graus célsius, humidade relativa do ar 70 por cento, temperatura atmosférica que é a mesma da refletida 32 graus célsius, amplitude de temperatura de 0 a 350 graus célsius e distância de 1 metro.

Após a configuração do mesmo, foi realizada a primeira coleta de imagens térmicas para observação da temperatura da carcaça da caixa redutora.

Ainda com o motor em funcionamento, retiramos a tampa da caixa redutora para a realização da primeira coleta de imagens térmicas, do engrenamento em pleno funcionamento para adquirirmos a temperatura da engrenagem motora como podemos observar abaixo na figura 11.



Fonte: Própria

FIGURA 11– Imagens térmicas do redutor em perfeito estado de funcionamento

Com a realização deste primeiro teste, foi possível a coleta de algumas imagens térmicas e dados de temperatura, a fim de serem usadas posteriormente como referência de comparação entre as imagens adquiridas com o segundo experimento.

Após esta primeira coleta, desligamos o motor elétrico, retiramos a engrenagem motora, prendemos em uma morsa e em seguida, com o auxílio de uma lixadeira provocamos a quebra de um de seus dentes como ilustrado na figura 12.

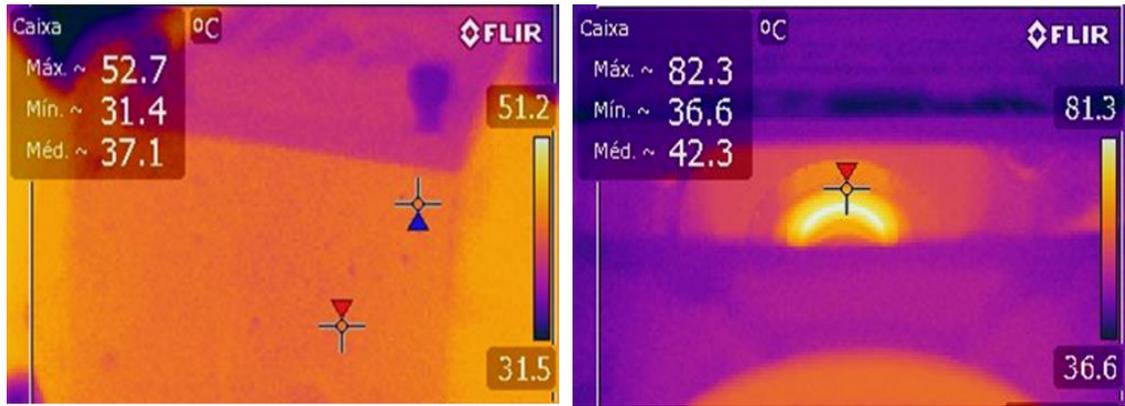


Fonte: Própria

FIGURA 12– Imagens da engrenagem motora com um dente quebrado

4.9.2 Foto térmica do redutor com engrenamento comprometido

Nesta etapa, a engrenagem motora já com o dente quebrado foi novamente recolocada no engrenamento. Em seguida, ligamos o motor colocando o redutor para funcionar novamente, após um período de 6 horas de funcionamento, realizamos uma nova coleta de imagens térmicas da caixa de redução. Logo após, novamente com o redutor em funcionamento retiramos a tampa da caixa de redução e fizemos uma coleta de imagem térmica da engrenagem motora como podemos ver na imagem 13 abaixo.



Fonte: Própria

FIGURA 13– Imagens térmicas do redutor após funcionamento com o dente quebrado

4.10 Avaliação da imagem térmica

Comparando as primeiras imagens com as adquiridas após a quebra simulada do dente da engrenagem motora, foi possível detectar que houve uma variação de temperatura da carcaça de 42,4 °C para 52,7 °C e também houve um aumento de temperatura da engrenagem motora que variou de 61,3 °C para 82,3 °C.

O que nos leva a entender que o aquecimento gerado, tanto na caixa redutora, quanto na engrenagem motora foi causado pela quebra do dente e que o termovisor foi de grande importância para fornecer as imagens térmicas que compõem esta comparação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o estudo apresentado acima, observamos que a análise termográfica atualmente é um dos métodos excelentes para manutenção preditiva, pois nos permitiu visualizar as imagens térmicas e medir as variações de calor existentes, fornecendo um relatório preciso sobre o real estado do equipamento analisado, possibilitando a escolha do melhor momento e a melhor maneira de executar a manutenção.

As técnicas abordadas foram de real utilidade e de fácil aplicação no projeto, além de se mostrarem eficazes no levantamento dos parâmetros de medição, e na execução da análise termográfica realizada.

Comparando as primeiras imagens com as adquiridas após a quebra do dente da engrenagem, pode-se observar o aumento da temperatura, levando a crer que tal fato pode ter ocorrido devido o atrito realizado pelo impacto na região onde faltava um dente, ou mesmo pela perda da lubrificação utilizada devido às limalhas de ferro, provenientes do atrito entre a superfície do dente quebrado e os demais dentes em bom estado da engrenagem seguinte do engrenamento.

6 CONCLUSÃO

Com a inspeção termográfica foi possível diagnosticar com exatidão o aumento da temperatura da caixa redutora, ela contribuiu de forma eficiente para a detecção do mau funcionamento do engrenamento do redutor e foi capaz de identificar o aquecimento térmico do sistema causado pela engrenagem motora comprometida pelo dente quebrado.

Foi possível confirmar claramente que a análise termográfica é um processo seguro, apesar de poder ser executada sem o desligamento do equipamento, não apresenta risco ao termografista, por não ser necessário o contato físico entre ele e o equipamento a ser inspecionado.

É importante ressaltar que o conhecimento das ferramentas e configurações do termovisor, além da qualificação e experiência do termografista em estabelecer os parâmetros e os critérios necessários para serem inseridos no aparelho, são de suma importância para uma boa análise termográfica, uma vez que inserindo os parâmetros errados ou mesmo não configurando o termovisor corretamente, pode comprometer toda a inspeção termográfica.

De modo geral compreendemos que através das anomalias encontradas, analisando e comparando com os critérios anteriormente estabelecidos, foi possível programar a parada do equipamento para efetuar a manutenção corretiva, sabendo exatamente onde corrigir, sem perda de tempo procurando o defeito.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas; "TB-23/91 Lighting Terminology"; Dez/1991.

AGA; "Thermovision System 680/102B - Operating Manual, Publication 556.053"; AGA 1969.

CHRZANOWSKI, K.; "Non-Contact Thermometry - Measurement errors", SPIE PL, Research and development Treaties, Vol. 7, Warsaw, 2001.

FLIR SYSTEMS®. Manual do operador: FLIR bxx series, FLIR ixx series. Canada: FLIR Systems, Inc. 2010.

GARRIDO, Santiago Garcia. Mantimento industrial. España: Editorial Renovetec, 2009.

GROOTE, J. J.; "Max Planck e o início da Teoria Quântica"; UNESP, 2004.

HOLST, G. C.; "Common Sense to Approach to Thermal Imaging"; JCD Publishing and SPIE Optical Engineering Press, 2000.

MALDAGUE, Xavier P.V.; Moore, Patrick O.; "Infrared and Thermal Testing"; Vol. 3 ASNT 2001.

MENDONÇA, L. V. Termografia por infravermelhos – Inspeção de betão. Revista Engenharia & Vida, Lisboa, n. 16, p. 53-57, set. 2005.

MIRSHAWKA, Victor; Olmedo, Napoleão Lopes. Manutenção- combate aos custos da não – eficácia – A Vez do Brasil. São Paulo: Makron Books do Brasil Ed. Ltda., 1993

QUITES, Eduardo E. C.; Lia, Luiz R. B.; "Introdução à Transferência de Calor"; Unisanta, 2005.

RICHARDS, A.; "Alien Vision - Exploring the Electromagnetic Spectrum with Imaging Technology"; SPIE Press 2001.

ROGALSKI, A; Chrzanowski; "Infrared Devices and Techniques"; Opto-Electronics Rev.10, nº 2, 2002.

SANTOS, Laerte.; "Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas"; Laerte dos santos.--Itajuba,(s.n),2006.129 p.:il.

TAVARES, S. G.; Andrade, R. M.; "Metodologia de Ensaio e Análise de Incerteza na Aplicação da Termografia"; Metrologia, 2003.