

Metodologia para análise qualitativa de corrosão de aços SAE 1045 por irradiação térmica

Methodology for qualitative analysis of corrosion of steel SAE 1045 by thermal irradiation

- ¹ Washington Moreira Cavalcanti washington.cavalcanti@hotmail.com
¹ Elvis Carneiro Monteiro
¹ Emmanuel Jesus Vazquez Pena
¹ João Marcos Gomes Vieira
¹ Rômulo Maziero
¹ Juan Carlos Campos Rubio

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGMEC da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

Resumo

Atualmente, momento em que as falhas de equipamentos mecânicos e metálicos são cada vez mais recorrentes e podem causar perdas de competitividade operacional, em situações de temperaturas extremas, é necessário utilizar técnicas de manutenção eficazes, como as preditivas, para antecipar defeitos ou falhas por meio de métodos não invasivos, como a análise termográfica. A termografia ou termovisão compreende a técnica de monitoramento baseada na medição e interpretação remotas da radiação infravermelha emitida por um corpo, que permite identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura é alterada em relação a um padrão pré-estabelecido. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a emissividade de corpos-de-prova feitos de arruelas de aço SAE 1045 com cinco diferentes condições de acabamento e corrosão. Um termopar foi usado para medir a radiação infravermelha em cinco amostras de teste corroídas, tratadas, não tratadas e de aço inoxidável. Os valores dos termogramas determinados mostram um resultado com variações significativas da temperatura da face dos elementos do aço carbono afetados por diferentes níveis de corrosão. Esses valores estão alinhados com os valores teóricos e esses diagnósticos podem ser aplicados em ambientes operacionais ou de campo.

Palavras-chave:

Termografia. Corrosão. Emissividade. Aços SAE 1045.

Abstract

Nowadays, where mechanical and metallic equipment failures are increasingly recurrent and can cause losses of operational competitiveness, in extreme temperature situations, it is necessary to use effective maintenance techniques such as predictive ones, in order to anticipate defects or failures through non-invasive tests, such as thermographic analysis. Thermography or thermovision comprises the technique of monitoring based on remote measurement and interpretation of the infrared radiation emitted by a body, which allows to identify regions, or points, where the temperature is altered with respect to a pre-established standard. Thus, the aim of this paper was to determine the emissivity of test specimens made of SAE 1045 steel "washers" with five different finishing and corrosion conditions. A thermocouple was used to measure infrared radiation in five corroded, treated, untreated and stainless steel test specimens. The values of the determined thermograms show a result with significant variations of the face temperature of the elements of carbon steel affected by different levels of corrosion. These values are aligned with the theoretical values and that such diagnostics can be applied in operational or field environments.

Keywords:

Thermography. Corrosion. Emissivity. SAE 1045 steels.

Como você deve citar?

CAVALCANTI, Washington Moreira et. al.. Metodologia para análise qualitativa de corrosão de aços SAE 1045 por irradiação térmica. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 39, p. 29-39, abril 2019.

1 INTRODUÇÃO

A termografia é uma técnica de medição de temperatura realizada por meio da detecção da radiação infravermelha do objeto através de uma matriz de sensores térmicos embarcados em uma câmera digital. O princípio do ensaio termográfico consiste na captação da radiação térmica (infravermelha) emitida pelo corpo por meio do sensor de infravermelho contido na câmera termográfica e a conversão dessa radiação em sinal elétrico, formando as imagens, nas quais os dados resultantes do ensaio são expressos em termos de níveis de cinza ou em cores (RGB) nas imagens termográficas digitais.

Segundo Maldague e Moore (2001), uma das principais propriedades dos materiais para avaliar a aplicabilidade com a termografia é a emissividade, que representa a razão entre a quantidade de energia total irradiada e/ou absorvida pelo corpo-de-prova a uma temperatura e a de um corpo negro na mesma temperatura.

Quando se utiliza a termografia na manutenção, o objetivo maior é o de prevenir falhas e prolongar a eficiência de equipamentos por meio da medição de temperatura em pontos relevantes com o termovisor e pela confecção de fotografias digitais e de termogramas digitais. De acordo com FLIR (2013), pode-se definir o termovisor como um dispositivo que captura a energia infravermelha (o calor) emitida pelo objeto enquadrado pelas lentes e converte essa energia, que é concentrada pelas lentes em um detector infravermelho, formado por milhares de sensores infravermelhos (*pixels*), em um sinal eletrônico. Para as imagens geradas pelo termovisor, que são chamadas de termogramas, se faz necessário um programa para a obtenção e tratamento dessas imagens térmicas (FLIR, 2010).

A termografia apresenta ótimos resultados na inspeção de materiais com alta emissividade. Segundo Chrzanowski (2010), o monitoramento e o controle do estado do aço bruto são tarefas complicadas e de elevado custo. Segundo McCan e Forde (2001), testes e ensaios não destrutivos fornecem informações relevantes das condições de estrutura do equipamento, porém, normalmente, essas inspeções são feitas de forma manual e visual, mas, no entanto, esse tipo de controle visual, mesmo em produtos de aço fabricados, significa que há limites para realizar um controle intenso. Afinal, a olho nu é possível observar apenas "fraturas, fissuras, deformações e oxidações" maiores na superfície do material. Vantagem evidente da termografia sobre testes invasivos é a não existência de destruição de nenhuma zona de material durante o ensaio, apresentando-se como método rápido para inspecionar superfícies. A degradação dos materiais metálicos, a corrosão de aço, o enfraquecimento das conexões, entre outros problemas, são causas de preocupação permanente na manutenção de equipamentos mecânicos (ISLAM; HAMID; JAROO, 2014).

Conforme descrito por Maldague (2001), há duas técnicas para o método não destrutivo de captação de imagens por termografia: passiva e ativa. Na técnica passiva, os materiais já apresentam armazenamento interno de energia térmica ou são estimulados por uma fonte natural de calor (energia solar). Na técnica ativa, ocorre o aquecimento ou resfriamento dos materiais, de modo a evidenciar o fluxo de calor e o gradiente térmico necessário.

Nesse contexto, o presente trabalho se justifica por descrever o uso e aplicabilidade da termografia na detecção dos efeitos de corrosão localizados em corpos-de-prova previamente preparados para análise. O objetivo deste trabalho foi determinar a emissividade de superfícies com diferentes condições de acabamento e em processo de corrosão, em particular para o aço SAE 1045, além de identificar as diferenças entre as temperaturas capturas em corpo-de-prova. Os resultados desse levantamento corroboram com as afirmações de Veratti (2016), quando enfatiza que a implantação de um Sistema Básico de Inspeções Termográficas certamente produzirá resultados similares com a garantia da pronta detecção de falhas que se reflitam em alterações térmicas de equipamentos mecânicos produtivos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi elaborado a partir de uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa, com objetivo descritivo e experimento empírico. Segundo Costa e Costa (2019), a pesquisa aplicada gera conhecimentos para aplicações práticas, o que resultará em conjunto de boas práticas que poderão se utilizar para melhorar os testes ou na adoção e implantação dessas técnicas, a fim de garantir qualidade nos processos de manutenção e gestão da qualidade.

O método envolveu levantamento bibliográfico, no qual foi realizada uma busca eletrônica preliminar em diferentes bases de dados, tendo a EBSCO como principal serviço de informação. O experimento prático foi elaborado nas instalações do Laboratório de Termografia da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). A medição de temperatura sem contato em termografia foi realizada por meio da detecção da radiação infravermelha do objeto, empregando-se uma termocâmera dotada de sensores sensíveis à radiação térmica (instrumento termográfico). Após a calibragem da câmera, as contagens foram transformadas em valores de radiação. Por fim, a câmera calibrada converteu os valores de radiação em temperatura, utilizando-se a emissividade do objeto-alvo e, em seguida, foi efetuado o ajuste de parâmetros *input* da termocâmera para início dos testes de medição.

O trabalho apresenta metodologia para determinação de temperatura de face de peças em aço SAE 1045, por meio da termografia. Essa metodologia é fundamentada em uma análise metrológica e considera: as influências do instrumento de medição, condições ambientais e condições de operação, na avaliação da temperatura pela termografia.

Os ensaios para verificação das incertezas intrínsecas do termovisor foram realizados em laboratório com condições de calibração controladas. Para cada termograma, foram retirados os sinais radiométricos, caracterizando as temperaturas máximas, mínimas, médias, e a respectiva dispersão de cada faixa de temperatura. A metodologia de cada ensaio respeitou as condições de calibração (CHRZANOWSKI, 2010). Para realização de cada ensaio, foram utilizados os seguintes procedimentos, materiais e equipamentos: termocâmera (FLIR, modelo SC660); lente FLIR (19 mm) 45 *Degree Wide Angle P/B Series Lens*; lente FLIR (38 mm) *Angle P/B Series Lens*; corpo negro (Fluke, modelo 4181) de área circular $1,76 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ e diâmetro de 15 cm; *software Flir tools* versão 5.13; bancada de testes termografia; gerador de energia SMC LET - 1000 RD; termopar Agilent 34970A e trena metálica.

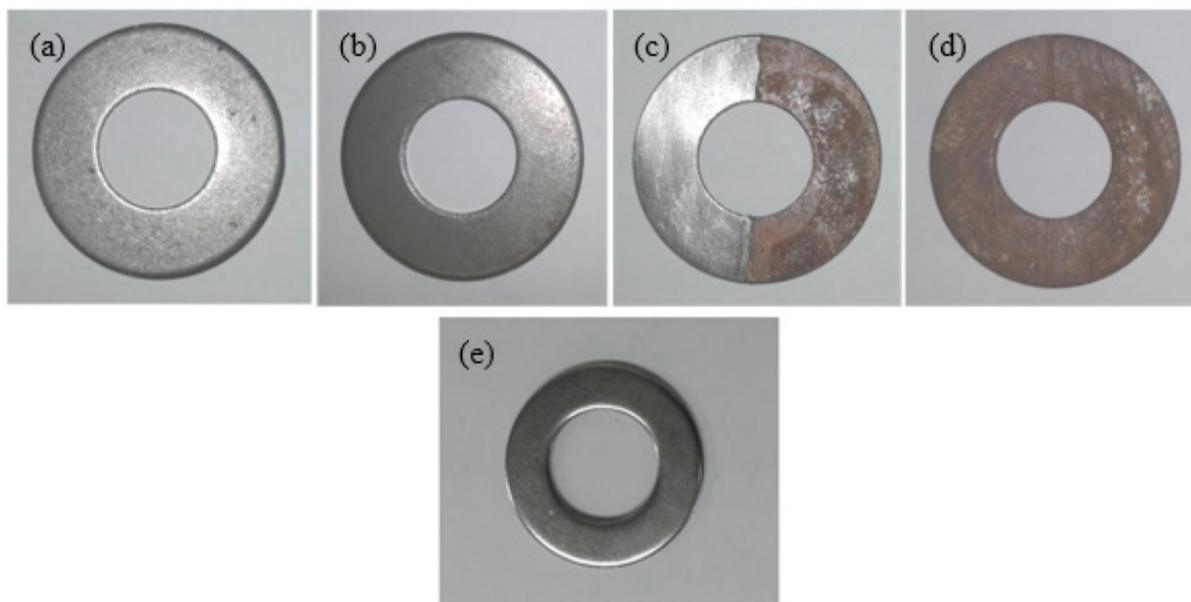
Para fins de realização do experimento, foi necessária a utilização de uma fonte contínua de calor, capaz de ser transportada e de fácil manuseio. Após alguns testes com fontes irradiantes de calor, optou-se pela utilização de uma bancada de testes com barra de ligas metálicas (duralumínio) de forja de alumínio, cobre (0,45%-1,50%) e magnésio (0,45%-1,50%), com medidas de 1200 x 50 x 10 mm, aquecida por gerador de energia SMC LET - 1000 RD, onde os corpos-de-prova foram dispostos sobre a barra em contato direto.

Foram utilizados cinco corpos-de-prova, "arruelas" confeccionadas em aço SAE 1045 com as seguintes características: arruela lisa sem tratamento (natural); arruela lisa envernizada com Verniz Isotec incolor; arruela lisa corroída em sua metade e lixada e polida na outra metade; arruela lisa corroída em sua totalidade; e arruela lisa em aço inoxidável (liga cromo).

Os corpos-de-prova analisados foram determinados com foco nas diversas aplicações do aço SAE 1045, que, por ser um aço para beneficiamento com baixa temperabilidade, apresenta baixa penetração de dureza na seção transversal, não sendo recomendado seu uso para seções superiores a 60 mm, muito utilizado em componentes estruturais e de máquinas; virabrequim; eixos; engrenagens comuns; peças forjadas.

Para este estudo, os corpos-de-prova foram definidos com as seguintes dimensões em mm: arruelas lisas (corpos "a" a "d") com diâmetro de 56 mm, furo interno com diâmetro de 26 mm e espessura de 2 mm; e arruelas lisas em aço inox (corpo "e") com diâmetro de 44 mm, furo interno com diâmetro de 25 mm e espessura de 2 mm. As características visuais, dos corpos-de-prova estão presentes na Figura 1.

Figura 1 - (a) arruela sem tratamento; (b) arruela envernizada; (c) arruela corroída em 50%; (d) totalmente corroída; (e) arruela em aço inoxidável.



Fonte: autores, 2019.

Os corpos-de-prova foram preparados anteriormente para a aplicação nos testes experimentais: arruela lisa envernizada - limpeza com desengraxante, secagem e aplicação de verniz Isotec Incolor em camadas sucessivas com intervalos de secagem de 15 minutos entre as demãos; e arruela lisa corroída em sua metade e lixada e polida na outra metade - limpeza com desengraxante, secagem e aplicação de processo de corrosão acelerado, utilizando-se vinagre e hipoclorito de sódio (NaClO). Para o corpo-de-prova com corrosão aplicada em sua metade, todo o processo foi realizado da mesma forma como descrito anteriormente, porém foi aplicado um filme selante na metade que não seria corroída e, posteriormente, foi lixada e polida.

Para o experimento, foi realizada análise da emissividade emitida pelos corpos-de-prova em estudo para duas temperaturas diferentes. A metodologia e etapas para a determinação das medições foram em conformidade com a norma ABNT NBR 15572 (2013). A faixa de temperatura utilizada no experimento foi determinada de acordo com as condições controladas de utilização dos equipamentos em laboratório comumente submetidos. Definiram-se a execução dos testes em função da temperatura, termogramas em duas temperaturas diferentes, sendo um termograma para cada corpo-de-prova na temperatura estipulada.

Para obtenção das imagens por termografia, foi necessária a determinação de três variáveis, a fim de se garantir a correta configuração do equipamento: emissividade do material; temperatura ambiente; e umidade relativa do ar. A Tabela 1 mostra o resumo dos parâmetros experimentais utilizados.

Tabela 1 - Parâmetros experimentais para testes.

Parâmetro	Indicador
Variável de resposta	Emissividade.
Aquisição	Método indireto (temperatura de referência).
Fatores	Objeto (corpo-de-prova); Número de tomadas de temperatura.
Amostras	Cinco capturas de temperatura dos corpos-de-prova - Arruelas de aço carbono ABNT SAE 1045.
Marcação de referência	Definição dos pontos de marcação de temperatura: - Ponto P_1 : Parte meridiana do corpo-de-prova; - Ponto P_2 : Posição central da arruela no barramento de resistência elétrica.
Condições	Temperaturas iniciais de referência: - 62 °C; - 122 °C.

Fonte: autores, 2019.

Os parâmetros para os testes são diretamente relacionados aos componentes que compõem o termovisor e o detector de infravermelho é o mais importante e é fator limitante para o desempenho do termovisor. A informação pertinente às tomadas dos termogramas para as temperaturas definidas foi apresentada em conformidade com a Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros experimentais para testes com temperatura inicial de referência 62 °C.

Parâmetro	Valor
Temperatura ambiente	25,7 °C
Umidade relativa	53,4%
Pressão atmosférica	927,1 hPa
Temperatura do termopar	52,3 °C
Intensidade de corrente elétrica para ajuste de temperatura	300 A ~ 60 A
Corpos-de-prova (temperatura do ponto P_2)	
Arruela 1 – Corroída	62,0 °C
Arruela 2 – Inox	59,3 °C
Arruela 3 – Corroída em 50%	57,0 °C
Arruela 4 – Natural (sem tratamento)	58,4 °C
Arruela 5 – Envernizada	58,0 °C

Fonte: autores, 2019.

Para obtenção das temperaturas mais elevadas definidas para o teste, o gerador foi ajustado para 700 A, de modo a elevar a temperatura do barramento de resistência elétrica. Após a elevação da temperatura, a intensidade de corrente elétrica foi regulada para um patamar inferior em 400 A e monitorada para a estabilização da temperatura em, aproximadamente, 122 °C, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros experimentais para testes com temperatura inicial de referência 122 °C.

Parâmetro	Valor
Temperatura ambiente	26,6 °C
Umidade relativa	54,5%
Pressão atmosférica	928,9 hPa
Temperatura do termopar	112,8 °C
Intensidade de corrente elétrica para ajuste de temperatura	700 A ~ 400 A
Corpos-de-prova (temperatura do ponto P ₂)	
Arruela 1 – Corroída	125,0 °C
Arruela 2 – Inox	121,0 °C
Arruela 3 – Corroída em 50%	122,0 °C
Arruela 4 – Natural (sem tratamento)	127,0 °C
Arruela 5 – Envernizada	121,0 °C

Fonte: autores, 2019.

Os parâmetros citados acima dependem da temperatura de operação, que compreende a faixa de temperatura em que o fabricante do termovisor garante as especificações fornecidas e o adequado funcionamento do equipamento em operação. Com relação à utilização em equipamentos mecânicos, seja em ambientes abertos ou fechados, deve-se observar a variação da temperatura ambiente, pois a sensibilidade térmica do termovisor piora quando a temperatura ambiente diminui. O sistema de detecção térmica torna-se mais ruidoso e a resolução de temperatura reduz (HOLST, 2000).

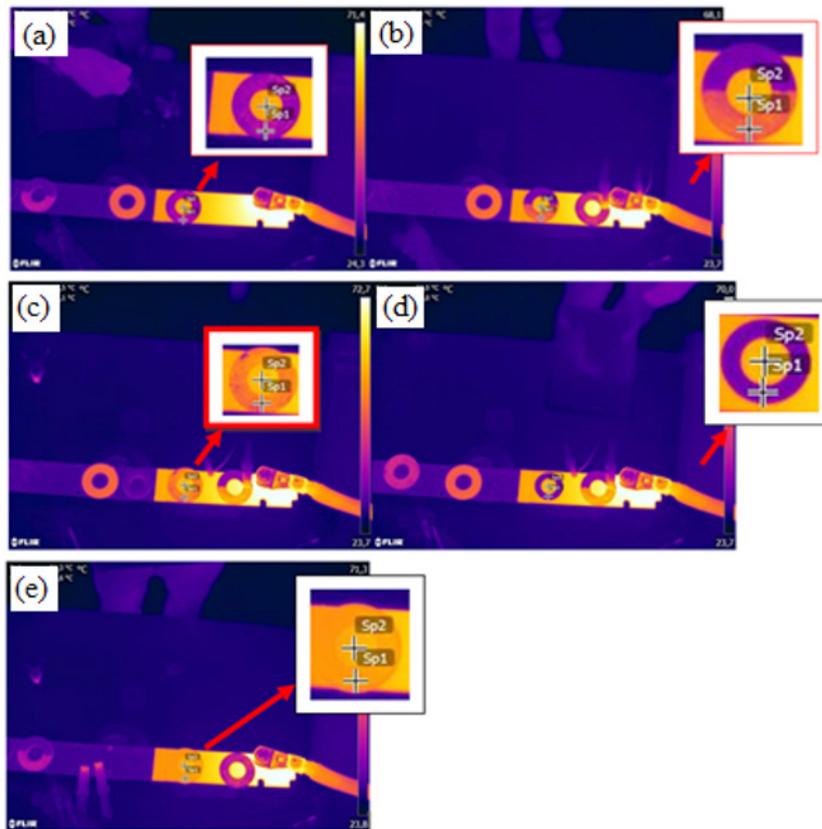
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os termogramas foram registrados na condição em que a superfície da barra de metal aquecida estivesse sobre efeito de duas situações: temperatura ambiente < 30 °C e temperatura inicial de teste em $T_{ref} = 62$ °C e $T_{ref} = 122$ °C de referência. Esse cuidado se deve principalmente ao fato de manter as temperaturas padrão para cada um dos corpos-de-prova testados. A avaliação da emissividade foi realizada em cada um dos corpos-de-prova, com o objetivo de evidenciar os fatores incidentes sobre esse parâmetro. Para cada termograma obtido, foi realizada a medição de emissividade.

No levantamento, os termogramas apurados durante os testes estão relacionados nas Figuras 2 e 3, assim como os valores obtidos por meio das suas análises. Foi aplicada, em cada captura de imagem, de forma que, para cada termograma registrado, uma medição de emissividade, evitando-se assim adoção de valores padrão para emissividade dos corpos-de-prova.

Para $T_{ref} = 62$ °C:

Figura 2 - Termogramas para temperatura referência 62 °C. (a) natural; (b) corroída em 50%; (c) corroída; (d) inox; (e) envernizada.



Fonte: autores, 2019.

Os resultados obtidos por meio das análises dos termogramas estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Leituras obtidas dos termogramas. Temperatura de referência 62 °C.

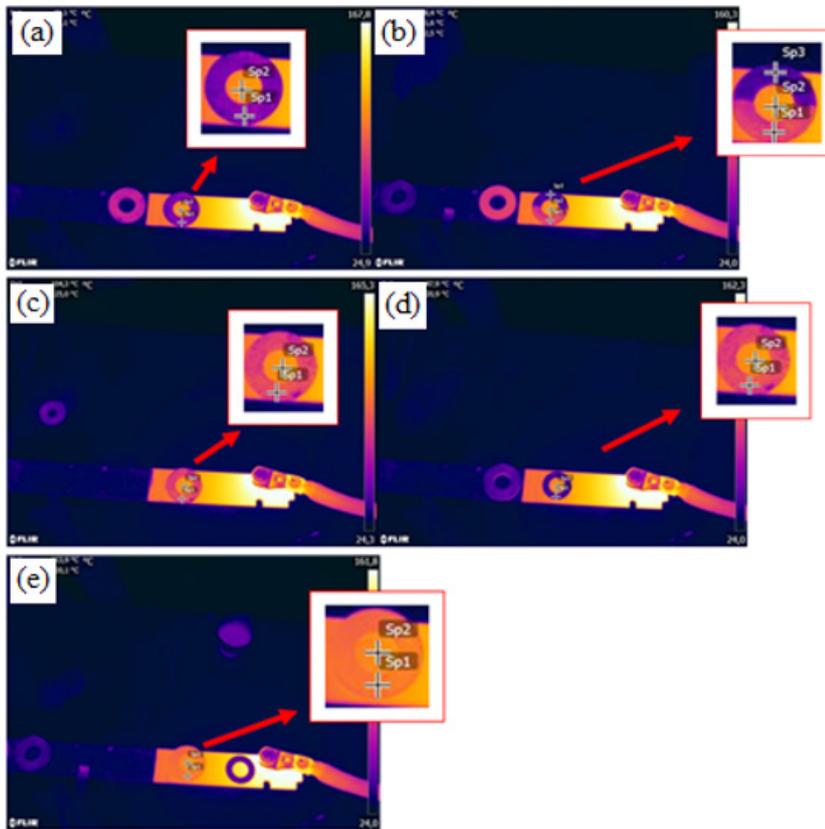
Amostra	Superfícies	Temperatura (°C)
Natural	Arruela	40,2
	Barra	58,4
Corroída em 50%	Não corroída	34,0
	Corroída	49,6
Corroída	Barra	60,4
	Arruela	56,7
Inox	Barra	61,4
	Arruela	34,3
Envernizada	Barra	59,1
	Arruela	55,9
	Barra	58,7

Fonte: autores, 2019.

Ao se verificar as temperaturas identificadas nos termogramas, conforme a Tabela 4, é possível notar que a barra aquecida apresentou uma variação de temperatura entre 58,4 °C a 61,4 °C, o que pode ter impactado nas temperaturas captadas para cada corpo-de-prova. Porém, também é possível perceber que a arruela corroída apresentou temperatura de face mais alta da ordem de 56,7 °C, se comparada à arruela corroída em 50% com temperatura de face de 34,0 °C na parte não oxidada. Os valores apurados para temperatura inicial de 122 °C são mostrados na Tabela 5, obtidos conforme Figura 3.

Para $T_{ref} = 122 \text{ °C}$

Figura 3 - Termogramas para temperatura referência 122 °C. (a) natural; (b) corroída em 50%; (c) corroída; (d) inox; (e) envernizada.



Fonte: autores, 2019.

Como ocorreu no levantamento com temperatura de referência 62 °C, os termogramas disponibilizaram informações sobre a temperatura nos locais selecionados e apresentaram a imagem visual da distribuição da temperatura nos corpos-de-prova. Nos termogramas, foram assinalados com números os pontos de alteração de temperatura que indicavam as temperaturas analisadas. Os resultados obtidos por meio das análises dos termogramas estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Leituras obtidas dos termogramas. Temperatura de referência 122 °C.

Amostra	Superfícies	Temperatura (°C)
Natural	Arruela	66,9
	Barra	125,8
Corroída em 50%	Não corroída	49,5
	Corroída	99,5
	Barra	121,6
Corroída	Arruela	99,8
	Barra	124,4
Inox	Arruela	47,4
	Barra	122,0
Envernizada	Arruela	109,0
	Barra	120,4

Fonte: autores, 2019.

Conforme a Tabela 5, é possível verificar que a barra aquecida apresentou uma variação de temperatura entre 120,4 °C a 138,2 °C, o que pode ter impactado nas temperaturas captadas para cada corpo-de-prova. Porém, diferente dos testes com $T_{ref} = 62$ °C, a temperatura de face mais elevada foi apresentada pela arruela envernizada, que atingiu temperatura da ordem de 109,0 °C, se comparada à arruela de inox que apresentou a temperatura de face de 47,4 °C.

A diferença dos valores de temperatura encontrados entre a tomada de termogramas em temperatura inicial de teste em $T_{ref} = 62$ °C e $T_{ref} = 122$ °C de referência é devido aos corpos emitirem radiação em faixas espectrais diferentes. As arruelas com diferentes tipos de acabamento absorvem as radiações infravermelhas irradiadas, reemitindo uma parte para a superfície. Isso pode justificar a diferença entre as temperaturas das barras e as temperaturas captadas pela termocâmera. Outra constatação é que o aumento significativo da temperatura de contato (da barra aquecida), representado pelos termogramas capturados, impacta diretamente nos índices de emissividade das peças. O índice de refração das arruelas está associado ao ângulo de reflexão total das ondas eletromagnéticas. Outro fator que afeta a emissividade é a parcela de radiação infravermelha proveniente do ambiente e de objetos próximos, que é refletida pelos corpos-de-prova e captada pela câmera.

Dessa forma, é possível perceber a necessidade de uma metodologia fundamentada para aplicação da termografia em peças de aço SAE 1045, de modo a evitar possíveis erros de diagnóstico. Apesar de ter sido feito em ambiente controlado (laboratório), o presente estudo demonstrou que é possível diagnosticar variações significativas da temperatura de face dos elementos de aço carbono, afetadas por níveis diferentes de corrosão. Tais diagnósticos podem ser aplicados em ambientes operacionais ou de campo. Vale ressaltar que o operador deve estar ciente das dificuldades em se realizar as medições nas regiões espelhadas, mantendo um posicionamento coerente e definindo a emissividade aparente da região da peça em estudo no momento da análise.

4 CONCLUSÃO

Pode-se constatar, a partir dos testes apresentados, que a aplicação da termografia mostra resultados satisfatórios e alta confiabilidade na utilização, podendo-se atingir o diagnóstico referente à corrosão dos corpos-de-prova estudados.

Ao analisar os resultados dos testes com os corpos-de-prova distintos, observa-se uma diferença dos valores de temperatura de face discrepantes. Os valores práticos mostram um resultado com variações significativas da temperatura de face dos elementos de aço carbono afetado por níveis diferentes de corrosão. Tais valores, com $T_{ref} = 62$ °C, variam da temperatura de face de 40,2 °C para uma amostra de aço não tratado, até 56,7 °C, para uma amostra com incidência de corrosão. Para valores, com $T_{ref} = 122$ °C, os índices de temperatura de face foram 50% maiores nas arruelas oxidadas. Os valores obtidos para a temperatura dos corpos-de-prova por termografia são diretamente dependentes da emissividade da superfície, que, no presente estudo, apresenta influência das condições de ensaio.

O estudo revelou que, na execução dos ensaios, identificou-se uma série de fatores a serem observados no momento da aplicação da termografia como ferramenta de diagnóstico em uma situação real. Os fatores mais relevantes recaem sobre o acesso às áreas de análise, a metodologia requer que a área de análise seja acessível e que outros fatores importantes sejam observados, como variáveis que devem ser determinadas antes do início do ensaio, tais como: a) condições térmicas do local, antes e durante o ensaio (temperatura do ambiente e umidade relativa do ar); e b) emissividade aferida por meio do método do corpo negro.

Assim, os valores apurados no teste prático se alinham com os valores teóricos, considerando também que tais diagnósticos podem ser aplicados em ambientes operacionais ou de campo. Para futuros trabalhos, são sugeridas a utilização da metodologia de estimativa da incerteza de medição abordada neste estudo e a comparação com os resultados encontrados. Também é preciso aprofundar a análise das diferenças observadas nos cálculos da irradiação. Para isso, é necessário realizar uma análise mais detalhada, a fim de se identificar o fator de erro e, assim, determinar os parâmetros ideais das temperaturas capturadas a partir do objeto ou peça a ser avaliada com maior precisão.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pela estrutura física e suporte. Os autores também gostariam de agradecer as Agências Brasileiras CAPES, CNPq e FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15572: Ensaios não destrutivos – Termografia – Guia para Inspeção de Equipamentos Elétricos e Mecânicos, 2013. 8 p.
- CHRZANOWSKI, K. **Testing Thermal Imagers. Practical Guide**. Military University of Technology, Warsaw, Poland, 2010.
- COSTA, M. A. F.; COSTA, M. F. B. **Metodologia da pesquisa: abordagens qualitativas**. Rio de Janeiro, 2019.
- FLIR. FLIR SYSTEMS®. **Manual do operador**. FLIR bxx series, FLIR ixx series. Canadá: FLIR Systems, Inc. 2010.
- FLIR. FLIR - **Termovisores**. São Paulo/SP. FLIR, ano 2013. Disponível em: <http://www.flir.com/thermography/americas/br/view/?id=56784>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- HOLST, G. C. **Common Sense to Approach to Thermal Imaging**. JCD Publishing and SPIE Optical Engineering Press, 2000.
- ISLAM, A., L, F.; HAMID, H.; JAROO, A. **Bridge Condition Assessment and Load Rating using Dynamic Response**. Youngstown, United States. 2014.
- MALDAGUE, X. P. V.; MOORE, P. **Infrared and Thermal Testing**. ASNT, v. 3, 2001.
- MALDAGUE, X. P. V. **Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook**. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore, 2001.
- MCCAN, D.; FORDE, M. Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures. **NDT & E International**, v. 34, n. 2, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(00\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(00)00032-3). Acesso em: 30 nov. 2018.
- VERATTI, A. B. Sistema Básico de Inspeção Termográfica: Um novo patamar na relação custo benefício em termografia. **Icon tecnologia**. Disponível em: <http://www.tecem.com.br/site/downloads/artigos/SBIT3a.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2018.