


# Identificação da corrosão em estruturas metálicas através da análise de imagens termográficas

Ulclas Fernandes Marques<sup>1</sup> 

Sandra Raquel Kunst<sup>2</sup> 

Cláudia Trindade Oliveira<sup>1\*</sup> 

Daiana Cristina Metz Arnold<sup>1</sup> 

## Resumo

A pintura anticorrosiva, se executada de forma correta, é uma técnica eficiente e muito utilizada na proteção de estruturas metálicas. Esse tipo de pintura exige constantes inspeções para identificar pontos de falha. Um ensaio não destrutivo que pode facilitar essa inspeção é a termografia. O presente estudo busca utilizar a técnica de termografia para identificar pontos de corrosão em estágio inicial, mesmo que localizados na parte inferior da camada de proteção anticorrosiva, sinalizando a necessidade de reparo pontual, simplificado e de menor custo em estruturas metálicas. Para tanto, três corpos de prova (CPs) diferentes foram elaborados com aço ASTM A36 sem pintura, com pintura anticorrosiva e com pintura anticorrosiva e uma falha induzida na película de tinta. Os CPs foram analisados em diferentes intervalos de exposição à névoa salina, através de ensaio visual e termográfico. Os resultados mostraram que os termogramas foram eficientes na exposição da corrosão dos CPs sem pintura, com temperatura superficial superior a 34 °C. Os CPs que receberam falha na pintura tiveram um início de corrosão pontual no local da fenda, porém, o termograma gerado pela câmera utilizada não indicou esse princípio de corrosão.

**Palavras-chave:** Inspeção; Termografia; Corrosão; Aço; Névoa salina.

## Identification of corrosion in metallic structures through the analysis of thermographic images

### Abstract

Anticorrosive painting, if performed correctly, is an efficient and widely used technique in the protection of metal structures. This type of painting requires constant inspections to identify points of failure. A non-destructive test that can facilitate this inspection is thermography. This proposed study aims to use the thermography technique to identify points of corrosion at an early stage, even if located at the bottom of the anticorrosive protection layer, signaling the need for punctual repair; simplified and lower cost. For this purpose, three different test specimens (CPs) were prepared with unpainted ASTM A36 steel, with anti-corrosion paint and with anti-corrosion paint and an induced failure in the paint film. The CPs were analyzed at different intervals of exposure to salt spray, through visual and thermographic tests. The results showed that the thermograms were efficient in exposing the corrosion of the unpainted CPs and surface temperature above 34 °C. The CPs that received paint failure had a punctual onset of corrosion at the crack site, however the thermogram generated by the camera used did not indicate this principle of corrosion.

**Keywords:** Inspection; Thermography; Corrosion; Steel; Salt spray.

## 1 Introdução

A eficiência da pintura anticorrosiva está diretamente ligada à integridade da película que ela forma sobre a estrutura, que funciona como uma barreira, dificultando o

contato da superfície metálica com o meio ambiente [1-3]. Durante toda vida útil da estrutura, são necessárias inspeções visuais periódicas a fim de identificar possíveis pontos de

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – ICET, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

<sup>2</sup>Projeto de Fixação de Recursos Humanos do CNPq, Nível A (RHAE) - CNPq, Sapucaia do Sul, RS, Brasil.

\*Autor correspondente: cto@feevale.br



fragilidade ou rompimento da camada protetora, sendo essa a principal causa de corrosão em estruturas metálicas que recebem esse tipo de proteção [1,4].

Quando rompida a película, de forma sutil, dá-se início à corrosão por concentração diferencial. Definida como corrosão filiforme, é difícil de ser identificada a olho nu quando ocorre abaixo da película de proteção e pode ser camuflada por depósitos de partículas sólidas de poluentes do ar. O ataque é identificado quando atinge uma área maior ou quando já são visíveis imperfeições na estrutura [4]. Existem barreiras que dificultam a inspeção devido às características particulares de cada projeto envolvendo construções metálicas, como a dificuldade de acesso a determinados pontos dessas estruturas, seja por questões de altura, riscos com eletricidade ou exposição a atmosferas tóxicas [4,5].

Diariamente, novas tecnologias são incorporadas ao cotidiano das práticas de engenharia, objetivando contribuir nos processos de inspeção dos mais variados materiais. Através da inspeção termográfica é possível identificar corrosão no concreto armado [6]. Esse método só é possível pois, segundo Cavalcanti et al. [7], o processo de corrosão libera calor e causa variação térmica na superfície do material. O equipamento capta essa variação térmica através de espectro infravermelho, gerando dados confiáveis sem a necessidade de destruição da estrutura. Esta pesquisa limita-se a identificar corrosão em aço estrutural exposto a um ambiente de agressividade elevada e protegido por película de tinta anticorrosiva, através da interpretação visual do contraste de cores de imagens realizadas com câmera termográfica [8]. O estudo buscou identificar indícios de corrosão abaixo desta película de tinta e não visível a olho nu. Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar utilização do contraste de cores de termogramas na identificação de áreas de corrosão em aço estrutural com operação em ambiente atmosférico agressivo até 80 °C.

## 2 Materiais e métodos

O programa experimental foi desenvolvido como no fluxograma apresentado na Figura 1. As etapas do fluxograma serão discutidas na metodologia.

### 2.1 Materiais utilizados

O material utilizado para o ensaio, foi o aço carbono ASTM A36, proveniente de uma indústria siderúrgica. A Tabela 1 apresenta a composição química e as propriedades mecânicas deste material, conforme dados do fabricante.

O aço ASTM A36 é classificado como aço estrutural e é utilizado em construções de estruturas metálicas em geral,

passarelas e ferrovias. Silva e Gheno [9] apontam que este aço tem razoável resistência à corrosão e por esse motivo foi escolhido para este estudo, visando a possibilidade de gerar uma corrosão inicial, dentro do tempo de exposição do ensaio de corrosão acelerada, que tem total de 750 horas.

Na preparação das tintas, primeiramente foi utilizado um fundo bicomponente epóxi, sem solvente Tipo II, tolerante a superfícies molhadas [10]. Esta tinta apresenta grande resistência química e à água. Para aplicação foi utilizado rolo de lã de ovelha, conforme orientação do fabricante e também o auxílio de pistola de pintura.

A tinta utilizada para acabamento foi poliuretano (PU) acrílico [11]. Esse tipo de tinta apresenta grande resistência físico-química e ao intemperismo.

Nesta composição, as resinas do tipo epóxi utilizadas no fundo foram as grandes responsáveis pela proteção contra a corrosão. Esse tipo de resina apresenta ótimas propriedades de aderência e o grande volume de sólidos garante alta resistência à abrasão e ao impacto, formando uma barreira que impede o contato do meio eletrolítico com a superfície metálica.

A câmera termográfica utilizada nesta pesquisa foi a FLIR TG165, fabricada pela empresa FLIR SYSTEMS.

O modelo possui resolução de 4800 pixels, campo de visão de 50° x 38,6°, frequência de imagem de 9 Hz, distância focal mínima de 0,1 m e distância de medição mínima de 26 cm. A medição termográfica do equipamento

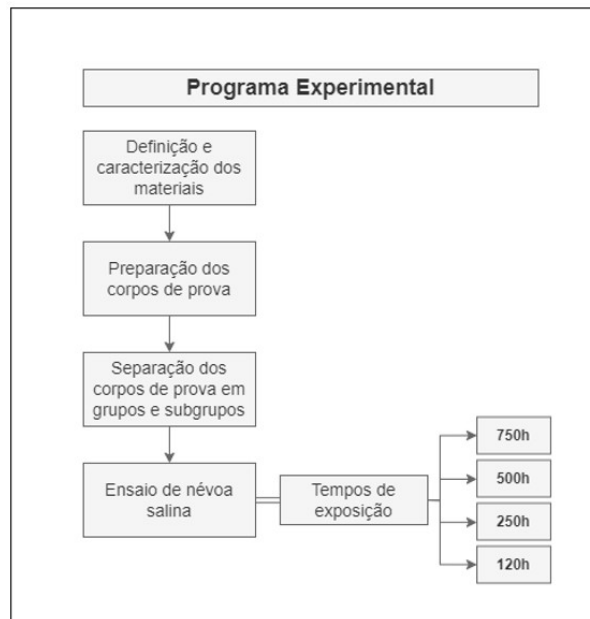


Figura 1. Fluxograma da metodologia

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do aço ASTM A36 conforme fabricante

Elemento químico	C <sub>máx.</sub>	Mn	P <sub>máx.</sub>	S <sub>máx.</sub>	Cu	Limite de escoamento mín.	Limite de resistência	Alongamento após ruptura mín.
Quantidade (%)	0,26	1	0,04	0,40	0,20	250 MPa	400-550 MPa	20

abrange uma faixa de temperatura de objeto que varia de -25 °C até 380 °C.

## 2.2 Métodos: confecção dos corpos de prova

Foram confeccionados corpos de prova (CP) com placa de aço ASTM A36, com dimensões de 100 mm de comprimento, 70 mm de largura e 6 mm de espessura. No total foram produzidos 12 CPs sendo, 3 CPs sem tratamento superficial (AC), ou seja, sem revestimento de pintura anticorrosiva, 3 CPs com o tratamento superficial de pintura anticorrosiva (AP) e 6 CPs receberão o mesmo tratamento superficial, porém terão uma falha induzida na camada de pintura, simulando um rompimento na película de proteção (APF).

Os CPs tiveram a massa aferida e os valores estão disponíveis na Tabela 2.

Antes da pintura, as amostras tiveram as superfícies inspecionadas visualmente, a fim de identificar sinais de danos ou resíduos contaminantes como óleos, graxas e gorduras. Seguindo a norma NBR 15158 [12], a limpeza das amostras de aço foi feita com panos limpos e detergente biodegradável — que foi removido completamente após a limpeza.

O processo de pintura seguiu a norma N-1374 [13] de revestimentos anticorrosivos para unidades marinhas de exploração e produção, especificamente as diretrizes que dizem respeito a estruturas em zona atmosférica marinha até 80°C. Foram aplicadas duas camadas de fundo com auxílio de rolo de lã de ovelha, que foi descartado após cada demão. O intervalo entre demãos foi de 24 horas. O acabamento foi feito em uma camada e foi aplicado com auxílio de pistola própria para tinta [10,11].

O rompimento induzido da película seguiu a norma D1654 [14]. Foi utilizada uma lâmina para corte, deslizada no sentido longitudinal da peça, respeitando uma borda mínima de 1,25 cm entre o fim e o início do corte e a aresta do CP. Ao todo foram 3 passadas de lâmina até o completo rompimento da película da tinta. As bordas dos CPs, por não receberem pintura, foram protegidas com parafina [13].

## 2.3 Métodos: ensaio de corrosão acelerada

A fim de acelerar o processo de corrosão, os corpos de prova passaram por ensaio de névoa salina, realizado em uma câmara experimental desenvolvida por Klein et al. [15] e respeitando as normas NBR 8094 [16] e B117 [17].

As amostras foram pulverizadas em solução de água destilada com 5% de NaCl e foram retiradas periodicamente para inspeção nos tempos de 250 horas, 500 horas e 750 horas, conforme estipulado pela norma B117 da [17]. Na tentativa de identificar o processo de corrosão no estágio mais inicial possível, além dos períodos estipulados pela norma no programa experimental, também foi realizada a inspeção das amostras com 120 horas de exposição à névoa salina. Para cada inspeção, foram retirados do equipamento os 3 CPs sem pintura, os 3 CPs com pintura e 3 CPs com pintura e falha na película, sendo que, deste último, um CP não retornou a câmara de névoa salina após o processo de inspeção, pois teve sua pintura removida para inspeção visual.

## 2.4 Métodos: inspeção visual

Após retirar os CPs da câmara de névoa salina, as peças foram lavadas com água destilada para remover qualquer resíduo da solução pulverizada na câmara. Durante a lavagem foi utilizada uma palha de aço, suavemente friccionada sobre a face oposta da amostra para auxiliar na remoção da parafina. Após, os CPs foram secos com auxílio de pano macio. As amostras foram identificadas e fotografadas para registro e inspecionadas visualmente, buscando identificar sinais de corrosão, como manchas ou desgaste superficial.

## 2.5 Métodos: ensaio termográfico

Após a primeira inspeção visual, os CPs foram analisados individualmente pelo processo de termografia, que seguiu método semelhante ao estudo de Grosso [18] e de Costa et al. [19]. No primeiro ensaio termográfico, após 120 horas de exposição à névoa salina, os CPs foram apoiados sobre a bancada de granito do laboratório. Como excitador térmico, um soprador com potência de 1700 W foi posicionado a 20 cm do CP e durante 10 segundos emitiu-se calor sobre sua superfície. A câmera termográfica foi pré-ajustada com índice de emissividade de 0,8 (conforme manual do equipamento) e posicionada a uma distância de aproximadamente 30 cm do CP. O termograma foi capturado 30 segundos após o fim da excitação térmica. Esse intervalo foi estipulado para que fosse possível retirar o soprador, pegar a câmera e posicioná-la sobre o CP.

A partir do segundo ensaio termográfico (250 horas de exposição à névoa salina), para obter um melhor resultado, foi realizado ajuste no método. Para conseguir termogramas

**Tabela 2.** Massa dos CPs antes do ensaio de névoa salina

CP	AC1	AC2	AC3			
Massa (g)	354,6	358,8	375,1			
CP Massa (g)	AP4	AP5	AP6			
	354	353,2	355,9			
CP Massa (g)	APF7	APF8	APF9	APF10	APF11	APF12
	374,7	379,5	371,6	351,2	360,2	368,2

com mais contraste e de melhor interpretação, o intervalo de temperatura utilizado para análise termográfica das imagens foi ajustado automaticamente pelo equipamento, conforme a intensidade de calor da imagem. O respectivo ajuste pode ser visto na Figura 2, onde foram capturados termogramas de um recipiente com água fria e um recipiente com água em temperatura ambiente e posteriormente, foram gerados novos termogramas com a adição de um terceiro recipiente contendo água morna.

A temperatura que aparece em cada termograma é referente ao ponto marcado pela mira presente no centro da imagem. Regiões de temperaturas mais quentes são representadas por tons de amarelo e laranja e, conforme esfriamento, passam para tons de magenta, até chegar em azul escuro, que representa áreas com temperaturas menores. Nos termogramas (a) e (b) tem-se apenas os recipientes de água fria e de água em temperatura ambiente, sendo que este último se camufla com o restante da imagem em tom alaranjado, por estar em temperatura equivalente ao ambiente. Já nos termogramas (c) e (d) foi adicionado um terceiro recipiente contendo água quente. É possível visualizar que a temperatura ambiente passa a ser representada por tons de magenta quando se tem um limite de temperatura máxima mais elevada, o que comprova a adaptação automática do equipamento ao intervalo de temperatura presente na imagem, porém, a câmera não pôde precisar os valores máximos e mínimos aferidos no momento do registro.

Para uma menor interferência externa no termograma, os CPs passaram a ser apoiados sobre uma placa de poliestireno, material que, segundo Silva [20], possui boa capacidade de isolamento térmico. O mesmo excitador térmico foi utilizado, porém, foram realizados registros termográficos em quatro intervalos de exposição ao calor, sendo estes, 10 segundos, 30 segundos, 60 segundos e 120 segundos. Em todos estes intervalos, esperou-se 30 segundos após a interrupção do calor para fazer o registro termográfico. A emissividade da câmera foi mantida em 0,8, porém, para ter uma menor interferência externa no termograma a distância entre câmera e os CPs diminuiu para aproximadamente 15 cm.

### 3 Resultados e discussões

Para facilitar a compreensão dos resultados, inseriu-se neste tópico os registros fotográficos e termogramas de melhor qualidade e de maior relevância para a pesquisa. Para os CPs de aço carbono sem pintura, foi identificado que a corrosão ocasionada pela névoa salina aconteceu em toda a superfície dos corpos de prova, sendo caracterizada, como corrosão uniforme [21]. Na Figura 3 tem-se os registros fotográficos do CP AC01 nos quatro intervalos de inspeção visual.

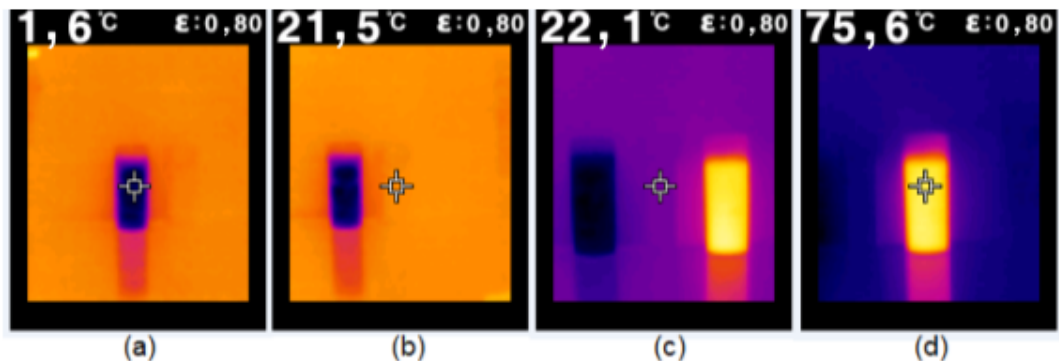
A maneira como a corrosão se desenvolveu neste CP também foi observada nos demais CPs sem pintura. Devido à formação de ferrugem na superfície do aço observou-se aumento de massa das amostras, porém, após a limpeza da superfície, ao final do estudo, foi registrada perda de massa superior à 0,03%, como relatado na Tabela 3.

A partir do segundo ensaio termográfico foram realizados quatro tempos diferentes de exposição à radiação, sobre os CPs, antes do registro térmico. Os tempos de exposição foram testados para que a temperatura superficial do aço não ultrapassasse os 80°C, temperatura máxima de utilização para qual a tinta escolhida é designada, segundo a Norma Petrobrás 1374 [13] no que se refere a zonas marítimas atmosféricas. A Tabela 4 apresenta a relação entre tempo de exposição e temperatura no ponto central do CP ao longo destes ensaios.

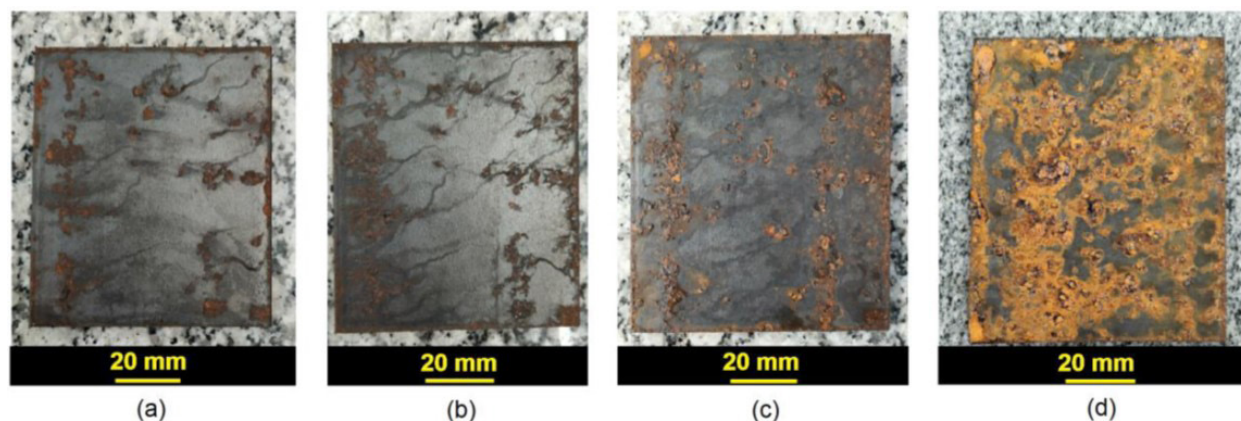
Conforme o tempo de exposição ao calor aumenta, a temperatura sobre a superfície do CP também aumenta, gerando termogramas mais nítidos e de melhor interpretação. Isso foi observado em todos os CPs, porém, nas peças sem pintura, por terem uma corrosão mais expressiva na superfície, foi possível visualizar melhor essa relação.

A Figura 4 demonstra esse ganho de nitidez com o aumento da temperatura superficial nos termogramas do CP AC01 durante o terceiro ensaio termográfico (500 horas de exposição a névoa salina).

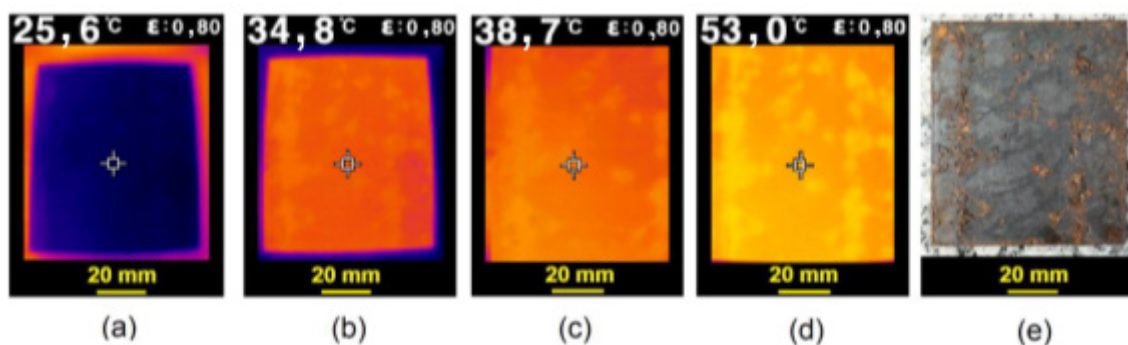
A partir do segundo termograma (b), com 30 segundos de exposição ao calor, pode-se identificar as áreas mais claras, onde está acontecendo a corrosão, porém, é no termograma (d), após 120 segundos de exposição e com temperatura no centro do CP acima dos 50 °C, que tem-se a melhor relação



**Figura 2.** Termogramas resultantes do teste de intervalo de temperatura máxima e mínima.



**Figura 3.** Desenvolvimento da corrosão no CP AC01 durante exposição a névoa salina por 120 horas (a), 250 horas (b), 500 horas (c) e 750 horas (d).



**Figura 4.** Termograma CP AC01 após exposição ao calor por 10 segundos (a), 30 segundos (b), 60 segundos (c), 120 segundos (d) e fotografia do ensaio visual (e).

**Tabela 3.** Variação de massa dos CPs sem pintura ao longo do ensaio

CP	Massa (g)					Ganho final de massa	Após limpeza final	Perda de massa
	Inicial	120 h	250 h	500 h	750 h			
AC01	354,6	355,0	355,1	355,3	355,7	1,4	351,7	2,9
AC02	357,8	358,3	358,4	358,6	359,1	1,2	355,2	2,6
AC03	375,1	375,5	375,5	375,8	376,3	0,9	373,0	2,1
CP	Produto da corrosão total (%)		Produto da corrosão total (%)		Perda de massa por área do CP (g/cm <sup>2</sup> )		Perda de massa total (%)	
AC01	0,0157		0,3948		0,0414		0,8178	
AC02	0,0186		0,3354		0,0371		0,7267	
AC03	0,0171		0,2399		0,0300		0,5599	

entre as manchas claras do termograma e as áreas de corrosão na fotografia do CP AC01. Este último termograma (d) se assemelha aos resultados encontrados por Grosso [18], Costa et al. [19] e Chung et al. [22].

A mesma relação de temperatura com qualidade de imagem é visível nos CPs com pintura, onde o aumento da temperatura superficial gerou termogramas com melhor definição. Ocorre que, como observado na Figura 5, os CPs com pintura não apresentaram corrosão na face pintada durante o tempo de exposição. Nestes casos, a proteção de

tinta permaneceu preservada ao longo do ensaio de névoa salina — o que reforça o observado por Guido [1] que aponta a falha na pintura como principal fator de início de corrosão em aços protegidos por pintura anticorrosiva.

No caso dos CPs com pintura, mesmo os termogramas de melhor definição, correspondentes a maior temperatura superficial, não apresentaram variação de cor na superfície que pudesse indicar algum sinal de corrosão abaixo da película de tinta. Estes termogramas podem ser conferidos na Figura 6.

Os resultados apresentados nos CPs com pintura vão ao encontro aos relatados por Arévalo et al. [23], cujas amostras de aço pintadas resistiram à exposição de névoa salina por 1448 horas sem indícios de corrosão. No caso de Arévalo et al. [23], a tinta utilizada continha Zinco, o que aumenta sua resistência à corrosão, porém, mesmo livre desta substância, os CPs deste experimento resistiram às 750 horas de exposição sem sinais de desgaste.

No caso dos CPs que receberam pintura e tiveram uma falha induzida na superfície, no primeiro ensaio visual foi possível identificar pequenos indícios de oxidação partindo da fenda na pintura, que evoluíram ao longo do tempo de exposição à névoa salina. Entretanto, no momento do ensaio termográfico destes CPs, os termogramas não apresentaram contraste de cor que indicasse esta oxidação. Nota-se que,

**Tabela 4.** Relação entre tempo de exposição ao calor e temperatura média no centro do CP

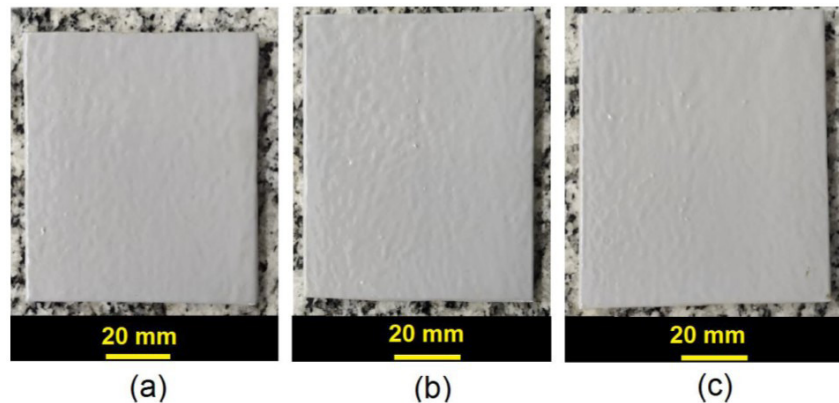
Tempo de exposição ao calor (s)	Temperatura média (°C)
10	26,2
30	34,4
60	44,8
120	58,1

nestes CPs não houve a formação de ferrugem, como averiguado nos CPs sem pintura. Na Figura 7 tem-se o CP APF11 em três registros durante o terceiro ciclo de ensaios (termográfico e visual), após 500 horas de exposição à névoa. A primeira imagem apresenta o CP durante o primeiro ensaio visual, após ser retirado da câmara experimental e limpo, seguido do termograma realizado no ensaio termográfico e, por último, o registro do segundo ensaio visual após a remoção da camada de tinta.

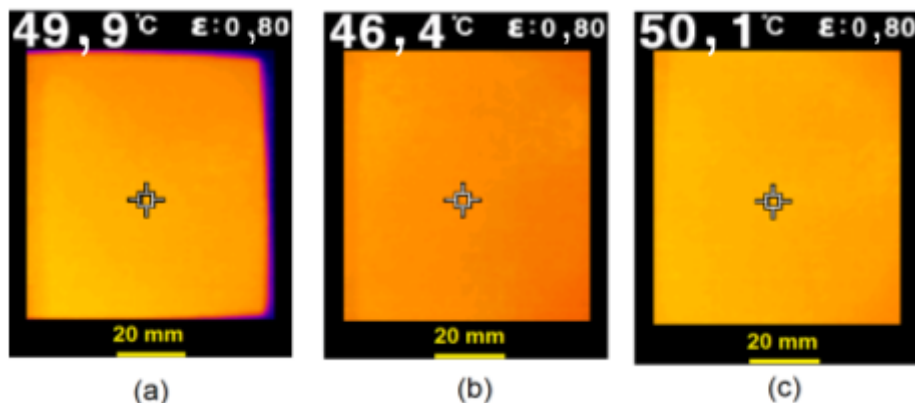
No registro fotográfico Figura 7 (a) observam-se marcas de oxidação sobre a falha na pintura, sendo possível relacionar este resultado aos apresentados por Arévalo et al. [23]. Na terceira imagem (c) da Figura 7, com a tinta removida, nota-se que o processo de corrosão iniciou de forma superficial no ponto onde antes estava a falha da pintura, sinalizado por um retângulo vermelho.

Este princípio de corrosão assemelha-se à corrosão filiforme apresentada nos resultados de Diamantino et al. [24], porém num estado mais inicial do processo. O termograma (b) realizado com o CP ainda pintado, não apresentou variação de coloração sobre a falha de pintura que pudesse indicar um aumento de temperatura perceptível através do contraste visual.

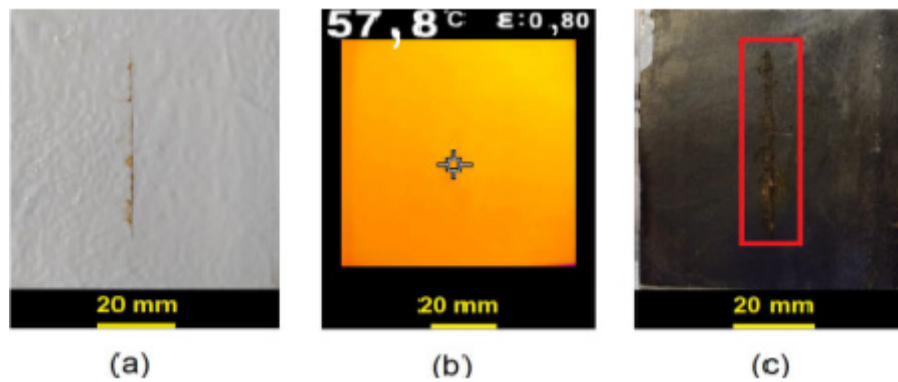
Anterior à exposição à névoa salina, três amostras dos CPs pintados foram coletadas para análise da espessura da



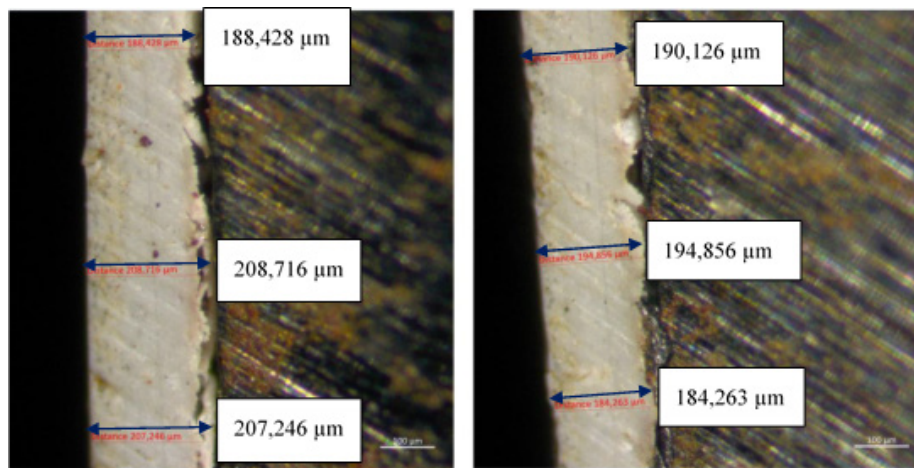
**Figura 5.** Registros fotográficos dos CPs AP04 (a), AP05 (b) e AP06 (c) após 750 horas de exposição à névoa salina.



**Figura 6.** Termogramas dos CPs AP04 (a), AP05 (b) e AP06 (c) após 750 horas de exposição à névoa salina.



**Figura 7.** CPAPF11 registro do ensaio visual (a), termograma (b) e registro após remoção da pintura (c) após 500 horas de exposição a névoa salina.



**Figura 8.** Fotografias feitas com microscópio de perfil em corte de mostra de CP pintado ampliado 160x.

camada de tinta. Através de medição realizada com auxílio de um microscópio, identificou-se que a espessura final, após duas demãos de tinta epóxi e uma demão de tinta PU acrílica, ficou em aproximadamente 200 µm (com variação). Algumas imagens resultantes desta análise podem ser vistas na Figura 8.

Mesmo seguindo metodologias e recomendações de aplicação e dosagem do material, indicadas pelo fabricante e descritas no método desta pesquisa, a camada final ficou abaixo da esperada e exigida pela norma N-1374 [13]. Segundo esta norma, a película final, após todo o processo de pintura deve chegar no mínimo à 360 µm, porém, apesar da espessura inferior, a camada de pintura permaneceu íntegra até o final do experimento.

A técnica de inspeção termográfica mostra-se promissora na identificação de corrosão em estruturas metálicas. Estudos sobre sua aplicação devem ser aprofundados testando diferentes distâncias entre câmera e estrutura, e efeitos de adversidades climáticas nos resultados, para avaliar a utilização do equipamento em conjunto com VANT (veículo aéreo não tripulado). Tal combinação agilizará a inspeção em estruturas de difícil acesso. A respeito das estruturas de aço pintadas e expostas a atmosferas marinha, novos programas experimentais devem ser pesquisados para validar a utilização desta técnica. Para estes, deve ser levado em consideração:

aplicar um maior tempo de exposição das amostras de aço à névoa salina, ou ainda, induzir corrosão na amostra de aço cru para, somente então, aplicar a pintura e realizar o ensaio termográfico; emprego de câmeras termográficas com maior resolução e possibilidade de ajuste fino do intervalo de máximo e mínimo de temperatura analisada. Com resultados satisfatórios envolvendo aço e pintura, esta técnica pode ser avaliada para conferências de reparos de pintura em áreas de estruturas metálicas que sofreram corrosão.

#### 4 Conclusão

É de suma importância pesquisas que aprofundem o emprego de técnicas não destrutivas na identificação e avaliação da corrosão em estruturas metálicas. Obras de engenharia civil que utilizam deste recurso construtivo necessitam de constante inspeção, uma vez que reparos neste tipo de construção consomem significativo capital, que pode ser reduzido tão cedo identificado o dano.

Esta pesquisa se baseou em muitos e diversificados estudos, destacando-se os ensaios termográficos realizados por Grosso [18], Costa et al. [19] e Chung et al. [22], que foram capazes de identificar defeitos artificiais, semelhantes aos de corrosão, em estruturas de aço cobertas por pintura

anticorrosiva. No entanto, esta pesquisa, propôs avaliar corrosão induzida de forma natural nas amostras avaliadas.

Com relação ao CPs que não receberam nenhum tipo de proteção por pintura, os termogramas não apresentaram contrastes significativos que sinalizassem a corrosão que estava acontecendo.

Os termogramas dos CPs que receberam a pintura anticorrosiva, não apresentaram nenhuma variação superficial de cor significativa que indicasse qualquer sinal de corrosão abaixo da pintura. Porém, assim como os resultados de Arévalo et al. [23], os CPs deste grupo não apresentaram nenhum indício de corrosão ou falha no sistema de pintura que pudesse ser percebido na inspeção visual. Desta forma, considera-se inconclusiva a avaliação do emprego da termografia na identificação de corrosão em estágio inicial abaixo da película de tinta de estruturas de aço. Para tal avaliação faz-se necessário um tempo

de exposição maior à névoa salina, objetivando inferir corrosão sobre o CP.

No terceiro grupo de CPs, que recebeu pintura anticorrosiva e uma falha induzida sobre esta proteção, dado o estado pouco avançado da corrosão, o termograma resultante da câmera utilizada no ensaio não foi capaz de sinalizar este princípio de corrosão apenas com o contraste de imagem.

Desta forma pode-se concluir que a técnica de inspeção termográfica mostra-se promissora na identificação de corrosão em estruturas metálicas, porém os estudos precisam ser aprimorados.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro de agências brasileiras: CNPq e CAPES.

### Referências

- 1 Guido LR Fo. Estudo de patologias de pintura e ocorrência de corrosão atmosférica em plataforma de petróleo (dissertação). Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2018.
- 2 Fragata F, Salai RP, Amorim C, Almeida E. Compatibility and incompatibility in anticorrosive painting: The particular case of maintenance painting. *Progress in Organic Coatings*. 2006;56(4):257-268.
- 3 Zhao Y, Xu J-B, Hu J-M. Anticorrosive painting system constructed on a porous silica pretreatment layer prepared with the aid of alkaline catalysis. *Progress in Organic Coatings*. 2021;154:106178.
- 4 Nunes LP. Fundamentos de resistência à corrosão. Rio de Janeiro: Editora Interciência; 2007.
- 5 Li YC, Zhang WWY, Wang XY, Zhang LL, Sun LL. Effect of spray powder particle size on the bionic hydrophobic structures and corrosion performance of Fe-based amorphous metallic coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2022;43:128377.
- 6 Rocha JHA, Póvoras YV. Detecção de corrosão em concreto armado com termografia infravermelha e ultrassom. *Ambiente Construído*. 2019;19(3):1.
- 7 Cavalcanti WM. Metodologia para análise qualitativa de corrosão de aços SAE 1045 por irradiação térmica. *Cadernos UniFOA*. 2019;39:29-39.
- 8 Tamborrino R, D'Accardi E, Palumbo D, Galietti U. A thermographic procedure for the measurement of the tungsten carbide coating thickness. *Infrared Physics & Technology*. 2019;98:114-120.
- 9 Silva RC, Gheno SM. Caracterização mecânica e estrutural do aço ASTM A131 Classe DH36 em comparação com aço ASTM A36 utilizado para projetos. In I SITEFA – Simpósio de Tecnologia FATEC; 2018; São Paulo. Sertãozinho: FATEC; 2018. p. 153-168.
- 10 Petrobrás. Norma Petrobrás N-2680. Tinta Epóxi sem Solventes, Tolerante a Superfície Molhadas. Rio de Janeiro: Petrobrás; 2007.
- 11 Petrobrás. Norma Petrobrás N-2677. Tintas de Poliuretano Acrílico. Rio de Janeiro: Petrobrás; 2017.
- 12 Petrobrás. NBR 15158: Limpeza de Produtos de Aço por Produtos Químicos. Rio de Janeiro: Petrobrás; 2016.
- 13 Petrobrás. Norma Petrobrás N-1374. Pintura de Plataforma Marítima de Exploração e de Produção. Rio de Janeiro: Petrobrás; 2016.
- 14 ASTM International. ASTM D1654: Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments. West Conshohocken: ASTM; 2008.
- 15 Klein RFB, Kunst SR, Scheffel LF, Carone CLP, Ferreira JZ, Oliveira CT, et al. Ensaio de corrosão acelerado para avaliação do metal formador de tanques de armazenagem de biodiesel. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2022;19:e2102.
- 16 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8094: Material Metálico Revestido e Não Revestido: Corrosão por Exposição à Névoa Salina: Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 1983.



- 17 Associação Brasileira de Normas Técnicas. ASTM B117: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. West Conshohocken: ASTM; 2009.
- 18 Grosso M. Análise termográfica de defeitos de corrosão em aços revestidos por materiais compósitos (projeto de graduação de curso). Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2011.
- 19 Costa NS, Azevedo PGF, Silva Oliveira DC, Macedo LT, Cavalcanti LAP, Silva I, et al. Detecção e dimensionamento de corrosão em aço carbono revestido utilizando termografia ativa. *Brazilian Journal of Development*. 2020;6(10):74595-74612.
- 20 Silva FMFS. Estudo de Materiais de Isolamento Térmico Inovadores (dissertação). Portugal: Universidade do Porto; 2013.
- 21 Callister WD, Rethwisch DG. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada. 5. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional; 2020.
- 22 Chung Y, Shrestha R, Lee S, Kim W. Thermographic inspection of internal defects in steel structures: analysis of signal processing techniques in pulsed thermography. *Sensors*. 2020;20(21):6015.
- 23 Arévalo JLM, Pérez-Muñoz D, Millan AR. Resistencia a la corrosión en ambiente salino de un acero al carbono recubierto con aluminio por rociado térmico y pintura poli aspártica. *Revista Ion*. 2017;30(1):21-31.
- 24 Diamantino TC. Esquemas de pintura para estruturas marinhas. *Corrosão e Proteção de Materiais*. 2014;33(3):44-50.

Recebido: 16 Maio 2023

Aceito: 3 Maio 2024