

ANÁLISE DA INTERFACE ENTRE CAMADAS DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO APLICADO EM TUBULAÇÕES DE PETRÓLEO

Me. Italo Martins Gomes (Petróleo Brasileiro S.A). E-mail: imgomes@petrobras.com.br;

Dr. Rodrigo Nogueira de Codes (UFERSA). E-mail: rncodes@ufersa.edu.br;

Dr. Alex Sandro de Araújo Silva (UFERSA). E-mail: alex.araujo@ufersa.edu.br;

Resumo: A indústria do Petróleo e Gás tem constantemente se deparado com problemas de corrosão em equipamentos, devido à característica química dos contaminantes nos reservatórios. Em 2010, foi desenvolvido um compósito constituído de fibra de vidro, epóxi e poliuretano, para tubulações terrestres de petróleo, como alternativa ao aço API 5L Grau B, comumente utilizado e mais suscetível à corrosão. Neste trabalho, foram coletadas amostras de tubos desse compósito em três poços de petróleo que operam com esse material há alguns anos. As interfaces entre as camadas das amostras foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), a fim de avaliar se houve alterações durante o período de operação, pois a área interfacial entre as camadas é uma região crítica e pode prejudicar as propriedades dos compósitos. Os resultados apontaram para uma boa aderência na interface entre a camada interna e intermediária das amostras, mas baixa aderência da interface entre a camada intermediária e externa (com exceção da amostra do poço RP-0147). Também foi vista deficiência na cobertura das fibras com resina. A adesão interfacial e a molhabilidade das fibras com resina devem ser melhoradas para garantir a perfeita distribuição de esforços entre a matriz e reforço e evitar futuras falhas.

Palavras-chave: Interface, compósito, tubulação de petróleo, fibra de vidro, epóxi.

ANALYSIS OF THE LAYER INTERFACE OF A POLYMERIC COMPOSITE APPLIED IN OIL PIPELINES

Abstract: The oil & gas industry has face equipment corrosion challenges due to the chemical characteristics of contaminants in the reservoirs. A three-layered composite was developed, made up of glass fiber, epoxy and polyurethane, for the production of pipelines of oil wells as an alternative to API 5L steel, which was more susceptible to corrosion. In this work, samples of pipes made of this composite were collected in oil wells, which have been operating with this material. The interfaces between the layers of the samples were analyzed through scanning electron microscopy (SEM) because the interfacial area between the layers is a critical region and can affect the properties of composite materials and compromise their applicability. The results pointed to a good adhesion in the interface between the inner and intermediate layer of all samples, but a low adhesion in the interface between the intermediate and outer layer. A deficiency in the coverage of the fibers with resin was also observed in all samples. This shows that the interfacial adhesion between the layers and the wettability of the fibers with resin should be improved to ensure a perfect distribution of stresses between the matrix and the reinforcement and to avoid future failures.

Keywords: Interface, composite, oil pipe, fiberglass, epoxy.

1. Introdução

A indústria de exploração de petróleo é bastante prejudicada por processos corrosivos devido às características complexas e composição dos fluidos presentes nos reservatórios de petróleo. Os campos terrestres maduros (com períodos longos de produção) têm a característica de possuir bastante água e outros agentes corrosivos junto ao petróleo, como O₂, CO₂, H₂S e bactérias redutoras de sulfato, que tendem a atacar internamente as tubulações de aço, assim como o solo e a atmosfera, que também tendem a causar corrosão externa em equipamentos, como tubulações de produção.

Já há alguns anos os materiais compósitos têm sido uma alternativa consolidada a ser utilizada em ambientes corrosivos, em substituição às ligas metálicas, por unirem

propriedades de mais de um material.¹ Suas características estruturais promovem combinações de propriedades atrativas, como baixa densidade, alta resistência específica, alto módulo de elasticidade, alta resistência química, permitem a fabricação de peças com geometrias complexas, aliadas a alta resistência à corrosão e degradação nos mais diversos ambientes industriais.²

Os compósitos em matriz de polímeros reforçados com fibra de vidro (PRFV) são os mais comuns dessa categoria. As principais vantagens desses compósitos são o baixo custo, boa resistência à tração, boa resistência química e excelentes propriedades isolantes. As desvantagens são módulo de elasticidade relativamente baixo, alta densidade (entre as fibras comerciais), sensibilidade à abrasão durante o manuseio (que frequentemente diminui a resistência à tração), resistência à fadiga relativamente baixa e alta dureza (que causa desgaste excessivo em moldes e ferramentas de corte).³

No geral são vários os fatores que influenciam o comportamento mecânico dos compósitos. Desde o processo de fabricação utilizado, a forma com que os carregamentos são aplicados, o mecanismo de dano desenvolvido, a presença de condições adversas de umidade e temperatura, as respectivas frações de volume, as propriedades da interface, presença de vazios, além das propriedades dos elementos constituintes.⁴

A interface fibra/matriz é um dos principais fatores que influenciam nas propriedades mecânicas e mecanismos de falhas em compósitos e deve ser analisada com critério para garantir um bom comportamento mecânico do mesmo. O desempenho da interface é influenciado por propriedades como resistência ao cisalhamento interfacial, tenacidade à fraturainterfacial, encolhimento da matriz e coeficiente interfacial de fricção. Uma boa adesão (forças atrativas entre átomos ou superfícies) da interface depende de fatores como boa energia interfacial, pela presença de grupos funcionais na superfície da fibra, orientação, arranjo atômico e propriedades do reforço, propriedades químicas da matriz, difusibilidade entre as camadas etc. Essa boa adesão será responsável por fazer com que a interface transfira com efetividade as tensões da matriz para o reforço, quando o compósito é solicitado.⁵

Este trabalho tem como objetivo avaliar e conhecer, através de ensaios de MEV, a interface entre camadas de amostras de tubulações de petróleo em compósito polimérico tripla camada recém desenvolvido, operando em campos maduros de petróleo. Esse estudo pode auxiliar na prevenção de futuras falhas desse novo material por alterações nas interfaces, que podem ser prejudiciais às suas propriedades, e, assim, evitar problemas com acidentes operacionais, pessoais e ambientais.

2. Experimental

2.1. Materiais

Em 2010, foi desenvolvido um compósito tripla camada (Figura 1) para tubulações de produção de poços terrestres de petróleo, como alternativa ao aço API 5L Grau B, comumente utilizado, e mais suscetível à corrosão e falhas que podem causar danos ambientais, operacionais e pessoais. Esse compósito foi fabricado pelo processo de enrolamento filamentar, que se caracteriza por elevado controle dimensional e resistência mecânica.

O material possui uma camada interna de matriz polimérica em epóxi reforçado com fibra de vidro, uma camada intermediária de matriz poliéster reforçado com fibra

de vidro e sílica e a camada mais externa, que é revestida com poliuretano de alta densidade. O material foi especificado para tubos de 3 polegadas, pressão máxima de operação até 5,17 MPa (750 psi) e temperatura de projeto de 95 °C.⁶

A camada mais interna, de epóxi com fibra de vidro, é a mais importante do material, pois é a camada que estará em primeiro contato com a pressão, temperatura e características do fluido que escoar na tubulação e, por isso, precisa ter as melhores propriedades. A camada intermediária, de poliéster e sílica, é uma camada para melhorar a rigidez do compósito sem necessidade de aumentar a espessura da camada interna, economizando no custo final do material⁶. Já a camada mais externa, de poliuretano de alta densidade, tem como objetivo servir de barreira isolante, de proteção mecânica e corrosiva para agentes presentes no solo ou atmosfera.⁷

Foram removidas amostras de tubos desse compósito em três poços de petróleo de três campos distintos que operam com esse material há alguns anos, conforme Tabela 1, para realizar ensaios com MEV e analisar as interfaces entre as camadas do material.

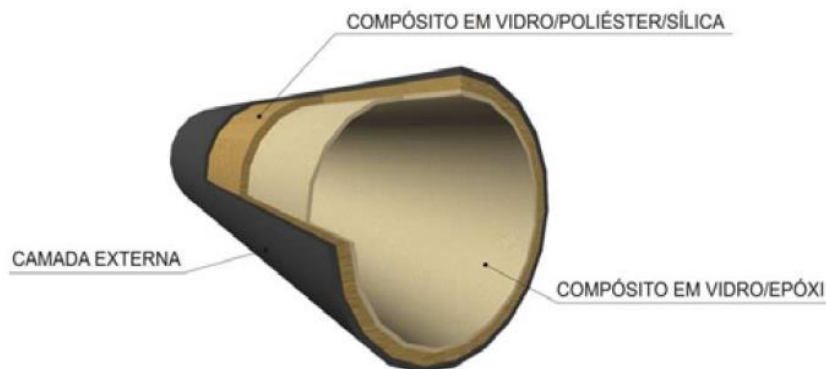


Figura 1 – Compósito polimérico tripla camada.⁶

Tabela 1 – Amostras de linhas de produção em compósito.

Identificação da amostra	Ano de operação
RP-0147	2012
PL-0288	2012
FP-0091	2013

2.2. Metodologia

As amostras foram cortadas do tubo na dimensão mostrada na Figura 2 (25,4 por 25,4 mm) e submetidas à preparação metalográfica com lixamento de superfície e remoção de irregularidades do corte das amostras. Depois as amostras receberam banho de ouro para que pudesse se tornar condutoras e ser analisada em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), marca TESCAN, modelo VEGA3, com objetivo de analisar detalhes das interfaces com grande aumento da imagem.



Figura 2 – Dimensão da amostra de compósito.

3. Resultados e discussões

3.1. Amostra FP-0091

A Figura 3 mostra que a interface entre a camada interna e intermediária apresenta boa interação, sem presença de descolamento ou micro vazios. Já na interface entre a camada externa e intermediária (Figura 4) há espaçamento, o que mostra baixa interação entre elas. Também foram detectados pontos com fibra de vidro exposta sem cobertura de resina epóxi (Figura 5).

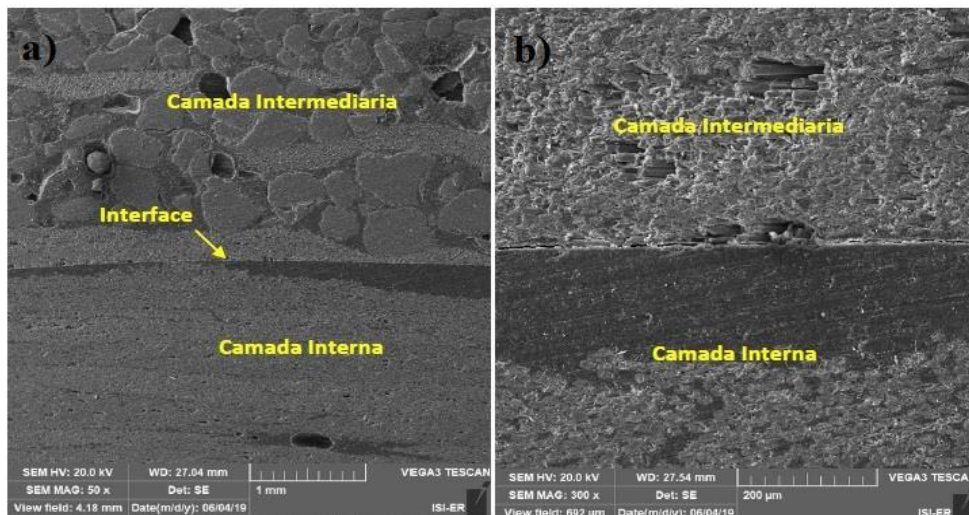


Figura 3 – Interface entre a camada interna e intermediária da amostra FP-0091 em 50x (a) e 300x (b).

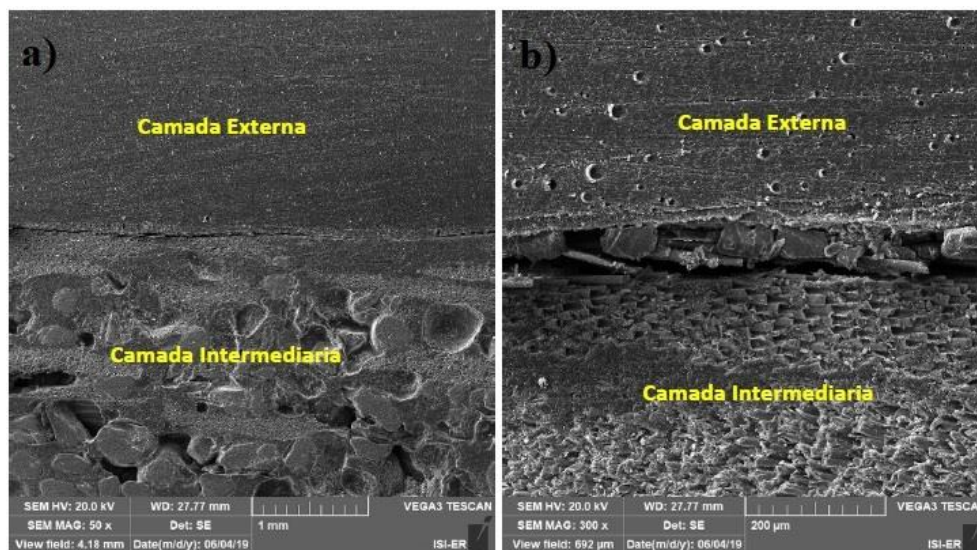


Figura 4 – Interface entre a camada externa e intermediária da amostra FP-0091 em 50x (a) e 300x (b).

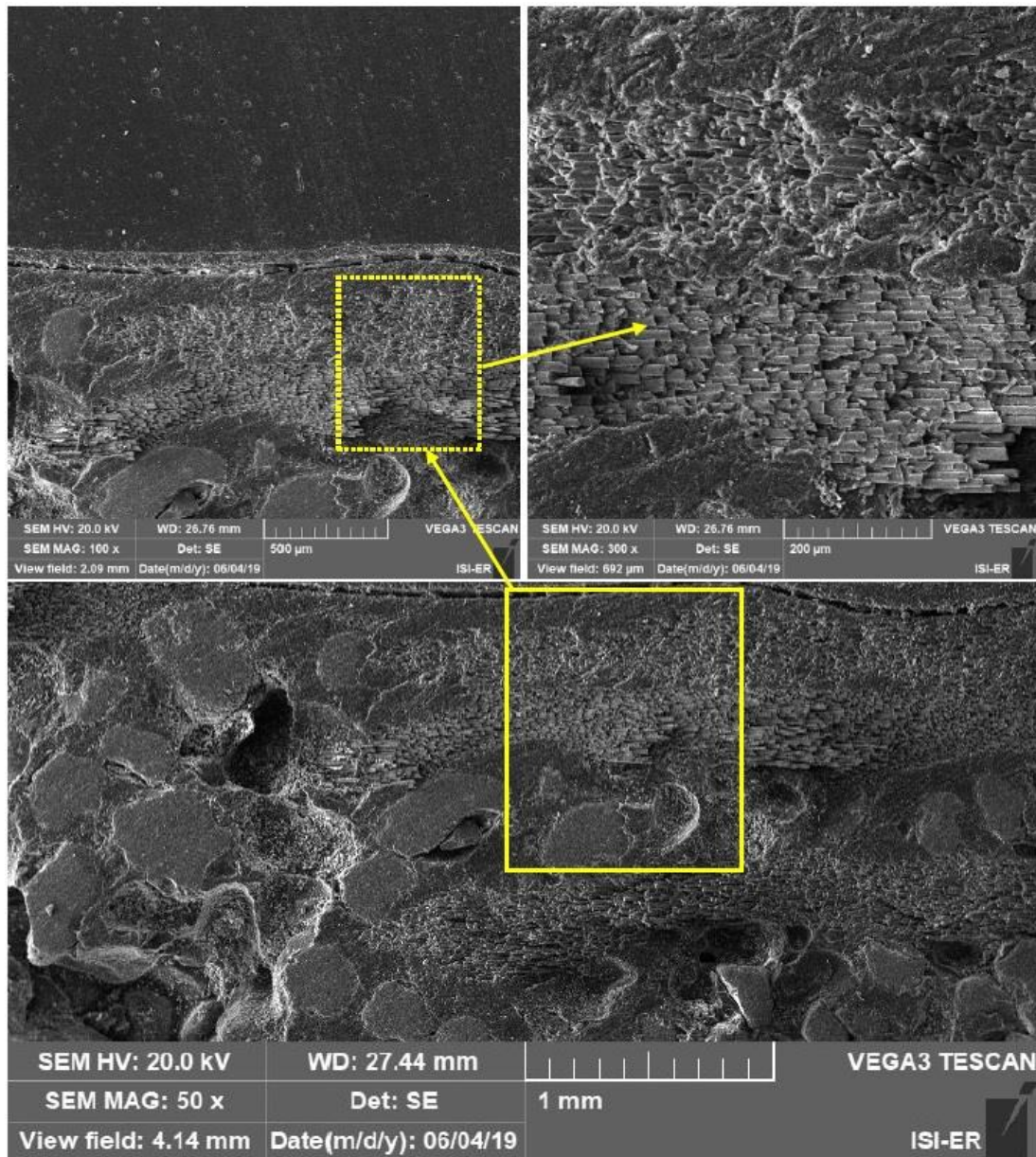


Figura 5 – Pontos com fibra exposta na amostra FP-0091 em 50x.

3.2. Amostra PL-0288

A Figura 3 mostra que a interface entre a camada interna e intermediária apresenta boa interação, sem presença de descolamento ou micro vazios. Já na interface entre a camada externa e intermediária (Figura 4) há espaçamento, o que mostra baixa interação entre elas. Também foram detectados pontos com fibra de vidro exposta sem cobertura de resina epóxi (Figura 5).

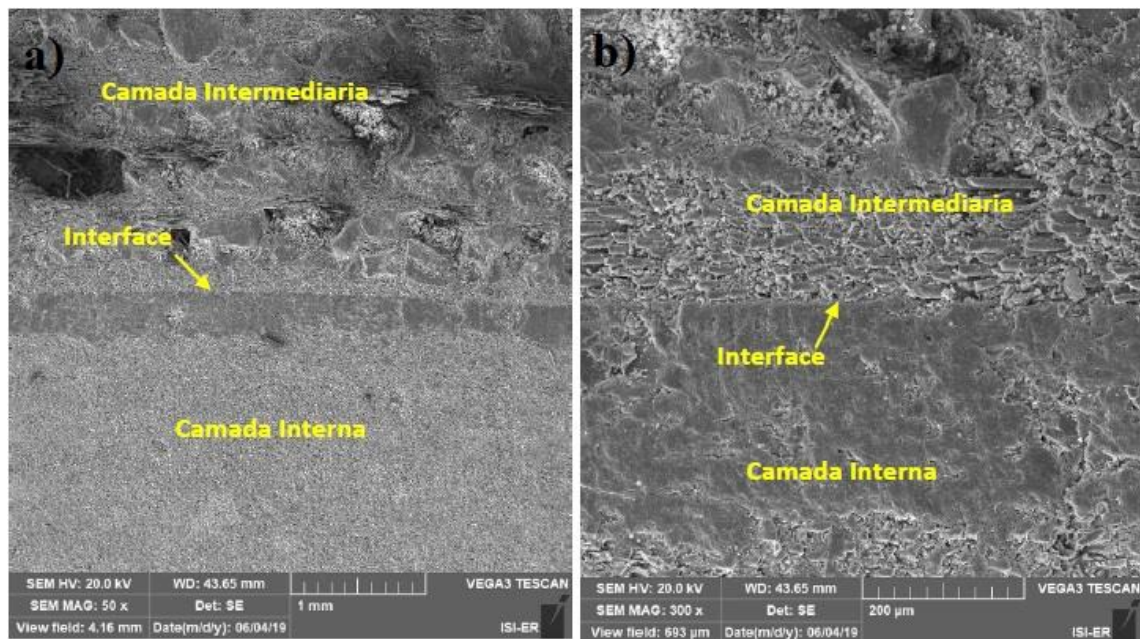


Figura 6 – Interface entre a camada interna e intermediária da amostra PL-0288 em 50x (a) e 300x (b).

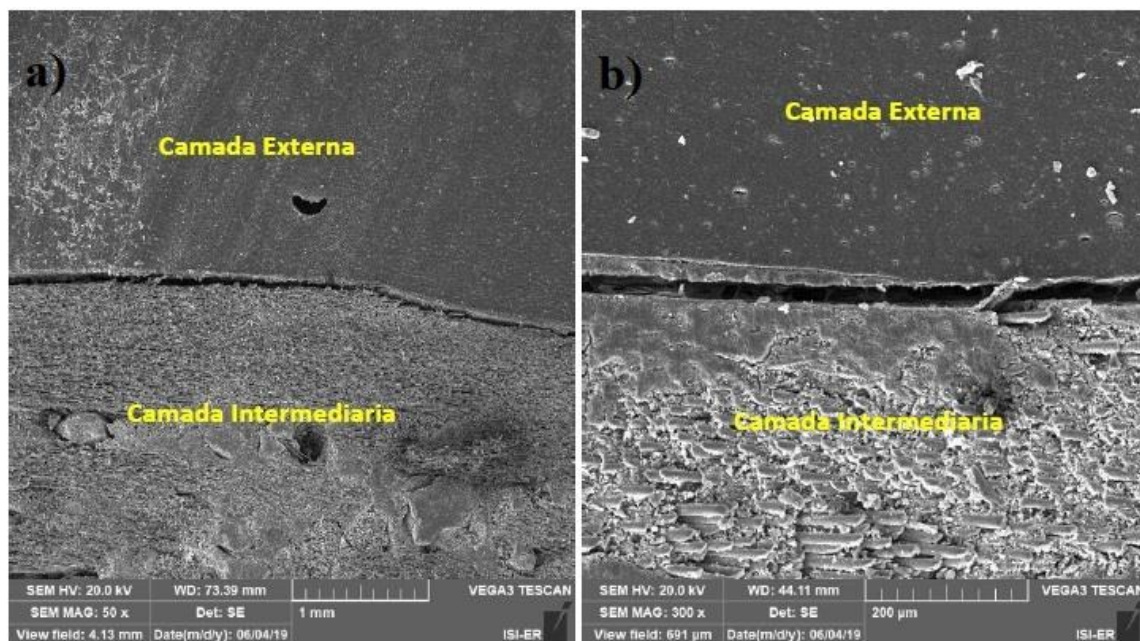


Figura 7 – Interface entre a cama externa e intermediária da amostra PL-0288 em 50x (a) e 300x (b).

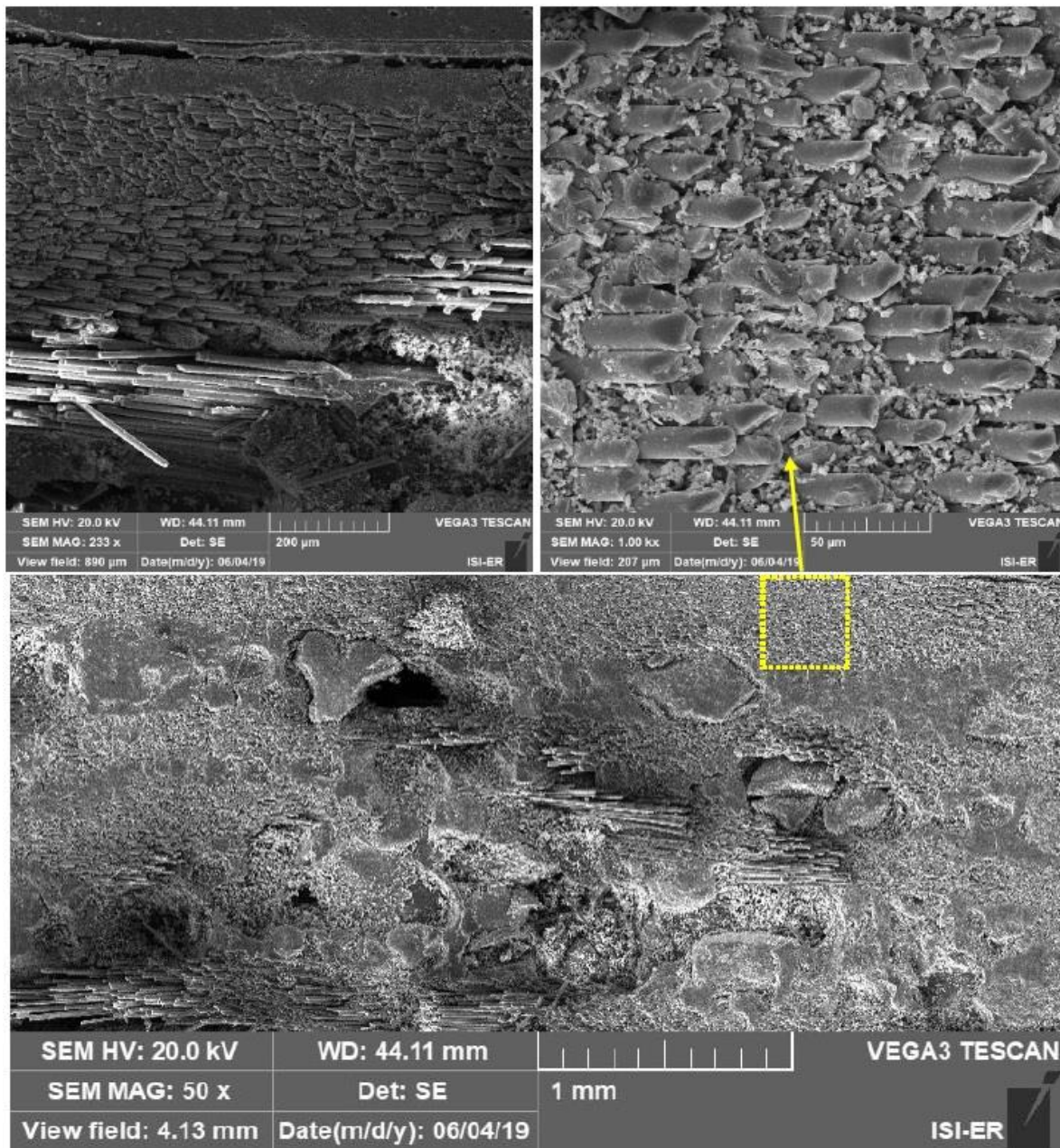


Figura 8 – Pontos com fibra exposta na amostra PL-0288 em 50x.

3.3. Amostra RP-0147

Figura 9 mostra que a interface entre a camada interna e intermediária apresenta boa interação, sem presença de descolamento ou micro vazios. Essa boa interação também ocorre na interface entre a camada externa e intermediária (Figura 10), mas apresenta regiões com fibra de vidro exposta, que também apareceram na amostra controle, que podem ser melhores vistos na Figura 11. Diferente das outras amostras, essa foi a única que apresentou boa interação entre a camada externa e intermediária.

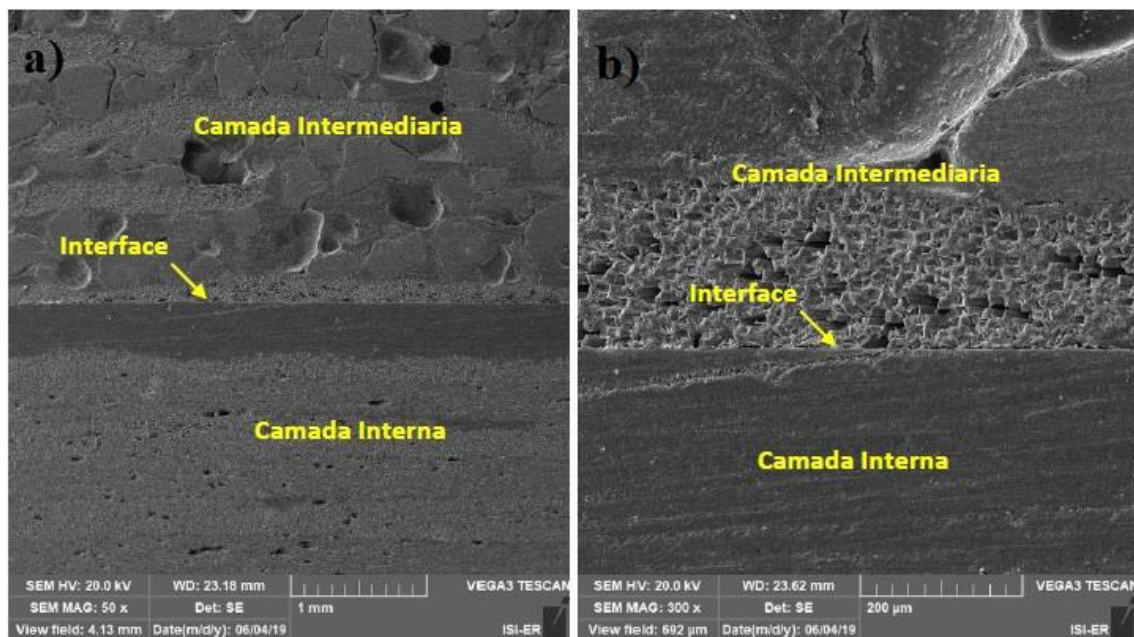


Figura 9 – Interface entre a camada interna e intermediária da amostra RP-0147 em 50x (a) e 300x (b).

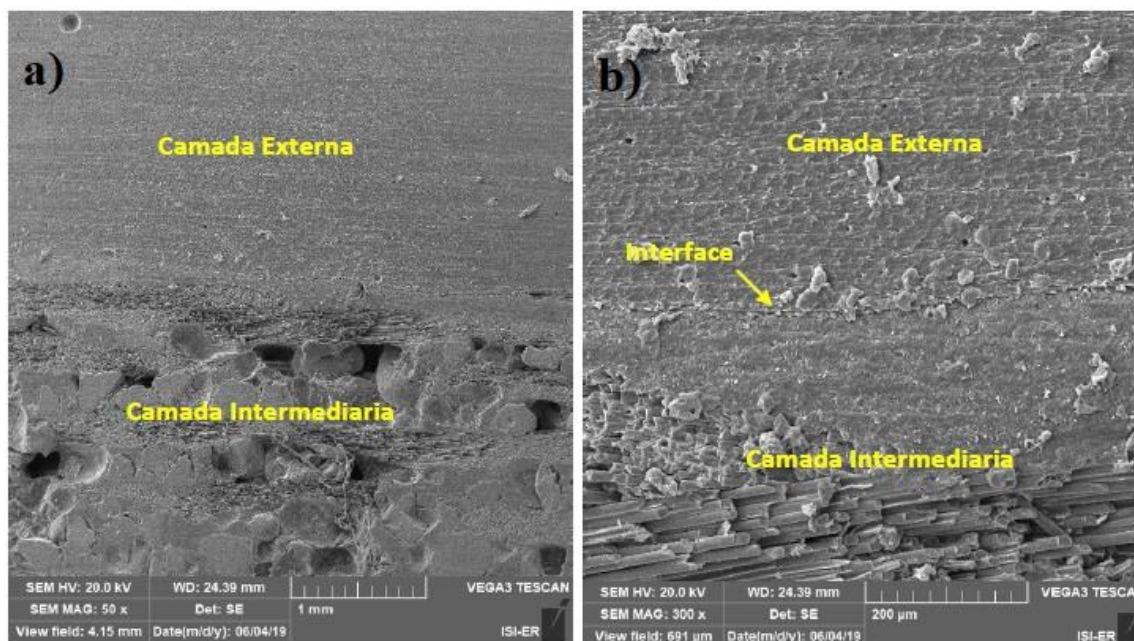


Figura 10 – Interface entre a cama externa e intermediária da amostra RP-0147 em 50x (a) e 300x (b).

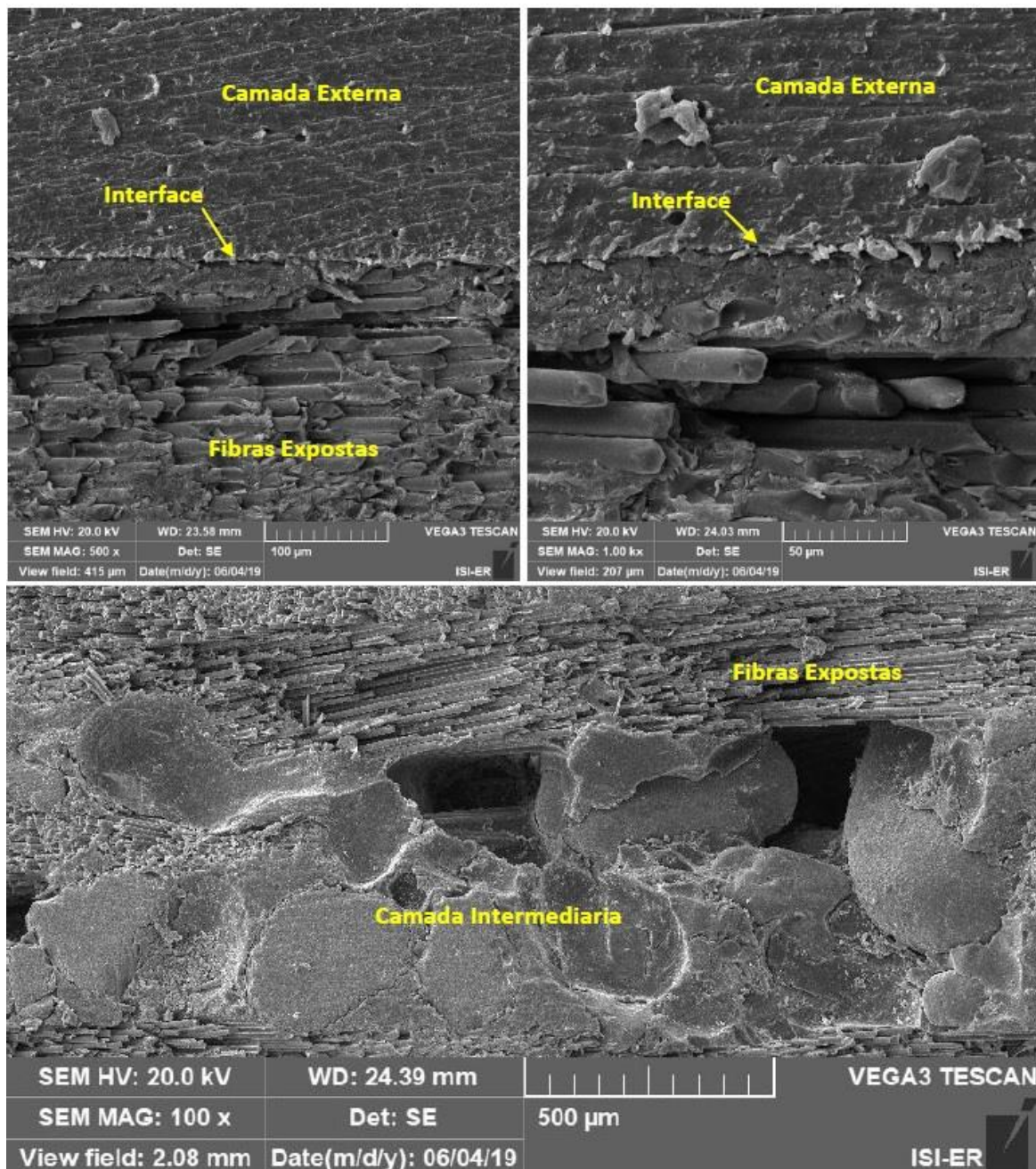


Figura 11 – Pontos com fibra exposta na amostra RP-0147 em 50x.

3.4. Discussões

A interface entre as camadas interna e intermediária das amostras apresentam boa interação, mas isso não ocorre na interface entre as camadas intermediária e externa que apresentam descolamento. A amostra RP-0147 foi a única que obteve boa interação nessa interface. Amostras novas desse material já apresentaram esses problemas, o que evidencia que é um problema que pode ser melhorado na fabricação.⁸

Foram encontradas fissuras nas regiões da interface entre as camadas intermediária e externa, que devem ter nucleado devido ao esforço da tubulação que está sujeita a pressão interna, compressão do solo e dilatação. Uma melhoria para reduzir o descolamento dessa interface pode evitar a nucleação dessas fissuras, pois interfaces são regiões preferenciais à nucleação de defeitos.⁹

Também foi vista uma cobertura insuficiente de resina de poliéster na camada intermediária, expondo as fibras de vidro. Esse problema pode prejudicar as propriedades mecânicas (distribuição de carga ineficiente entre o reforço e a matriz) e também pode favorecer o surgimento de defeitos.¹⁰

4. Conclusões

É importante estudar as propriedades de novos materiais em situação real de campo para compreender seu comportamento e se prevenir de falhas que possam causar acidentes pessoais, ambientais e operacionais (principalmente na indústria petrolífera). Falhas estas, muitas vezes de difícil previsão nas etapas de desenvolvimento do material.

Pelas análises microscópicas, a interface entre a camada interna e a intermediária apresentou boa interação em todas as amostras. Já na interface entre a camada intermediária e a externa, foi visto a presença de vazios, falta de resina nas fibras e espaçamentos relevantes em quase todas as amostras.

Apesar da camada externa de poliuretano não ter função estrutural (e sim de proteção), é imprescindível adoção de medidas na fabricação das tubulações (como uso de agregados e aditivos) que eliminem esses espaçamentos entre a interface da camada intermediária e externa, para evitar o surgimento de defeitos e fissuras que possam causar falhas futuras. Esse fato deve ser tratado com atenção, visto que a interface é região crítica em materiais compósitos e, se não estiverem bem aderidas, podem comprometer a aplicabilidade desse novo material em campos de produção de petróleo.

Referências

- 1. MENDONÇA, P. T. R.** Materiais Compostos e Estruturas-sanduíche. Barueri / SP, Ed. Manole, 2005, p. 3.
- 2. GIBSON, A. G.** The Cost Effective Use of Fibre Reinforced Composites Offshore, University of Newcastle Upon Tyne, 2002, p. 5-6.
- 3. MALLICK, P.K.** Fiber-reinforced composites : materials, manufacturing, and design. 3rd ed, 2007, 1-30.
- 4. BARROS, Gustavo de Araújo.** Tubulações de PRFV com adição de areia quartzosa visando sua aplicação na indústria do petróleo. Natal, 2007, p. 23-25.
- 5. MARCELO F.S.F. de Moura, ALFREDO B. de Moraes, ANTÔNIO G. de Magalhães.** Materiais Compósitos - Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico. Publindústria, 2010, p. 1-30.
- 6. OLIVEIRA, Eugênio Onofre de.** Desenvolvimento de tubulação de compósito polimérico revestida externamente com poliuretano de alta densidade, 2010, p. 39-40.
- 7. ABE, Rodnei, Massamiti.** Estudo do poliuretano de alta densidade para proteção externa de oleodutos térmicos. São Paulo, 2008, p. 91.
- 8. GOMES, I. M.** Análise de integridade de compósito polimérico tripla camada reforçado com fibra de vidro e aplicado em tubulações de petróleo. Mossoró, 2019, p. 48-62.
- 9. LEVY NETO, Flávio; PARDINI, Luiz C.** Compósitos estruturais: ciência e tecnologia. São Paulo: Blucher, ed. 2, 2016, p. 167-169.
- 10. LIN, T. L., Jang, B. Z.,** Fracture Behavior of Hybrid Composites Containing Both Short and Continuous Fibers. Polymer Composites. V. 11, 1990. p. 291-300.