Aplicação de materiais compósitos em reparos de tubulações de óleo e gás

Luis Paulo Garcia[1] e Jose Carlos Morilla[2]

[1]Aluno do Curso de Mestrado na Universidade Santa Cecília, Santos, BR,
[2]Professor do Curso de Mestrado na Universidade Santa Cecília, Santos, BR.

O reparo de tubulações de aço com o uso de compósitos apresenta algumas vantagens sobre outras técnicas como a facilidade de aplicação e a não necessidade de aplicação de solda. Para reparar os dutos esses materiais são aplicados sobre a superfície do duto em camadas que são coladas umas sobre as outras, através de adesivos especiais ou da própria resina da matriz. Nesse trabalho foram mostrados resultados comparativos das propriedades mecânicas dos compósitos antes e após a imersão em fluidos, bem como são apresentados resultados referentes á inspeção dos dutos após o reparo e dos defeitos que podem ocorrer durante a aplicação do compósito sobre o duto.

Palavras-chave
Compósitos, Petróleo, Reparo, Oleodutos, Gasodutos.

Application of composite materials in repairs of pipes for oil and gas

The repair of steel pipes with the use of composites has some advantages over other techniques such as ease of application and no need for application of solder. To repair the ducts these materials are applied onto the surface of the product in layers which are glued on each other through special adhesives or matrix resin itself. In this work were shown comparative results of the mechanical properties of the composites before and after immersion in fluids, and results are presented concerning inspection of pipelines will after repair and defects that can occur during the application of the composite on the pipeline.

Keyword
Composites, Oil, Repair, Pipelines, Gas Pipelines.

INTRODUÇÃO

Danos em tubulações de transferência de óleo e gás podem ocasionar acidentes de grandes proporções, assim, tão logo que um dano significativo é identificado, medidas preventivas são tomas para reparar o dano e evitar os possíveis acidentes. As técnicas mais utilizadas para reparar os dutos são: corte e substituição da região danificada, dupla calha soldada, dupla calha com preenchimento com solda e bandagem com materiais compósitos. Dentre essas técnicas o uso de materiais compósitos tem se mostrado uma excelente opção, para reparar danos em tubulações de aço, por apresentarem altas resistências, baixa corrosividade ao ambiente e não precisarem de solda para sua aplicação.

Materiais compósitos são aqueles que possuem pelo menos dois componentes ou duas fases, com propriedades físicas e químicas nitidamente distintas, em sua composição. Essas fases são chamadas geralmente de reforço e matriz. Quando usados em reparo de dutos, esses materiais são aplicados sobre a superfície do duto em camadas que são coladas umas sobre as outras, através de adesivos especiais ou da própria resina da matriz do compósito, até atingir a espessura desejada. Na Figura 1 é apresentado um registro fotográfico da aplicação de reparo de material compósito sobre um segmento de duto de aço.



Figura 1 - Exemplo de aplicação de material compósito em um segmento de duto de aço. Fonte: Fujiyama *et al.*, 2003.

Essas etapas podem ser descritas, de modo geral, com os itens: i) preparação da superfície para retirada de resíduo metálico, ferrugem, graxas e óleos; ii) aplicação de camada de resina base (*primer*) para nivelamento da superfície; iii) aplicação de camada de resina com mesma composição da matriz do material compósito para proporcionar afinidade química na interface entre o *primer* e o material compósito; iv) aplicação das camadas do material compósito até atingir a espessura desejada; v) aplicação de uma camada extra para proteção contra intempéries e raios ultra violeta (FUJIYAMA *et al.*, 2003).

O objetivo desse trabalho é mostrar resultados comparativos das propriedades mecânicas dos compósitos antes e após a imersão em fluidos, bem como apresentar resultados referentes á inspeção dos dutos após o reparo e dos defeitos que podem ocorrer durante a aplicação do compósito sobre o duto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizados os dados apresentados nos trabalhos de Dantas *et al.* (2009), Fujiyama *et al.* (2003) e Castellares (2002).

Dantas *et al.*(2009) analisaram a influência de alguns fluidos, como água do mar e petróleo, nas propriedades mecânicas de flexão de um material compósito, submetendo algumas amostras de Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV) à situação de imersão nesses fluidos. Para tanto foi confeccionado um laminado contendo resina poliéster insaturada como matriz e quatro camadas de reforço de fibra de vidro-E. Os corpos de prova foram cortados para análise de esforços de flexão de acordo com a norma ASTM D 790-03 com as seguintes dimensões: 80 x 16 x 4 mm.

As amostras permaneceram imersas nos fluidos até atingirem a saturação, o período de imersão foi determinado segundo o ensaio de absorção de água realizado. Após a confecção e imersão dos corpos de provas os mesmos foram submetidos a um teste de flexão de três pontos. (DANTAS *et al.*, 2009).

Fujiyama *et al.* (2003) compararam o desempenho de três materiais compósitos com as seguintes configurações: um constituído de tecido de fibras de vidro e matriz polimérica e produzido por laminação manual (Material Compósito 1), um híbrido constituído de fibras alinhadas e mantas de fibras de vidro e matriz também polimérica e produzido por laminação manual (Material Compósito 2) e um outro produzido pelo método de pultrusão também formado por matriz polimérica e reforçada por fibras contínuas e alinhadas na direção da pultrusão (Material Compósito 3). Os dutos reparados com os materiais compósitos foram cortados para que fosse feita uma avaliação das camadas de material que foram adicionadas até que se atingisse a espessura final.

Castellares (2002) avaliou o desempenho mecânico de três compósitos comerciais e um preparado em laboratório, além de analisar a eficiência de três tipos de técnicas de inspeção capazes de detectar falhas na parede interna em dutos já reparados com materiais compósitos. No trabalho de Castellares (2002) o compósito na forma de reparo foi aplicado sobre a superfície das placas de aço. Para simular o efeito de possíveis danos internos foram confeccionados “furos” de

diferentes diâmetros e profundidades nas placas de aço usadas como padrões. Os corpos de prova foram imersos em petróleo no reator mostrado na Figura 2.

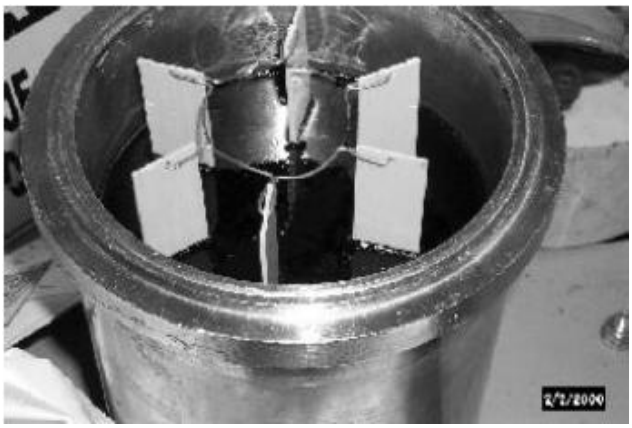

Figura 2 – Reatores usados no teste de envelhecimento em petróleo. Fonte: Castellares, 2002.

Os corpos de prova foram confeccionados com fibra de vidro e diferentes tipos de resina: CRFV 1 – Resina éster vinílica expoxídica; CRFV2 – Resina epóxi convencional; CRFV3 – Polimetarilato de metila e CRFV4 – Poliuretano.

As propriedades mecânicas dos corpos de prova foram determinadas de acordo com a norma ASTM D897-95 e as análises usadas para a inspeção das falhas dos dutos reparados foram: Termografia, Ultra-som e Raios-X.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 abaixo mostra o percentual de água absorvido pelo material até a saturação. Este tempo serviu de parâmetro para colocação dos corpos de provas nos respectivos fluidos no trabalho de Dantas *et al.* (2009). Nessa figura observa-se um comportamento linear para um período de até 1008 horas que equivale à aproximadamente 42 dias; a partir deste período a absorção de água deixa de ser linear passando a ocorrer uma menor absorção de umidade ao longo do tempo.

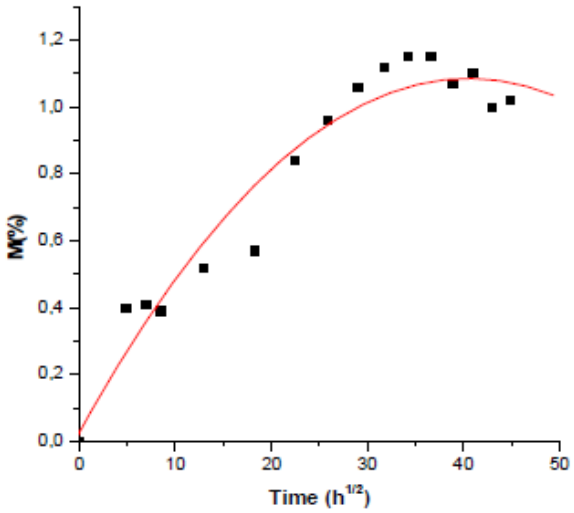

Figura 3 – Percentual de absorção de umidade em função do tempo de imersão. Fonte: Dantas *et al*., 2009.

A Figura 4 mostra os resultados de deformação, modulo de flexão e resistência máxima à flexão encontrados para os corpos-de-prova que não foram imersos (Secos) e para os que foram imersos em água do mar ou em petróleo. Nessa figura observa-se que tanto os valores de resistência à flexão quanto os de módulo de flexão permaneceram praticamente os mesmos para as três situações. No que se refere à deformação sofrida pelo material, em função do fluido de imersão,

verifica-se que ocorreu uma pequena redução na deformação máxima dos corpos-de-prova que foram imersos em água do mar ou petróleo, quando comparados aos resultados obtidos pelos corpos-de-prova sem imersão (DANTAS *et al*., 2009).

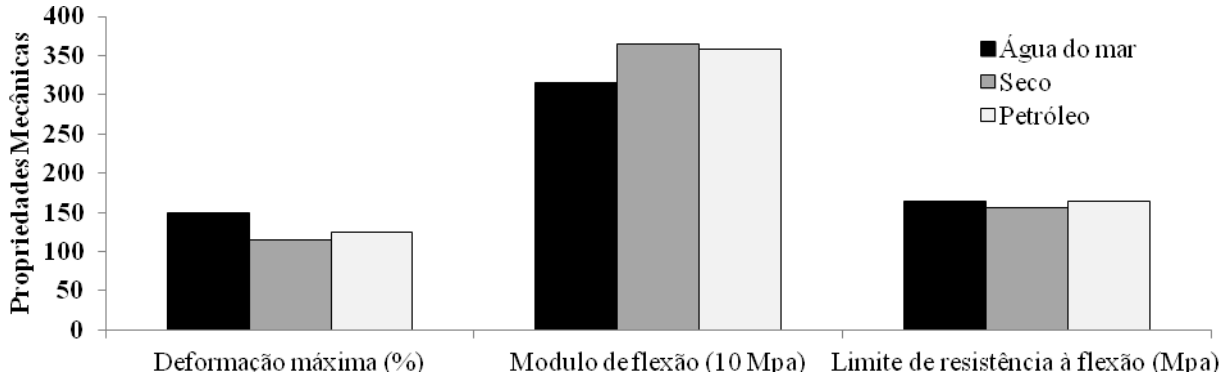

Figura 4 – Resultados de deformação, modulo de flexão e resistência máxima a flexão encontrados para os corpos-de-prova em função do meio. Fonte: Dantas *et al.*, 2009.

As propriedades mecânicas dos três materiais compósitos avaliados no trabalho de Fujiyama *et al.* (2003) estão listados na Tabela 1. De acordo com os dados apresentados nessa tabela tem-se que o material compósito 3 apresentou menores deformações na fratura quando comparado com os outros dois materiais compósitos. O material compósito 1 apresentou maior limite de resistência e o material compósito 2 apresentou maior deformação para a fratura. O módulo de elasticidade obtido para o material compósito 3 é 40% e 83% superior ao do material compósito 1 e material compósito 2, respectivamente.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração para os três materiais compósitos.

Material Compósito	Carga Máxima [N]	Tensão Máxima [MPa]	Deformação Máxima [%]	Módulo de Elasticidade [GPa]
Material Compósito 1	31.806,11 ± 2211,93	399,02 ± 53,96	0,46 ± 0,04	82,91 ± 2,53
Material Compósito 2	25.586,67 ± 2316,41	310,60 ± 26,25	1,012 ±0,330	23,92 ± 2,59
Material Compósito 3	24.202,54 ± 692,46	379,58 ± 8,99	0,25 ± 0,031	137,66 ± 6,19

Fonte: Fujiyama *et al.,* 2003.

Nas Figuras 5.a, 5.b e 5.c têm-se ilustradas imagens da espessura das camadas do material compósito, onde é possível observar a presença de defeitos como vazios e porosidades que ficaram retidas entre as camadas e na região próxima à superfície do duto de aço e o material compósito (FUJIYAMA *et al.,* 2004).

Os vazios e porosidades podem estar associados à falta de pressão e compactação das camadas de materiais compósitos, bem como à viscosidade do adesivo que pode estar impossibilitando o escoamento ao longo da superfície do metal e da superfície do material compósito. De acordo com as Figuras 5.a, 5.b e 5.c os vazios e porosidades foram encontrados nos três materiais compósitos e em diferentes ordem de grandeza (FUJIYAMA *et al.,* 2003).



Figura 5 - Registros fotográficos mostrando a presença de vazios e porosidades entre as camadas do material compósito 1 (Fig 5.a) ,2 (Fig 5.b) e 3 (Fig 5.c) e na região próxima da superfície do duto. Fonte: Fujiyama *et al.,* 2003.

No trabalho de Castellares (2002) os ensaios de termografia e ultra-som usados na inspeção de falhas, mostraram-se de um modo geral ineficientes no dimensionamento de falhas em dutos que estão presentes nas regiões reparadas com materiais compósitos. Já a análise de raios-X apresentou os melhores resultados para a avaliação dos defeitos internos nos dutos sendo, por isso, considerada a de maior potencial para essa aplicação. A Figura 6 mostra o resultado da análise radiográfica realizada num corpo de prova revestido com reparo de 15 mm de espessura, onde é possível claramente se ver os defeitos gerados propositadamente (furos de 10 mm).

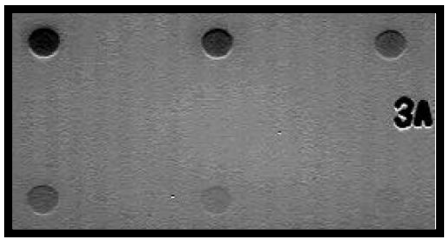

Figura 6 – Radiografia de um corpo de prova revestido com reparo de 15 mm de espessura e diâmetro de furo de 10 mm. Fonte: Castellares, 2002.

A Figura 7 mostra o comportamento mecânico dos corpos de prova antes e após o processo de envelhecimento em petróleo. O compósito CRFV 1, confeccionado em laboratório, mostrou ser o mais flexível; enquanto que o material comercial CRFV3 à base de polimetacrilato de metila, apresentou elevada rigidez. Entretanto, esta propriedade foi significativamente afetada após a sua imersão em petróleo. O material CRFV2 mostrou ser um material rígido e sua rigidez sofreu decréscimo após sua imersão em petróleo. O compósito CRFV4 apresentou menor rigidez em relação aos demais produtos comerciais. Isso se deve à presença de poliuretano como resina base.

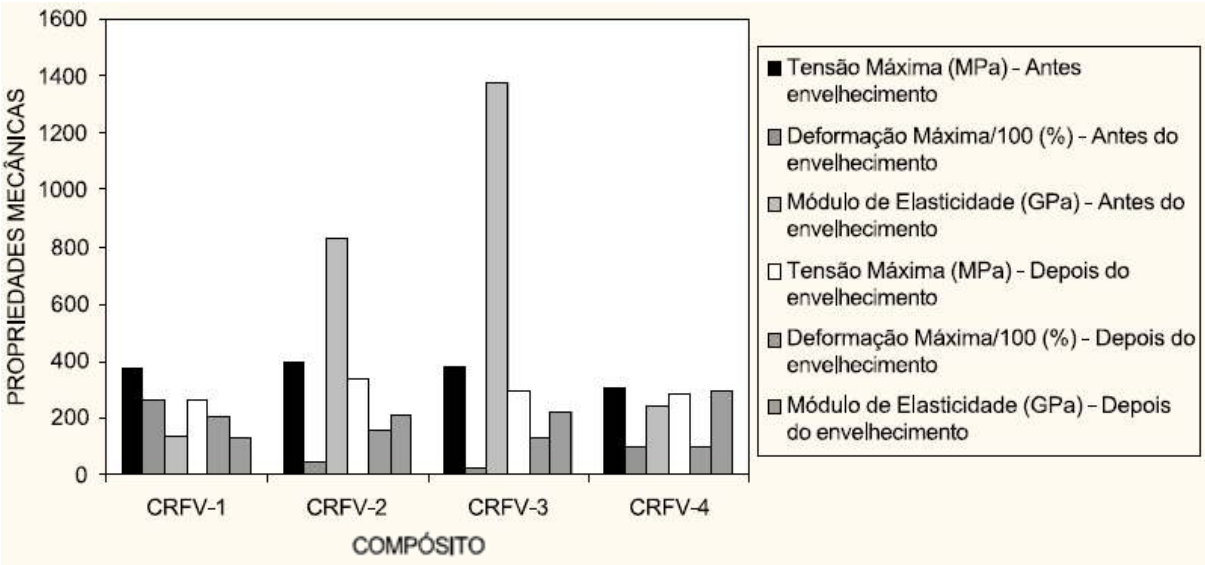

Figura 7 – Propriedades mecânicas dos corpos de prova antes e após o envelhecimento em petróleo. Fonte: Castellares, 2002.

CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados nesse trabalho, que foram obtidos por Dantas (2009), pôde-se observar que não houve variação significativa das propriedades mecânicas de flexão para os corpos de provas ensaiados na condição seca e de imersão (água do mar e petróleo).

Através da avaliação das propriedades mecânicas de três materiais compósitos com mesma composição de resina e de fibra e com diferentes métodos de manufatura, mostrada por Fujiyama

(2003), comprovou-se que, diferentes propriedades mecânicas podem ser obtidas a depender do método de manufatura. Nos três materiais compósitos foram observados vazios e porosidades na região da interface dos mesmos com a superfície do aço do duto.

Com os dados do trabalho de Castellares (2002) mostrou-se que comportamentos mecânicos diferenciados podem ser alcançados em função do tipo de resina base presente no material compósito. Esse trabalho também relatou que a análise de raios-X apresentou os melhores resultados para a avaliação dos defeitos internos nos dutos reparados com material compósito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTELLARES, L. G. Reparo de dutos danificados utilizando materiais compósitos. **In: 6 Conferência sobre tecnologia de equipamentos, 2002, Salvador**. Anais da 6º Conferência sobre tecnologia de equipamentos, 2002.

DANTAS, C.; SILVA, C.; FELIPE R.; FELIPE R. Avaliação da influência do petróleo e água do mar nas Propriedades de flexão do compósito (PRFV) e na Característica da fratura. **In: IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, Belém, 2009.** Anais do IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Belém, 2009.

FUJIYAMA, R. T.; SOUSA , A. N.; BASTIAN, F. L.**.** Uso de materiais compósitos em reparos de dutos de aço. **In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2003, Rio de Janeiro.** Anais do 2º congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e gás, 2003.