



# 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

## USO DE MATERIAIS COMPÓSITOS EM REPAROS DE DUTOS DE AÇO

R. T. Fujiyama, A. N. Sousa e F. L. Bastian

Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – COPPE - UFRJ, Caixa Postal 68505,  
CEP: 21941-972, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: Fujiyama@metalmat.ufrj.edu.br

**Resumo** – O método de reparo de dutos de aço com escoamento de petróleo ou gás é escolhido em função do grau de insegurança que um defeito apresenta ao duto, sendo esses defeitos causados normalmente por corrosão. Entre os tipos de reparo utilizados tem-se o corte e substituição da região corroída, dupla calha soldada, dupla calha com enchimento e o uso de materiais compósitos. O uso de materiais compósitos para estes reparos apresenta vantagens onde se destacam a facilidade de aplicação e a não necessidade de processo de soldagem. Com isso, o risco de acidente é mínimo e o procedimento de manutenção pode ser efetuado com o sistema em operação ou, em casos especiais, necessita-se apenas de uma redução na pressão do sistema. Uma desvantagem no uso deste tipo de material está no fato de que no caso de defeitos internos este procedimento ser considerado temporário. Por outro lado, os materiais compósitos apresentam propriedades mecânicas suficientes para garantir a integridade do duto de aço durante sua operação. Neste trabalho serão caracterizados três materiais compósitos que são usados no reparo de dutos de aço na indústria petroquímica. Como parte da caracterização destes materiais será inicialmente apresentada uma ilustração fotográfica do processo de aplicação desses reparos com materiais compósitos. Serão também apresentadas as propriedades mecânicas dos mesmos obtidas por ensaios de tração. Os três materiais compósitos deste trabalho apresentam a seguinte configuração: um constituído de tecido de fibras de vidro e matriz polimérica e produzido por laminação manual, um híbrido constituído de fibras alinhadas e manta de fibras de vidro e matriz também polimérica produzido por laminação manual e um outro produzido pelo método de pultrusão também formado por matriz polimérica e reforçada por fibras contínuas e alinhadas na direção da pultrusão.

Palavras-Chave: Materiais Compósitos, Fibras de Vidro, Polímero, Reparo

**Abstract** – The method of repairing oil and gas pipelines depends on the risks introduced by the presence of flaws in the pipe. Besides the traditional repair methods recently the use of composite materials is increasing due to their easy application and possibility of making the repair without stopping the fluid flow in the pipe. A disadvantage of using this type of repair is that in the case of pipes with internal flows the repair is considered temporary. On the other hand, the mechanical properties of the composite materials are high enough to guarantee the integrity of the repaired pipe. In the present work the mechanical properties of three commercial repair composite materials are presented, and discussed.

Keywords: Composite Material, Fiberglass, Polymer, Repair

## 1. Introdução

Os materiais compósitos são bastantes utilizados pela indústria petroquímica na fabricação de tubulações, componentes e acessórios. Além dessas aplicações, também são usados para a fabricação de componentes estruturais nas plataformas de petróleo como é o caso de guard-hail e pisos. Uma aplicação mais recente desses materiais e que vem sendo bastante difundida é como reparo, como forma de manutenção da integridade de estruturas e componentes garantindo segurança e vida útil do sistema reparado. Pesquisas desses materiais como reparo tem sido desenvolvidas na área militar (Jones, e Smith, 1995; Jones, Chiu, e Smith, 1995) e na engenharia civil (El-Mikawi, e Mosallam, 1996).

Pesquisadores têm estudado a aplicação desses materiais como reparos em estruturas sujeitas a corrosão, principalmente em dutos Greenwood, 2001; Leewis e Laughlin, 2000 abordaram a versatilidade e os métodos de uso desses materiais em reparos de dutos de aço usados para o transporte de gás e petróleo. Aplicações de materiais compósitos para reparo de dutos com escoamento de gases datam da década de 90 (Venzi, 1993; Frassine, 1997).

Neste trabalho será feita a caracterização de três materiais compósitos. A caracterização será feita através da apresentação das propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração e ilustração fotográfica dos métodos de aplicação desses materiais compósitos. Os três materiais compósitos deste trabalho apresentam as seguintes configurações: um constituído de tecido de fibras de vidro e matriz polimérica e produzido por laminação manual, um híbrido constituído de fibras alinhadas e mantas de fibras de vidro e matriz também polimérica e produzido por laminação manual e um outro produzido pelo método de pultrusão também formado por matriz polimérica e reforçada por fibras contínuas e alinhadas na direção da pultrusão.

A sequência de etapas usadas para a análise e diagnóstico de dano em um duto, até a escolha do tipo de reparo, pode ser descrita de acordo com o organograma dado na Figura 1.

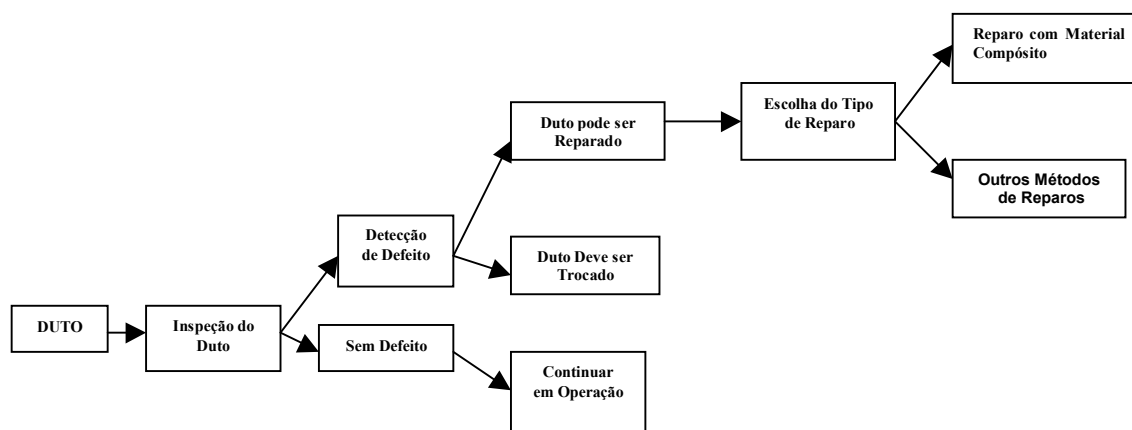


Figura 1. Organograma para a análise e diagnóstico de defeito e reparo em dutos de aço

## 2. Materiais e Métodos

A seguir serão apresentados os materiais utilizados nesta pesquisa e as metodologias usadas para a caracterização dos mesmos.

### 2.1. Materiais Compósitos

A configuração dos três tipos de materiais compósitos estudados neste trabalho, quanto ao tipo e forma das fibras e o método de fabricação, pode ser observada através das características listadas na Tabela 1. O material compósito 1 foi produzido por uma empresa nacional e os materiais 2 e 3 fabricados por empresas do exterior.

Tabela 1. Configuração dos três materiais compósitos estudados neste trabalho

Tipo de Material Compósito	Tipo / Forma das Fibras	Método usado na Fabricação do Material Compósito
Material Compósito 1	Fibra de Vidro / Tecido	Laminação Manual
Material Compósito 2	Fibra de Vidro / Manta + Contínua e Alinhada	Laminação Manual
Material Compósito 3	Fibra de Vidro / Contínua e Alinhada	Pultrusão

## 2.2. Aplicação dos Materiais Compósitos em Reparo de Dutos

Os materiais compósitos são aplicados diretamente sobre o duto de aço, na região que contém o defeito causado por corrosão, após alguns procedimentos padrão. Esses procedimentos constituem as etapas necessárias a serem seguidas antes da aplicação do material compósito para que se tenha qualidade e confiabilidade do produto final. Essas etapas podem ser descritas, de modo geral, com os itens listados a seguir.

- a- Preparação da superfície - retirada de resíduo metálico, ferrugem, graxas e óleos.
- b- Aplicação de camada de resina base (primer) - nivelamento da superfície.
- c- Aplicação de camada de resina com mesma composição da matriz do material compósito - afinidade química da interface entre o primer e o material compósito.
- d- Aplicação das camadas do material compósito – até atingir a espessura desejada.
- e- Aplicação de uma camada extra - proteção contra intempéries e raios ultra violeta.

Na Figura 2 tem-se uma fotografia de um segmento de duto de aço que está sendo reparado com o material compósito 3.



Figura 2. Exemplo de aplicação do material compósito 3 em um segmento de duto de aço

## 2.3. Propriedades Mecânicas de Tração dos Materiais Compósitos

Ensaio mecânico de tração foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na norma ASTM (ASTM D3039, 1995). Na Figura 3 tem-se ilustrada, esquematicamente, a geometria dos corpos de prova usados nos ensaios mecânicos para a obtenção das propriedades mecânicas dos três materiais compósitos.

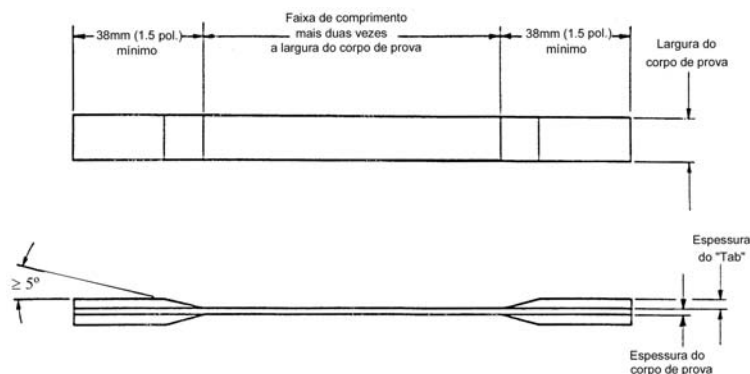


Figura 3. Esquema com a geometria dos corpos de prova usados nos ensaios mecânicos de acordo com a norma da ASTM (ASTM D3039, 1995)

Na Tabela 2 tem-se listadas as dimensões dos corpos de prova de acordo com o ilustrado na Figura 3.

Tabela 2. Dimensões dos corpos de prova de acordo com o esquema ilustrado na figura 3, para compósito reforçado por fibras de vidro.

Dimensões dos Corpos de Prova para Orientação de Fibra de Vidro em 0/90° (em milímetros)	
Espessura do Corpo de Prova	3,0
Comprimento Útil	127
Tab	38,0
Espessura do Tab	3,0

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Aplicação dos Materiais Compósitos em Reparo de Dutos

Esses materiais compósitos são aplicados sobre a superfície do duto e as camadas são coladas umas sobre as outras, até atingir a espessura desejada, através de adesivos especiais ou da própria resina da matriz do material compósito. Nas Figuras 3, 4 e 5 têm-se fotografias que ilustram cada material compósito aplicado sobre segmento de duto de aço, para o material compósito 1, material compósito 2 e material compósito 3, respectivamente.



Figura 3. Material compósito 1 aplicado em um segmento de duto de aço



Figura 4. Material compósito 2 aplicado em um segmento de duto de aço



Figura 5. Material compósito 3 aplicado em um segmento de duto de aço

Cortes foram efetuados nos dutos reparados dos três materiais compósitos para que fosse feita uma avaliação das camadas de material que foram adicionadas até que se atingisse a espessura final. Nas Figuras 6, 7 e 8 têm-se ilustradas imagens da espessura das camadas do material 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 material compósito.

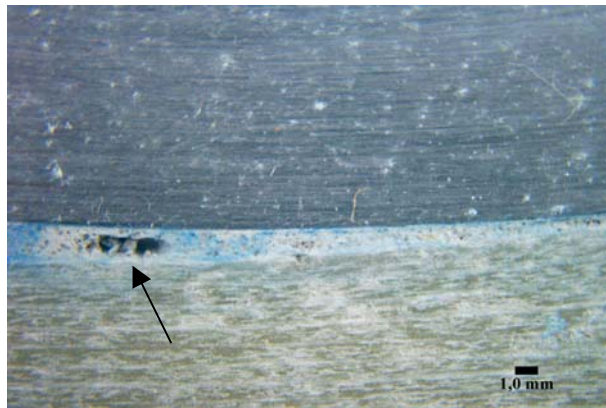


Figura 6. Presença de vazios e porosidades entre as camadas do material compósito 1 e na região próxima da superfície do duto

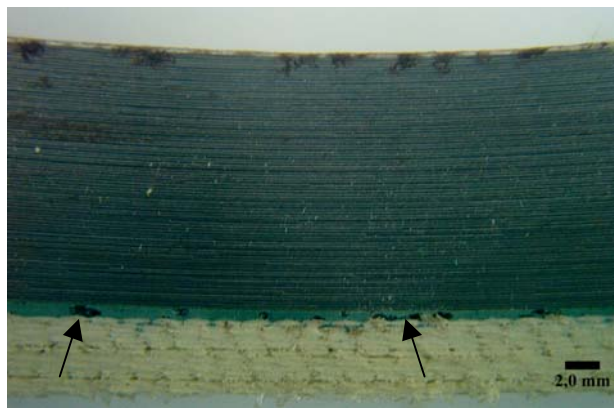


Figura 7. Presença de vazios e porosidades entre as camadas do material compósito 2 e na região próxima da superfície do duto

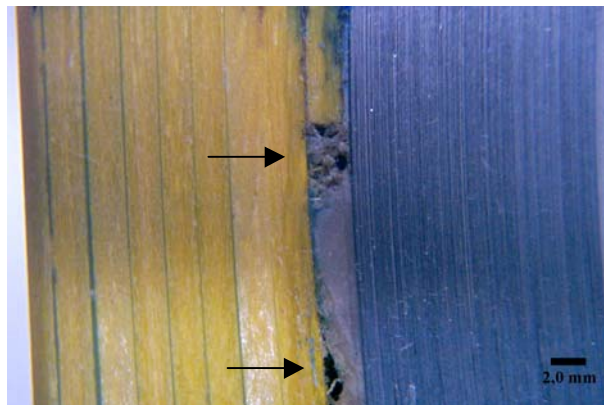


Figura 8. Presença de vazios e porosidades entre as camadas do material compósito 3 e na região próxima da superfície do duto

Os vazios e porosidades podem estar associados à falta de pressão e compactação das camadas de materiais compósitos e a 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 6, 7 e 8 os vazios e porosidades foram encontrados nos três materiais compósitos e em diferentes ordem de grandeza.

### 3.2. Propriedades Mecânicas de Tração dos Materiais Compósitos

Através dos ensaios mecânicos de tração, realizados de acordo com a norma ASTM D3039 (ASTM D3039, 1995) foi possível obter as propriedades mecânicas dos três materiais compósitos. Na tabela 2 tem-se listados a carga máxima, o limite de resistência, deformação máxima e módulo de elasticidade para os três materiais compósitos estudados (Fujiyama, 2002).

Tabela 2. 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

De acordo com os dados apresentados na tabela 2 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.

#### 4- Conclusões

Foi feita uma avaliação das propriedades mecânicas de três materiais compósitos que são usados atualmente em reparos de dutos de aço na indústria petroquímica.

O material compósito 1, que é produzido por uma empresa nacional, apresentou maior limite de resistência a fratura sob tração em comparação com os outros dois materiais importados.

O material compósito 3 apresentou maior módulo de elasticidade.

O material compósito 2 apresentou maior deformação na fratura.

Foram observados vazios e porosidades nos três materiais compósitos na região da interface dos mesmos com a superfície do aço do duto. Esses vazios podem estar associados à falta de pressão e compactação da camada de material compósito na superfície do duto, à viscosidade do adesivo, que pode estar impossibilitando o espalhamento uniforme na superfície do metal, e a geração e retenção de gases produzidos no processo de cura do adesivo e da matriz do material compósito.

#### 5. Agradecimentos

À ANP, CAPES, CNPq, CNPq/CTPETRO e FINEP/CTPETRO pelas bolsas de estudo e de produtividade em pesquisa e apoio financeiro. Aos alunos de iniciação científica e estagiários do Laboratório de Materiais Compósitos do PEMM/COPPE/UFRJ.

#### 6. Referências

- ASTM D3039M, Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, American Society for Testing and Materials, 1995
- EL-MIKAWI, M., MOSALLAM, A. S. A Methodology for Evaluation of the use of Advanced Composites in Structural Civil Engineering Applications, *Composites Part B*, v. 27, pp. 203-215, 1996.
- FRASSINE, R. Long-Term Performance of a Polymer Composite Repair System for Gas Pipelines, *Advances in Polymer Technology*, v. 16, n. 1, pp. 33-43, 1997.
- FUJIYAMA, R. T. Materiais Compósitos para Reparo de Dutos em Ambiente Terrestre e com Defeitos Internos, Exame de Qualificação ao Doutorado, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais Outubro, COPPE/UFRJ, 2002.
- GREENWOOD, C. Composite Pipe Repair Method Shows Versatility, long-lasting, *Pipeline and Gas Journal*, www.undergroundinfo.com, February 2001.
- JONES, R., SMITH, R. Continued Airworthiness of Composite Repair: to Primary Structures for Military Aircraft, *Composite Structure*, v. 33, n. 2, pp. 17-26, 1995.
- JONES, R., CHIU, W. K., SMITH, R. Airworthiness of Composite Repair: Failure Mechanics, *Engineering Failure Analysis*, v. 2, n. 2, pp. 117-128, 1995.
- LEEWIS, K., LAUGHLIN, S. Permanent Composite Repair of Gas Transmission Lines DOT Regulatory Process and Results *Proceedings of ETCE/OMAE2000 Joint Conference: Energy for the New Millennium*, pp. 1-7, February 2000.
- VENZI, S. Advanced Repair System for High Pressure Pipelines, Osaka Gas Forum, Osaka, November 1993.