



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**EDUARDO DE FARIAS PANTOJA
RONAIB GUSTAVO E SILVA LOPES**

**AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA E CORROSÃO DE REVESTIMENTO
EXPERIMENTAL COM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO**

TUCURUÍ – PA

2026

EDUARDO DE FARIAS PANTOJA
RONAIB GUSTAVO E SILVA LOPES

**AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA E CORROSÃO DE REVESTIMENTO
EXPERIMENTAL COM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia
Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Nunes Da Silva.

TUCURUÍ – PA

2026

EDUARDO DE FARIAS PANTOJA
RONAIB GUSTAVO E SILVA LOPES

**AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA E CORROSÃO DE REVESTIMENTO
EXPERIMENTAL COM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Data da aprovação: **20/02/2026**

Conceito: **Excelente.**

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Fernando Nunes Da Silva
FEM/CAMTUC/UFPA

Prof. Dr. Wassim Raja El Banna
FEM/CAMTUC/UFPA

Eng. Me. Maycon Magalhães Castro
NDAE/CAMTUC/UFPA

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um revestimento anticorrosivo experimental de base epóxi, incorporando rejeito de minério de ferro como carga funcional. O objetivo principal foi investigar o desempenho deste material na proteção de superfícies de aço SAE 1020, visando uma alternativa sustentável para a valorização de resíduos minerais. A metodologia consistiu na preparação de uma mistura com proporção resina/catalisador de 2:1 e uso de *thinner* como solvente, comparando-a a um revestimento comercial. Foram realizados ensaios de aderência (NBR 11003) e de corrosão acelerada em uma bancada didática de névoa salina (*salt spray*), operada sob as diretrizes da norma NBR 17088, com os corpos de prova expostos a inclinações de 15° e 30°. Os resultados demonstraram que o revestimento experimental atingiu o desempenho máximo de ancoragem, classificado como Y_0 e X_0 . No ensaio de corrosão, o material apresentou taxas competitivas (entre 0,1016 e 0,1170 mm/ano), embora a análise tenha sido limitada pela resolução de 0,1 g da balança utilizada, o que resultou em saturação instrumental nas amostras comerciais em menor inclinação. Conclui-se que o rejeito de minério de ferro é um constituinte promissor para sistemas de proteção industrial, aliando viabilidade técnica aos princípios da economia circular.

Palavras-chave: economia circular; aço SAE 1020; resinas epóxi; sustentabilidade; proteção de superfícies.

ABSTRACT

This study presents the development and evaluation of an experimental epoxy-based anticorrosive coating incorporating iron ore tailings as a functional filler. The primary objective was to investigate the performance of this material in protecting SAE 1020 steel surfaces, seeking a sustainable alternative for mineral waste recovery. The methodology involved preparing a mixture with a 2:1 resin-to-hardener ratio and using thinner as a solvent, comparing it to a commercial coating. Adhesion tests (NBR 11003) and accelerated corrosion tests were conducted using a didactic salt spray bench operated under NBR 17088 guidelines, with specimens exposed at 15° and 30° inclinations. The results showed that the experimental coating achieved maximum anchoring performance, classified as Y0. In the corrosion test, the developed material exhibited competitive rates (between 0.1016 and 0.1170 mm/year), although the analysis was limited by the 0.1 g resolution of the scale used, which led to instrumental saturation in commercial samples at lower inclinations. It is concluded that iron ore tailings are a promising constituent for industrial protection systems, combining technical feasibility with circular economy principles.

Keywords: circular economy; SAE 1020 steel; epoxy resins; sustainability; surface protection.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.1 Materiais.	8
2.2 Preparação dos corpos de prova	8
2.3 Preparação do revestimento	9
2.4 Preparação para o ensaio de aderência.....	11
2.5 Preparação para o ensaio de corrosão.....	12
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
3.1 Método de corte em x	15
3.2 Taxa de corrosão	17
4 CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

A corrosão metálica representa um dos maiores desafios tecnológicos e econômicos para a infraestrutura global, com custos estimados que podem atingir cerca de 3,4% do PIB mundial (CASTRO, 2023). Esse fenômeno é acelerado em regiões litorâneas, onde a elevada concentração de cloretos e a umidade degradam rapidamente estruturas de aço. Para mitigar esses danos, a aplicação de resinas epóxi consolidou-se como uma das soluções mais eficazes, uma vez que sua estrutura polimérica densa atua como uma barreira física superior contra a penetração de eletrólitos (MOREIRA, 2024). No entanto, a busca por sistemas de proteção que aliem desempenho técnico à responsabilidade socioambiental tem impulsionado o desenvolvimento de novos materiais funcionais.

Paralelamente ao desafio da corrosão, a indústria mineral enfrenta a necessidade urgente de gerenciar grandes volumes de resíduos. A produção incessante desses rejeitos constitui uma ameaça ambiental crescente, tornando fundamental a análise de rotas para a reutilização de materiais reciclados dentro do conceito de economia circular (SUSKI; HOFFMANN, 2026). A incorporação de rejeitos de minério de ferro em matrizes poliméricas surge, portanto, como uma oportunidade promissora para a criação de revestimentos sustentáveis, transformando um passivo ambiental em carga funcional para tintas anticorrosivas, o que também auxilia na redução da dependência de insumos puramente petroquímicos.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um revestimento epóxi experimental contendo rejeito de minério de ferro em sua composição. Através de ensaios normatizados de aderência (NBR 11003, 2023) e corrosão em câmara de névoa salina (NBR 17088, 2023) — ambos realizados nas dependências do Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM) do Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC) — buscou-se analisar a eficiência do material desenvolvido em comparação a um revestimento comercial. A utilização desses ensaios de exposição acelerada é crucial, pois permite validar a eficácia de novos sistemas de proteção em ambientes de alta agressividade, garantindo a integridade de ativos industriais (KOEBSCH, 2024). Com isso, pretende-se verificar a viabilidade técnica e ambiental do uso desses rejeitos industriais na proteção de componentes metálicos.

Para a avaliação da resistência à corrosão do revestimento experimental desenvolvido, fez-se necessária a utilização de ensaios de exposição acelerada, que permitem simular a degradação do substrato em ambientes de alta agressividade em um período reduzido. Nesse contexto, o presente trabalho utilizou uma bancada didática para ensaios de névoa salina (*salt spray*), cujo projeto e validação foram detalhados por Mescouto, Pantoja e Nunes da Silva (2023). O uso dessa

infraestrutura laboratorial, desenvolvida sob diretrizes normativas para fins acadêmicos e de pesquisa, possibilitou a aplicação de uma metodologia de ensaio cíclico rigorosa, garantindo a reprodutibilidade das condições ambientais necessárias para quantificar a taxa de corrosão das chapas de aço SAE 1020 revestidas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS.

Os materiais utilizados para os ensaios: Lixadeira com disco flap; lixas d'água com granulometria 120, 320, 600, 800 mesh; sabão neutro; secador elétrico; seringa 10 ml; potes descartáveis com tampa 80 ml; pincel 1"; saco plástico zip; sílica gel; balança digital; resina epóxi realepoxi; solvente thinner; rejeito de minério de ferro; estilete, microscópio com lentes de 10x e 40x; cloreto de sódio (NaCl); água destilada; bancada de ensaio de corrosão de névoa salina.

2.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram confeccionados a partir de chapas de aço SAE 1020, visto que essa liga é comumente usada na fabricação de pinos, parafusos, porcas, arruelas e outros, componentes que, eventualmente, estão sujeitos a ambientes corrosivos e/ou abrasivos.

Com uma esmerilhadeira, a chapa de aço foi cortada em segmentos menores cujas dimensões aproximadas são descritas na Tabela 1. A nomenclatura "A" refere-se às chapas revestidas com o material de proteção anticorrosivo criado para o teste descrito neste artigo, a nomenclatura "B" se refere ao revestimento já existente comercialmente.

Tabela 1 – Tabela de Dimensões dos Corpos de Prova

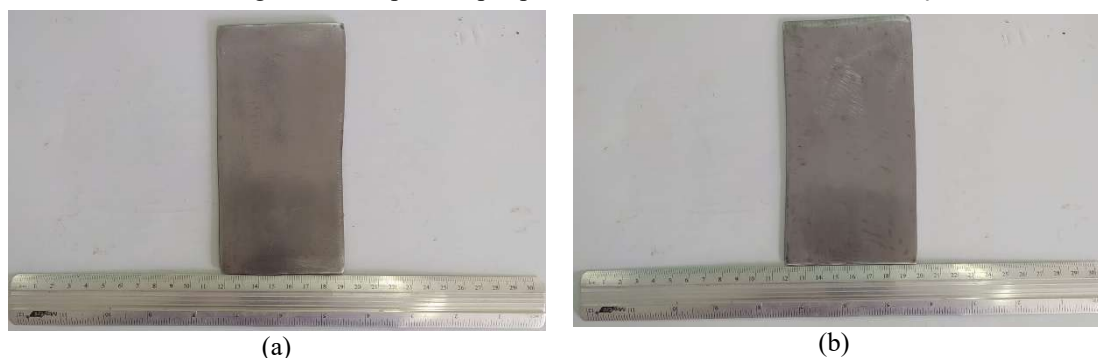
Ângulo	Copo de prova	Massa (g)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)	Área (cm ²)
15°	A1	166,7	14,5	7,8	0,1816	113,1000
	A2	168,6	15,32	7,44	0,1887	113,9808
	A3	168,5	14,77	7,74	0,1876	114,3198
	B1	170,9	14,67	7,6	0,1757	111,4920
	B2	161,8	15,58	7,55	0,182	117,6290
	B3	178,2	15,32	7,82	0,1813	119,8024
30°	A1	169,8	15,39	6,44	0,1827	99,1116
	A2	170,9	14,84	7,44	0,1937	110,4096
	A3	165,8	14,81	7,41	0,1966	109,7421
	B1	205,9	15,7	8,68	0,176	136,2760
	B2	182,3	15,13	7,93	0,1886	119,9809

B3	182,3	15,23	6,78	0,1886	103,2594
----	-------	-------	------	--------	----------

Fonte: Autoria própria (2026).

Os corpos de prova foram previamente separados e preparados por meio de disco flap, utilizado para a remoção de tintas incrustadas nas superfícies. Também foram utilizadas lixas d'água com grão de número 120, 220, 400, 600 e 800 mesh para criar uma superfície mais uniforme nas peças. Em seguida, foram lavados em água corrente, com o objetivo de evitar a recontaminação por partículas residuais. Posteriormente, realizou-se a secagem completa com secador elétrico, assegurando a eliminação total da umidade superficial. Após essa etapa, os corpos de prova foram acondicionados em envelopes plásticos contendo sílica gel, a fim de minimizar a absorção de umidade, permanecendo armazenados nessas condições até o início do ensaio.

Figura 1 – Chapas Limpas para o Ensaio em 15° e 30° de inclinação.



Fonte: Autoria própria (2026).

As imagens (a) e (b) (Figura 1) representa o estado em que se encontram as chapas após a limpeza, lavagem e secagem preparadas para a aplicação do revestimento experimental, após isso foi realizado o ensaio de aderência e o ensaio de corrosão.

2.3 PREPARAÇÃO DO REVESTIMENTO

O revestimento a ser testado consiste numa película protetora à base de resina epóxi de baixa viscosidade, formulada com a incorporação de rejeito de minério de ferro na sua composição, conforme ilustrado na Figura 2. Para garantir a polimerização adequada e as propriedades físico-químicas do filme, a proporção entre resina e catalisador seguiu a recomendação técnica do fabricante de 2:1, respectivamente, sendo utilizado o thinner como solvente para ajuste da viscosidade e facilitação da aplicação.

Figura 2 – Aspecto das chapas após aplicação do revestimento.



Fonte: Autoria própria (2026).

As partículas de rejeito utilizadas neste estudo apresentam granulometria igual ou inferior a $32 \mu\text{m}$ ($\leq 32 \mu\text{m}$), caracterizando-se como material de baixa granulometria. Nessa faixa granulométrica, as partículas atingem dimensões próximas às observadas em talcos industriais e pigmentos utilizados em formulações de tintas, o que favorece sua dispersão na matriz polimérica e contribui para homogeneidade da mistura. A redução e a classificação granulométrica do rejeito foram realizadas por meio de peneiramento, procedimento conduzido no Laboratório de Fluidodinâmica e Particulados (FLUIDPAR).

A definição das proporções da mistura (Tabela 2) priorizou a obtenção de um sistema de alto desempenho para proteção industrial, diferenciando-se tecnicamente de formulações de tintas sustentáveis voltadas para o setor imobiliário ou artístico. Enquanto estudos como os de Silva (2016) e Azevedo (2017) utilizam o rejeito mineral como pigmento majoritário em bases aquosas com aglutinantes poliméricos simples (como a cola branca PVA), o presente trabalho empregou a matriz epóxi para assegurar a estanqueidade necessária em ambientes corrosivos. Da mesma forma, as composições artísticas investigadas por Góis (2016) utilizam emulsões naturais que não possuem a resistência química exigida para a proteção do aço SAE 1020. No contexto desta pesquisa, a carga de rejeito de minério de ferro foi mantida em 15,1% da composição total, permitindo que a matriz epóxi (37,7%) atuasse de forma contínua para garantir o isolamento do substrato.

Tabela 2 – Composição mássica do revestimento.
Composição do revestimento (%)

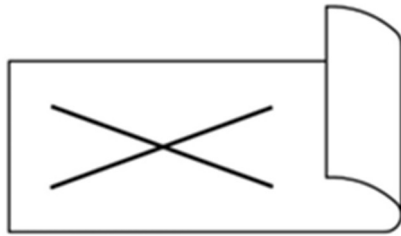
Resina	37,7
Rejeito	15,1
Catalisador	18,9
Solvente	28,3

Fonte: Autoria própria (2026).

2.4 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO DE ADERÊNCIA

O ensaio de aderência foi conduzido de acordo com a ABNT NBR 11003 (2023), que estabelece procedimentos para a determinação da aderência de sistemas de pintura aplicadas sobre substratos metálicos por meio de métodos de corte nas camadas de tinta, incluindo o método de corte em X. A finalidade desse ensaio é avaliar a qualidade da pintura em termos de resistência a umidade, a formação de trincas ou bolhas e a sua ancoragem ao substrato, testados pela *silver tape* aplicada sob o revestimento como mostrando nas Figuras 3 e 4. Esses aspectos essenciais para entender a durabilidade do revestimento.

Figura 3 – Posição da fita em relação ao corte em X. Figura 4 – Aplicação da fita no revestimento.



Fonte: ABNT NBR 11003 (2023).



Fonte: Autoria própria (2026).

No presente estudo, adotou-se o método de corte em X conforme preconizado pela norma, ou seja, dois cortes de 40 mm de comprimento cada um, interceptados ao meio, tendo um ângulo entre 35° e 45°. Os cortes devem alcançar o substrato, em um ou mais passes, seguido de aplicação de fita adesiva para observação de possíveis destacamentos ou falha de adesão (NBR 11003, 2023). Os resultados obtidos permitem inferir a eficácia do processo de aplicação e a qualidade da interface tinta-substrato, em conformidade com os critérios técnicos definidos na NBR 11003 (2023) para ensaios de aderência, e assim, os resultados devem ser expressos de acordo com as Tabelas 3 e 4, a seguir.

Tabela 3 - Destacamento na intersecção.

Destacamento na intersecção	
Y_0	Nenhum destacamento
Y_1	Destacamento de até 2 mm
Y_2	Destacamento de 2 mm até 4 mm
Y_3	Destacamento de 4 mm até 6 mm

Tabela 4 - Destacamento ao longo das incisões.

Destacamento ao longo das incisões	
X_0	Nenhum destacamento
X_1	Destacamento de até 1 mm
X_2	Destacamento de 1 mm até 2 mm
X_3	Destacamento de 2 mm até 3 mm

Y₄ Destacamento acima de 6 mm

Fonte: Adaptado ABNT NBR 11003 (2023).

X₄ Destacamento acima de 3 mm

Fonte: Adaptado ABNT NBR 11003 (2023).

2.5 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO DE CORROSÃO

O ensaio de corrosão em câmara de névoa salina foi conduzido em estrita observância às diretrizes da norma ABNT NBR 17088 (2023), que definiu os parâmetros operacionais de exposição, enquanto a ABNT NBR 6210 (2008) serviu como base técnica fundamental para a coleta de informações e diretrizes referentes ao cálculo da taxa de corrosão. O procedimento, que incluiu o controle da concentração da solução salina, temperatura e métodos de aspensão (Figura 4), foi realizado utilizando a bancada didática projetada e validada por Mescouto, Pantoja e Nunes da Silva (2023). A aplicação conjunta dessas normas, aliada ao uso de um equipamento desenvolvido especificamente para ensaios cíclicos, assegurou o rigor experimental necessário para a adequada interpretação dos resultados e a validação do rejeito de minério de ferro como um sistema de proteção anticorrosiva funcional.

Figura 4 – Realização do ensaio de corrosão por aspensão de névoa salina.



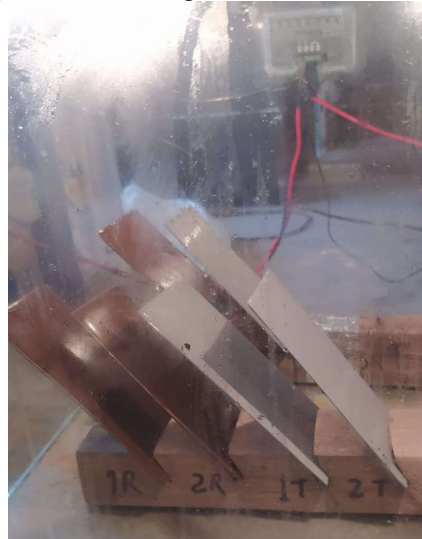
Fonte: Autoria própria (2026).

Para a realização deste experimento, foram necessárias algumas etapas preliminares com o objetivo de assegurar a confiabilidade e a padronização das condições experimentais. Inicialmente, procedeu-se ao recolhimento e a verificação da água destilada, a fim de garantir a ausência de outras substâncias, impurezas ou componentes que pudessem interferir na composição da solução salina e, conseqüentemente, nos resultados do ensaio. Essa etapa foi fundamental para assegurar a pureza do meio corrosivo utilizado. Em seguida realizou-se o processo de secagem do cloreto de sódio (NaCl), sal comercial, com o propósito de eliminar a umidade, ele foi colocado em uma estufa à 100 °C durante 24 horas e dentro desse tempo foi realizado a homogeneização do sal, para

garantir que tivesse uma maior área de contato com a temperatura elevada, evitando assim variações indesejáveis na massa do material. Após secagem, o cloreto de sódio foi dissolvido em água destilada para obter uma concentração de $50 \text{ g/L} \pm 5 \text{ g/L}$ em conformidade com a NBR 17088 (2023).

O ensaio foi realizado com chapas metálicas com o revestimento experimental à base de resina epóxi contendo rejeito de minério de ferro e outras com revestimento de uso comercial, visando a análise comparativa do desempenho dos revestimentos. Após o processo de pintura e cura (mínimo de 8 h e total de 72 h), as amostras foram posicionadas em suportes de madeira, mantendo inclinações de 15° e 30° em relação ao plano horizontal conforme diz a NBR 17008 (2023), o arranjo experimental é representado na Figura 5.

Figura 5 – Chapas posicionada no suporte de madeira nas inclinações 15° e 30° .



Fonte: Autoria própria (2026).

As chapas foram submetidas a condições controladas de temperatura, mantidas em aproximadamente 35°C por meio de sensores térmicos e lâmpadas incandescentes, com variação máxima de $\pm 2^\circ\text{C}$. Esse sistema permitiu a simulação de um ambiente aquecido e estável durante o ensaio, garantindo a uniformidade das condições experimentais. O controle desses parâmetros possibilitou a avaliação do comportamento dos revestimentos frente as condições impostas, contribuindo para a análise da resistência a corrosão e da eficiência dos materiais estudados.

O ensaio foi realizado em duas etapas distintas com duração de 48h, com o objetivo de possibilitar uma análise comparativa entre o revestimento experimental e o revestimento comercial, as amostras foram submetidas a procedimentos padronizados de limpeza, incluindo lavagem em água corrente, aplicação de sabão neutro e secagem adequada, com o objetivo de remover resíduos superficiais e possibilitar a aferição de suas massas.

Após o término da exposição, as amostras passaram pelo mesmo processo de lavagem com água corrente, limpeza com sabão neutro e secagem, seguido de aferição de massa, assegurando a padronização dos procedimentos e a confiabilidade das análises realizadas. Logo em seguida foi determinada a taxa de corrosão que foi adquirida nas peças durante o processo de aspersão para avaliação e comparação da eficiência do revestimento experimental com o revestimento comercial. Assim, a taxa de corrosão foi determinada seguindo a norma NBR 6210 (2008), de acordo com a Equação 1, a seguir.

$$r_{cor} = \frac{k \cdot W}{A \cdot t \cdot d} \quad (1)$$

Onde:

r_{cor} é a taxa de corrosão;

k é a constante que depende da unidade desejada;

W é a perda de massa, expressa em gramas (g) = $m_i - m_f$;

A é a área do corpo de prova expressa em centímetros quadrados (cm^2);

t é o tempo de exposição expresso em horas (h);

d é a densidade do aço carbono segundo a ABNT NBR 6210 (2008) – 7, 87 g/cm³.

A Tabela 3 apresenta o fator de conversão k necessário para a unidade final desejada para a taxa de corrosão, a qual neste trabalho foi utilizada a unidade de mm/ano.

Tabela 3 – Fator de conversão k para a taxa de corrosão.

Expressão	Fator de conversão (k)
Milésimo de polegada por ano (mpy)	$3,45 \cdot 10^6$
Milímetro por ano (mm/ano)	$8,76 \cdot 10^4$
Micrometro por ano (μm /ano)	$8,76 \cdot 10^7$
Gramas por m ² por hora (g/(m ² .h))	$1,00 \cdot 10^6 \cdot d$
Miligrama por dm ² por dia (mdd)	$2,40 \cdot 10^6 \cdot d$
Micrograma por m ² por segundo ($\mu g/(m^2/s)$)	$2,78 \cdot 10^6 \cdot d$

Nota: d = densidade

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6210 (2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 MÉTODO DE CORTE EM X

A Tabela 4 apresenta os resultados do ensaio baseados na NBR 11003 (2023), onde todas as amostras ensaiadas tiveram um excelente desempenho não havendo destacamento ao longo dos cortes ou de suas intersecções.

Tabela 4 - Destacamento do sistema de pintura do substrato

Destacamento	Intersecção	Ao longo das incisões
Amostra 1	Y_0	X_0
Amostra 2	Y_0	X_0
Amostra 3	Y_0	X_0

Fonte: Autoria própria (2026).

Os resultados dos ensaios de aderência, realizados em triplicata conforme as diretrizes da norma ABNT NBR 11003 (2023), demonstraram um desempenho satisfatório para o revestimento experimental. Em nenhum dos corpos de prova houve destacamento da película nas áreas de incisão, o que permitiu classificar o material com o grau de aderência Y_0 , representando o nível máximo de ancoragem mecânica. A integridade das interfaces após o método de corte em X é evidenciada nas Figuras 6, 7 e 8, que ilustram a estabilidade do filme sobre o substrato de aço SAE 1020, validando a eficácia da matriz epóxi mesmo com a incorporação do rejeito mineral.

Figura 6 - Amostra 1 pós ensaio.



(a) Corte em X.



(b) Imagem de microscópio com aumento de 400x.



(c) Imagem de microscópio com aumento de 100x.

Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 7 – Amostra 2



(a) Corte em X



(b) Imagem do microscópio com aumento de 400x.

Fonte: Autoria própria (2026).



(c) Imagem do microscópio com aumento de 100x.

Figura 8 - Amostra 3 pós ensaio



(a) Corte em X.



(b) Imagem do microscópio com aumento de 400x.

Fonte: Autoria própria (2026).



(c) Imagem do microscópio com aumento de 100x.

Através das Figuras 6, 7 e 8, observa-se que as bordas dos cortes permanecem íntegras e bem definidas. Não há evidências de empolamento (*blistering*) ou destacamento subcutâneo, sugerindo que a incorporação de 15,1% de rejeito de minério não comprometeu a molhabilidade da resina epóxi sobre o substrato de aço SAE 1020.

Os resultados obtidos no ensaio de aderência para o revestimento experimental com rejeito de minério de ferro atingiram a classificação Y_0 e X_0 , o que representa o desempenho máximo de ancoragem segundo a norma ABNT NBR 11003 (2023). Esta excelente performance é fundamental, pois, conforme discutido por Fragata, Amorim e Ordine (2010), a aderência é uma propriedade essencial para a vida útil de esquemas de pintura anticorrosiva. Os autores ressaltam

que, embora o método de corte em X seja qualitativo, ele é crucial para identificar a fragilidade ou a perda de coesão em interfaces metálicas. Ao analisarem diferentes esquemas, os referidos autores observaram que tintas epóxi aplicadas sobre superfícies adequadamente preparadas apresentam, predominantemente, resultados de aderência superiores no método de corte em X, o que corrobora os achados deste trabalho. No contexto aqui apresentado, a manutenção da integridade do revestimento nas áreas incisadas, sem qualquer destacamento, valida que a incorporação do rejeito mineral não comprometeu as propriedades de adesão da resina epóxi pura, garantindo uma barreira física estável contra o avanço da corrosão sob o filme.

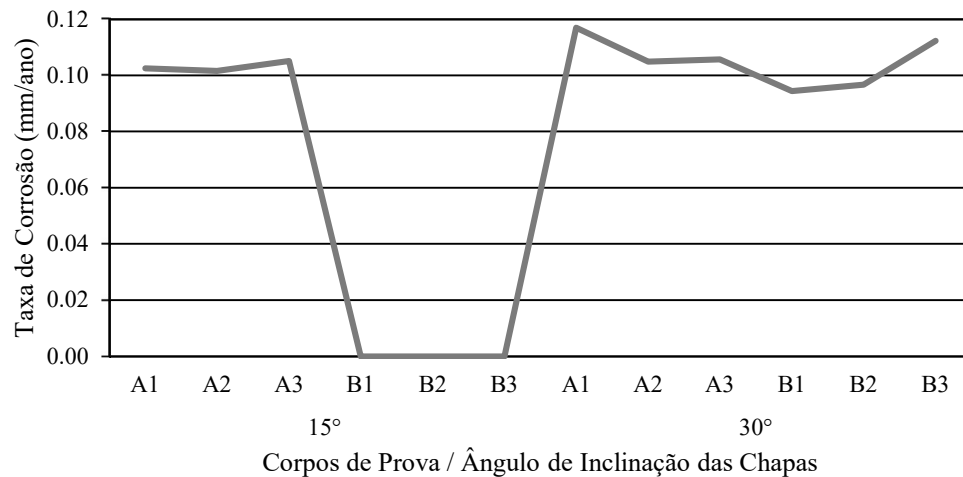
3.2 TAXA DE CORROSÃO

A Tabela 5 apresenta os resultados do cálculo da taxa de corrosão conforme a Equação 1, o valor de área contido na mesma é dobrado em relação a Tabela 1, pois as duas faces dos corpos de prova estarem expostas à corrosão acelerada. É possível observar uma baixa variação na taxa de corrosão, o que demonstra uma boa resistência do revestimento a ambientes corrosivos com alta salinidade.

Tabela 5 - Perda de massa e taxa de corrosão

Aço SAE 1020						
Ângulo de exposição	Corpos de prova	Massa inicial [g]	Massa final [g]	Área [cm²]	Perda de massa por área [g/m²]	Taxa de corrosão [mm/ano]
15°	A1	172,0	171,9	226,2725	0,0009	0,1025
	A2	174,0	173,9	228,1914	0,0009	0,1016
	A3	152,8	152,7	220,5542	0,0009	0,1051
	B1	174,9	174,9	223,1307	0,0000	0,0000
	B2	164,4	164,4	220,2687	0,0000	0,0000
	B3	181,6	181,6	239,9129	0,0000	0,0000
30°	A1	175,3	175,2	198,2554	0,0010	0,1170
	A2	176,8	176,7	221,0050	0,0009	0,1049
	A3	183,9	183,8	219,4842	0,0009	0,1057
	B1	209,6	209,5	245,7835	0,0008	0,0943
	B2	185,9	185,8	239,9618	0,0008	0,0966
	B3	162,4	162,3	206,5950	0,0010	0,1122

Fonte: Autoria própria (2026).

Gráfico 1 – Taxa de corrosão (mm/ano) *versus* ângulo de inclinação dos corpos de prova.

Fonte: Autoria própria (2026).

A análise da resistência à corrosão fundamentou-se na medição da perda de massa dos corpos de prova após a exposição em câmara salina. Conforme observado no Gráfico 1, o revestimento experimental demonstrou maior estabilidade frente à variação angular, enquanto o revestimento comercial exibiu uma oscilação na taxa de corrosão significativamente superior ao sofrer o aumento da inclinação de 15° para 30°. A determinação da taxa de corrosão anual (mm/ano) seguiu os parâmetros operacionais de aspersão e controle térmico validados na bancada didática desenvolvida por Mescouto, Pantoja e Nunes da Silva (2023).

Entretanto, a análise quantitativa enfrentou uma barreira técnica relevante: a balança disponível possuía precisão limitada a apenas uma casa decimal. Devido a essa restrição, as amostras comerciais expostas à inclinação de 15° não registraram variação de massa mensurável, resultando em uma taxa de corrosão nominal de 0,0000 mm/ano, uma vez que o desgaste real foi inferior à sensibilidade do instrumento. Nas amostras experimentais com inclinação de 30°, notou-se uma taxa de corrosão levemente superior. Contudo, mesmo diante das limitações de instrumentação, os resultados indicam que o material desenvolvido é promissor, sendo que o desempenho inferior do protótipo pode estar associado à necessidade de ajustes na porosidade da mistura.

Sob a ótica da metrologia, a confiabilidade dos dados obtidos é limitada pela incerteza mínima instrumental, definida pela resolução da balança de 0,1 g. De acordo com os princípios de análise de erro, a resolução de 0,1 g estabelece um limiar de sensibilidade que impossibilita a distinção de variações de massa menores que o erro intrínseco do equipamento. Portanto, a ausência de variação nas massas iniciais e finais de determinados corpos de prova reflete uma

saturação instrumental, onde a taxa de corrosão real encontra-se dentro da margem de incerteza da medição, não podendo ser dissociada do ruído instrumental da balança utilizada.

4 CONCLUSÕES

A realização deste estudo permitiu validar a hipótese de que resíduos da indústria mineral podem ser reintegrados ao ciclo produtivo como componentes de sistemas de proteção anticorrosiva. Para além dos resultados técnicos observados, esta pesquisa reforça o papel da engenharia na busca por soluções que conciliem eficiência operacional e responsabilidade ambiental.

O revestimento experimental demonstrou que a incorporação de rejeitos de minério de ferro não comprometeu a integridade estrutural da interface entre o polímero e o metal, garantindo uma aderência compatível com as exigências da pintura industrial. Embora o sistema comercial ainda apresente uma barreira química mais refinada, o protótipo desenvolvido posiciona-se como uma alternativa promissora para aplicações onde o custo-benefício e o impacto ambiental são fatores decisivos.

Em última análise, este trabalho contribui para o fortalecimento da economia circular na região, demonstrando que o que antes era tratado apenas como um passivo ambiental possui potencial tecnológico para a preservação de ativos metálicos. O caminho para a otimização deste material está agora traçado, dependendo de ajustes na granulometria e na dispersão da carga para que o setor mineral possa, futuramente, fornecer insumos para a sua própria manutenção industrial.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6210**: Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11003**: Pintura industrial - Determinação da aderência pelos métodos de corte na pintura. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17088**: Corrosão por exposição à névoa salina – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

AZEVEDO, G. H. **Possibilidades de aproveitamento do rejeito das indústrias de beneficiamento do caulim para a produção de tinta ecológica à base de terra**. 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) – UFCG, Sumé, 2017.

CASTRO, Matheus Ferreira de. **Estudo de revestimentos anticorrosivos do tipo epóxi novolac à base do líquido da casca da castanha do caju**. 2023. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

FRAGATA, F.; AMORIM, C. C.; ORDINE, A. P. Ensaio de aderência em tintas e esquemas de pintura: análise de resultados obtidos por diferentes métodos. In: INTERCORR, 2010, Fortaleza. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABRACO, 2010. p. 1-20.

GÓIS, L. **Tintas da terra**: o uso dos pigmentos naturais para uma pintura sustentável. 2016. Relatório de Iniciação Científica (Artes Aplicadas) – UFSJ, São João del-Rei, 2016.

KOEBSCHE, André. **Uso da resina éster de epóxi como agente de reparação em aplicação direta sobre defeitos em revestimentos**. 2024. 175 f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

MOREIRA, Vandicleya Alves. **Avaliação do desempenho anticorrosivo de revestimentos de epóxi contendo microcápsulas poliméricas de poli(ureia-formaldeído) (PUF) preenchidas com 5-etilideno-2-norboneno (ENB)**. 2024. 116 f. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

MESCOUTO, C. F. C.; PANTOJA, E. F.; NUNES DA SILVA, F. Desenvolvimento de uma bancada didática para ensaios de névoa salina. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 1-12, 2023.

SILVA, A. L. **A geotinta no contexto da arte e da agroecologia**. 2016. Monografia (Tecnologia em Agroecologia) – UFCG, Sumé, 2016.

SUSKI, Cássio Aurélio; HOFFMANN, Pablo Rodrigo. Análise das propriedades mecânicas do polietileno de alta densidade reciclado submetido ao ensaio de névoa salina. **Revista da UNIFEPE**, Brusque, v. 1, n. 10, p. 1-10, jan./jun. 2026.