



DESENVOLVIMENTO DE FILMES ADESIVADOS DE BLENDA r-PET/PA6 COMO BARREIRAS ANTICORROSIVAS TEMPORÁRIAS PARA APLICAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Keslei R. da Rocha¹; Matheus O. Pessoa¹; Hugo G. Palhares¹; Jorgimara de O. Braga¹;
Fernando Cotting¹

UFMG, Escola de Engenharia, Laboratório de Superfícies e Corrosão, B. Horizonte, MG, Brasil, 31.270-901
kesleirosendo@gmail.com.

Palavras-Chave: resíduos sólidos, meio ambiente, polímeros, estruturas metálicas.

Introdução

A integridade estrutural de instalações industriais operando em ambientes altamente agressivos, como as plataformas *offshore* de exploração de petróleo e gás, representa um dos maiores desafios da engenharia de materiais contemporânea. A corrosão metálica em atmosferas marinhas é um processo natural e contínuo que degrada severamente o aço, exigindo estratégias de proteção e manutenção constantes. Tradicionalmente, a proteção anticorrosiva primária é realizada por meio de revestimentos orgânicos de alta performance, como as tintas epóxi. Contudo, esses sistemas de pintura multifuncionais podem demandar a aplicação de até quatro camadas distintas (fundo/*primer* e até três demãos adicionais), cada uma exigindo tempos rigorosos de cura, preparação de superfície exigente e mão de obra altamente especializada para garantir o desempenho adequado.

No contexto *offshore*, as paradas técnicas necessárias para a execução de reparos de pintura convencionais geram custos operacionais extremamente elevados. O tempo de inatividade das operações, somado ao custo logístico do embarque de equipes especializadas, torna a manutenção preventiva pontual uma tarefa complexa e onerosa. Frequentemente, a necessidade de intervenções imediatas para pequenos danos superficiais resulta em paradas múltiplas ou na negligência de pequenos reparos, culminando no avanço acelerado da corrosão local. Diante desse cenário, surge a necessidade de soluções tecnológicas operativamente ágeis, econômicas e de fácil aplicação.

Uma alternativa promissora consiste na utilização de filmes poliméricos pré-formados e adesivados projetados para atuar como uma barreira física temporária ou de reparo rápido — atuando conceitualmente como um "curativo anticorrosivo" sobre superfícies metálicas danificadas. Esse sistema reduz drasticamente o tempo despendido em campo, minimiza a janela de exposição da estrutura e elimina a necessidade de treinamento complexo ou de paradas técnicas imediatas a cada pequeno dano identificado. Dessa forma, é possível acumular e mitigar pontualmente múltiplos focos de corrosão, programando uma única parada



técnica estruturada para intervenção definitiva, o que otimiza de maneira substancial os recursos financeiros e operacionais da companhia.

Sob a ótica da sustentabilidade e da economia circular, o desenvolvimento dessas barreiras poliméricas ganha maior relevância quando incorporadas matérias-primas recicladas. O uso do poli(tereftalato de etileno) reciclado (r-PET) como matriz principal do filme confere à tecnologia um caráter de responsabilidade ambiental, reduzindo a pegada de carbono, promovendo o reaproveitamento de resíduos plásticos e garantindo um baixo custo de fabricação. Por outro lado, a incorporação de Poliamida 6 (PA6) busca otimizar as propriedades mecânicas, de tenacidade e de barreira do filme, considerando a excelente resistência do polímero sintético e sua interação interfacial na blenda.

O presente trabalho investigou o desenvolvimento e o comportamento de filmes do tipo blenda (r-PET/PA6) em diferentes proporções mássicas. Avaliou-se sistematicamente a influência de cada fração polimérica no desempenho do processo de adesivação, visando à obtenção de películas funcionais capazes de atuar como barreiras físicas eficazes contra a corrosão em superfícies metálicas.

Material e Métodos

Por meio de uma cooperativa de reciclagem, *flakes* de PET pós-consumo (r-PET) foram adquiridos já lavados e picotados. Com o auxílio de um módulo de extrusão-peletização (LabTech, LTE16-44, Tailândia), os *flakes* foram peletizados em *pellets* esféricos ($\varnothing \sim 3$ mm). Em seguida, com o acoplamento do módulo composto pelo cabeçote + matriz plana (*flat die*) e sistema de calandras com bobinamento (AXPlásticos, Lam200AX, Brasil), os *pellets* foram convertidos em filmes juntamente com a inserção dos *pellets* de poliamida 6 (PA6 da BetaPlas), conforme ilustrado na Figura 1. A espessura dos filmes produzidos foi aferida por micrômetro. Para prevenir hidrólise, as resinas foram previamente secas em estufa a 60 °C por 72 h.

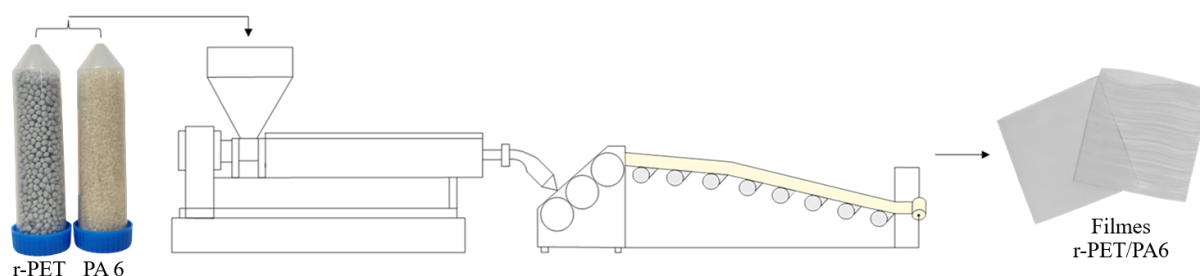


Figura 1. Esquema de extrusão seguida de moldagem de filmes com bobinamento por calandras

As formulações avaliadas estão apresentadas na Tabela 1 abaixo. Optou-se pelo uso do r-PET devido à sua excelente atuação como barreira contra umidade e gases, alta resistência mecânica e ao forte apelo de sustentabilidade (Braga *et al.*, 2026; Palhares *et al.*, 2025). Já a poliamida 6 (também conhecida comercialmente como Nylon 6) foi escolhida devido às suas



características de flexibilidade e propriedades de barreira com baixa permeabilidade de fluidos (Tian *et al.*, 2024).

O processo de adesivação ocorreu pela rolagem dos filmes sobre uma das superfícies expostas de um adesivo duplo *liner* comercial (Creative, Brasil). Com a remoção do primeiro *liner*, a camada adesiva adere preferencialmente ao filme termoplástico, visto que a superfície do *liner* possui propriedades antiaderentes (siliconada/parafinada). Dessa forma, a remoção posterior do segundo *liner* deixa exposto o verso adesivado do filme (face), viabilizando sua fixação nas superfícies metálicas destinadas à proteção anticorrosiva.

Tabela 1. Formulações avaliadas para produção dos filmes

	r-PET 100%	PA6 100%	r-PET + 10% PA6	r-PET + 20% PA6	r-PET + 30% PA6
r-PET	100	0	90	80	70
PA6	0	100	10	20	30

Resultados e Discussão

Embora a capacidade protetora desses filmes contra agentes corrosivos em substratos metálicos já tenha sido demonstrada (Braga *et al.*, 2026; Palhares *et al.*, 2025), este estudo investiga a influência da incorporação de PA6, em diferentes proporções, na processabilidade, no manuseio e no desempenho de adesivação dos filmes, visando à obtenção de películas adesivas otimizadas para aplicação direta sobre superfícies metálicas.

O aspecto macroscópico dos filmes extrudados (Figura 2) evidencia o efeito da adição de PA6 nas propriedades físicas e de manuseio do r-PET. O filme monolítico de r-PET (Figura 2a) demonstrou deformação plástica irreversível e alta rigidez estrutural, características desfavoráveis para a aplicação como barreira anticorrosiva, visto que imperfeições superficiais podem originar pontos de falha e viabilizar a migração de agentes agressivos. Por outro lado, o filme de PA6 (Figura 2b) apresentou alta flexibilidade, porém acompanhada de tendência a ondulações e instabilidade dimensional sob manuseio. O desenvolvimento das blendas r-PET/PA6 (Figura 2 c, d, e) demonstrou um ganho sinérgico substancial: a rigidez excessiva do r-PET foi mitigada pela flexibilidade da PA6, resultando em filmes progressivamente mais planos e homogêneos.

Dentre as composições avaliadas, a blenda contendo 30% em massa de PA6 (Figura 2e) alcançou o melhor desempenho visual e de maleabilidade, exibindo uma superfície isenta de vincos e dobras. Tais características são fundamentais para assegurar a uniformidade no processo subsequente de aplicação do adesivo e do *liner*, prevenindo a formação de vazios ou caminhos preferenciais para a permeação de fluidos corrosivos após a fixação no substrato metálico.

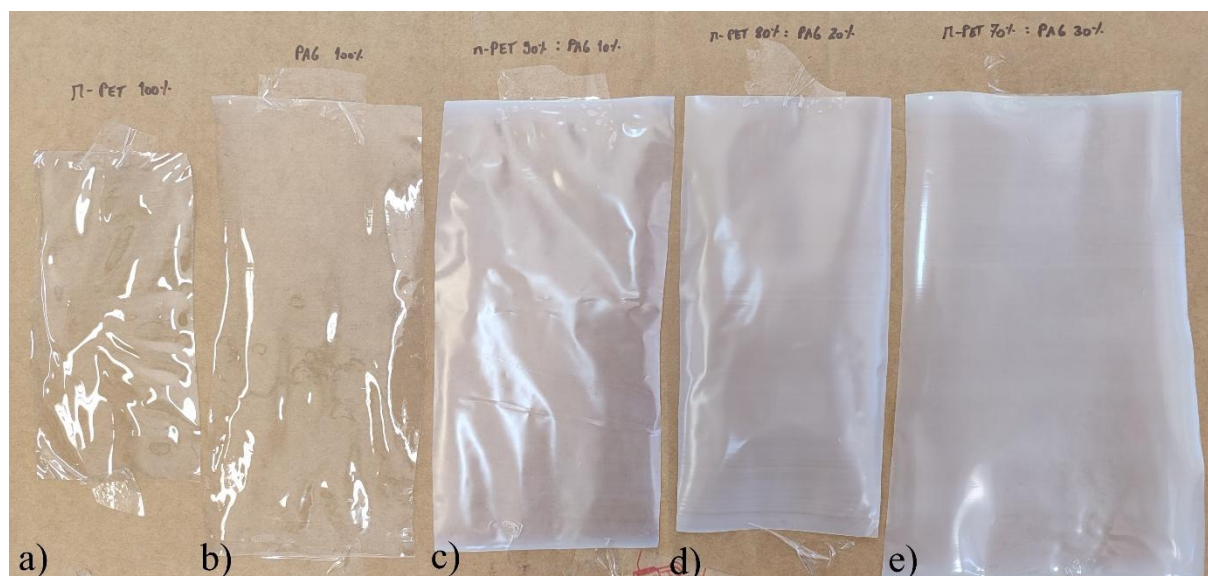


Figura 2. Aspecto macroscópico dos filmes termoplásticos desenvolvidos: (a) r-PET 100%; (b) PA6 100%; (c) r-PET/PA6 (90/10); (d) r-PET/PA6 (80/20); e (e) r-PET/PA6 (70/30)

A influência da composição polimérica e do consequente ganho de flexibilidade reflete-se diretamente no comportamento dos filmes durante a etapa de adesivação (Figura 3). Na blenda com menor teor de poliamida [r-PET/PA6 (90/10), Figura 3a], a flexibilidade reduzida do sistema resultou na formação de vincos rugosos e deformações plásticas irreversíveis ao longo do processo mecânico de rolagem. Tais imperfeições geram vazios e descontinuidades no plano de colagem, comprometendo a interface e criando caminhos preferenciais para a infiltração de fluidos corrosivos. Em contrapartida, a maior incorporação de PA6 na formulação r-PET/PA6 (70/30) (Figura 3b) atua de forma decisiva na plastificação/flexibilização do filme, permitindo uma acomodação planar perfeita da camada adesiva.

O resultado visual observado na Figura 3b ratifica a lisura e uniformidade apontadas na Figura 2e, evidenciando que esta composição assegura uma aplicação homogênea, isenta de rugosidades e altamente eficiente para a função de barreira anticorrosiva.

O ensaio de imersão em solução salina (3,5% m/v de NaCl) por 30 dias (Figura 4b) ratificou a eficiência anticorrosiva do sistema desenvolvido. Como evidenciado no substrato metálico após a exposição (Figura 4c), a região delimitada pela aplicação do filme adesivado de r-PET/PA6 (70/30) (Figura 4a) permaneceu isenta de produtos de corrosão, em nítido contraste com as bordas desprotegidas, que sofreram severa oxidação. Esse resultado fornece duas constatações fundamentais: primeiramente, confirma a elevada capacidade do filme polimérico em atuar como uma barreira física impermeável contra eletrólitos agressivos; em segundo lugar, demonstra a excelente estabilidade e força de adesão da interface multicamada

(aço/adesivo/filme), que manteve sua ancoragem e integridade mesmo sob condições severas de imersão contínua, prevenindo a delaminação e a subsequente subcorrosão.

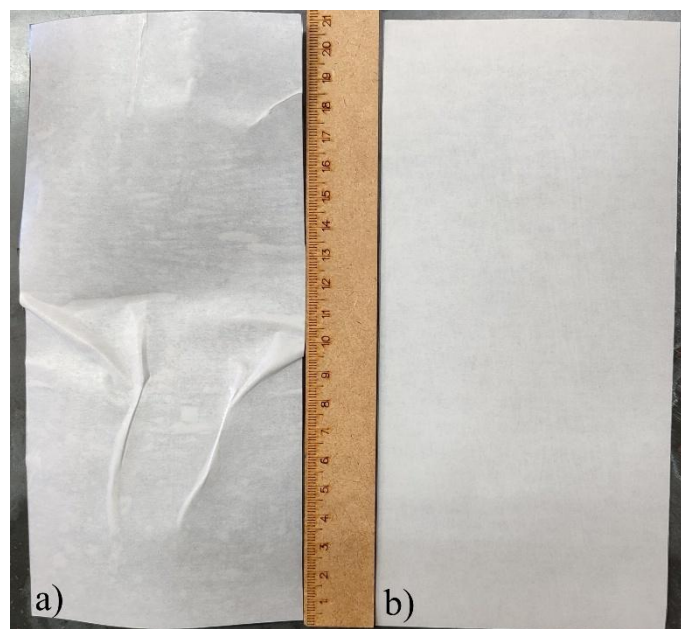


Figura 3. Aspecto macroscópico do verso dos filmes termoplásticos após o processo de adesivação: (a) blenda r-PET/PA6 (90/10) apresentando vincos superficiais; e (b) blenda r-PET/PA6 (70/30) exibindo superfície plana e adesivação homogênea

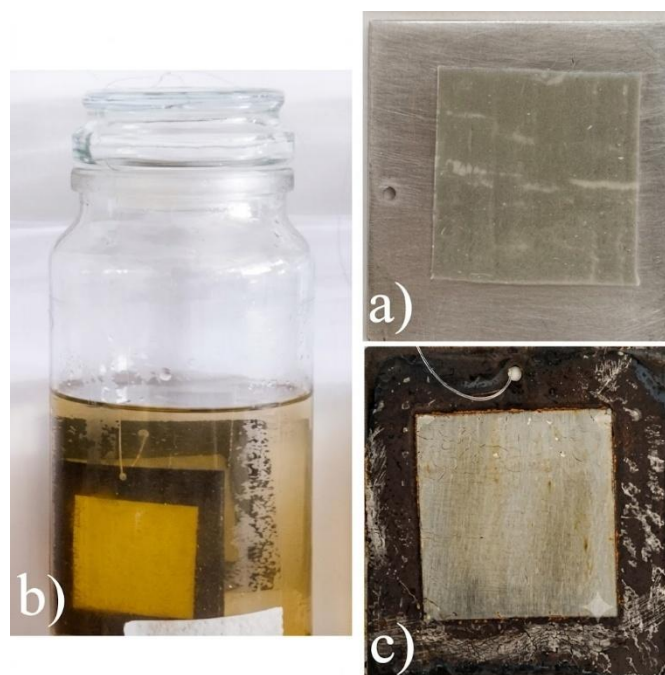


Figura 4. Ensaio de eficiência anticorrosiva do filme r-PET/PA6 (70/30): (a) placa de aço de carbono com aplicação do filme adesivado; (b) sistema submetido ao ensaio de imersão em solução de 3,5% m/v de NaCl por 30 dias; e (c) aspecto macroscópico da superfície metálica após a remoção do meio agressivo, evidenciando a integridade da região protegida



Conclusões

O desenvolvimento dos filmes poliméricos do tipo blenda (r-PET/PA6) demonstrou ser uma alternativa viável, sustentável e potencialmente eficiente para a proteção anticorrosiva temporária de estruturas metálicas. A incorporação progressiva da Poliamida 6 na matriz de r-PET promoveu um ganho sinérgico fundamental entre a rigidez do PET reciclado e a flexibilidade da PA6, mitigando a formação de vincos e deformações irreversíveis observadas no filme puro.

A formulação contendo 30% em massa de PA6 [r-PET/PA6 (70/30)] apresentou a melhor trabalhabilidade, exibindo uma superfície lisa, homogênea e altamente receptiva ao processo de adesivação. Essa integridade superficial viabilizou uma colagem contínua e sem vazios na interface com o substrato metálico, evitando a criação de caminhos preferenciais de permeação.

O ensaio de imersão por 30 dias em solução salina (3,5% m/v de NaCl) ratificou a eficiência do sistema r-PET/PA6 (70/30) como barreira física impermeável, garantindo a integridade do aço carbono e mantendo forte estabilidade interfacial sem delaminação. Assim, o sistema desenvolvido destaca-se como um "curativo anticorrosivo" promissor para mitigar focos de corrosão em ambientes agressivos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobrás, Karoon Energy e à CNPq pelo apoio financeiro, e à Universidade Federal de Minas Gerais pela infraestrutura.

Referências

- BRAGA, J. O.; PALHARES, H. G.; PESSOA, M. O.; MONTEIRO, B.; PERDIGÃO J. P.; DIAS, B. M. A.; ROSARIO, T. C. A. V.; CUNHA, F. R.; VILLALOBOS, P. R.; COTTING, F. Evaluation of the use of different plasticizers in the manufacture of an anti-corrosion adhesive based on post-consumer polyethylene terephthalate (PET). *Surfaces and Interfaces*, 80, e10818, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.108186>
- PALHARES, H. G.; BRAGA, J. O.; DIAS, B. M. A.; ROSARIO, T. C. A. V.; CUNHA, F. R.; VILLALOBOS, P. R.; COTTING, F. Evaluation of the Use of Plasticizer in the Development of a Post-Consumer Pet Adhesive by Thermomechanical Processing with Anticorrosive Properties. *Material Research*, 28(sup 1), e20250052, 2025. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2025-0052>
- TIAN, J. J.; LIU, X.; YE, L.; ZHANG, Z. QUINN, E. C.; SHI, C.; BROADBELT, L. J.; MARKS, T. J.; CHEN, E. Y. X. Redesigned Nylon 6 Variants with Enhanced Recyclability, Ductility, and Transparency. *Angewandte Chemie International Edition*, 63, e.202320214, 2024. <https://doi.org/10.1002/anie.202320214>