



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778
Nº 5, volume 5, artigo nº 90, Julho/Dezembro 2019
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v5n5a90>
Edição Especial

ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DE UMA LUVA DE COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA PARA REPARO DE TUBULAÇÃO CORROÍDA

Heitor Braga Ferreira¹
Engenheiro Mecânico

Rômulo Simiquel Lobato¹
Engenheiro Mecânico

Victor Barbosa Souza²
Doutor em Engenharia Mecânica

Amanda Camerini Lima²
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais

Valtency Guimaraes Ferreira²
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais

¹ Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna – RJ, heitorbragafe@hotmail.com

¹ Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna – RJ, romulosimiquel@gmail.com

² Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna – RJ, prof.victorbsouza@gmail.com

² Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna – RJ, amandacamerini@gmail.com

²Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna – RJ, valtencyguimaraes@yahoo.com

Resumo

No presente trabalho são apresentados dois métodos de dimensionamento da espessura de uma luva de material compósito para reparo de uma tubulação, da indústria off-shore, que apresenta corrosão externa e relevante perda de espessura. O objetivo de principal desse trabalho é comparar os resultados obtidos por estes métodos. O primeiro método de dimensionamento é orientado segundo a norma ISO/PDTS 24817 (Reparos de compósitos para dutos de indústrias de petróleo, petroquímicas e de gás natural – Qualificação, projeto, instalação, teste e inspeção) que resume basicamente no cálculo da espessura do reparo e o comprimento axial do reparo respectivamente. O outro método de dimensionamento é a teoria da parede fina que determina a espessura do reparo levando em conta a tensão admissível e a pressão de contato entre a tubulação e o compósito.

Palavras chave: compósito. duto. ISO 24817. reparo. matriz polimérica. teoria da parede fina.

Abstract

This work presents two methods to specify the thickness of a composite material sleeve to be used for the repair of an offshore industry pipeline, which shows external corrosion and relevant loss of thickness. The main purpose of this project is to compare the results of these two methods. The first sizing method is established according ISO/PDTS 24817 (Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Composite repairs for pipework – Qualification and design, installation, testing and inspection) standard, which summarizes composite thickness calculus, and it's axial length, respectively. The second sizing method, Thin Walled Theory, determines the repair thickness by considering the allowable stress and the contact pressure between pipe and the composite.

Key words: composite. duct. ISO 24817. Repair. polymer matrix. Thin walled theory.

1.0 INTRODUÇÃO.

A indústria offshore que se encontra em constante crescimento, é obrigada a se mostrar eficiente em relação a sua capacidade de produção diante das demandas impostas pelo cenário atual. Segundo estimativas da ABENAV (Associação Brasileira das Empresas de Construção Naval e Offshore), a indústria de petróleo e gás deve dobrar a participação no PIB brasileiro até 2020, passando de 10% para 20%, No mesmo período, o mercado offshore prevê um faturamento de US\$ 17 bilhões (ANDRADE *et al*, 2014). Com esse aumento previsto, também é necessário programas privados e governamentais que ampliem as redes dutoviárias. O Brasil que possui cerca de 22 mil km de malha de dutos, tem uma projeção de expansão desta malha para os próximos anos. Só a Petrobrás e a Transpetro, sua empresa de logística e de transporte, devem investir nos próximos cinco anos cerca de

US\$5 bilhões em construção de novas linhas dutoviárias visando atender a demanda ocasionada pelas novas descobertas. Tubulações metálicas são utilizadas na indústria, tanto no transporte de matéria prima, quanto dentro das próprias refinarias, sendo mais rápido e seguro que qualquer outro meio de transporte de fluidos. Esta é a escolha de todas as empresas que necessitam realizar um envio contínuo de fluido para determinado local.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muito dos bens fabricados atualmente demandam o emprego de materiais com combinações pouco comuns de propriedades, que não podem ser atendidas por ligas cerâmicas, metálicas e materiais poliméricos convencionais. As combinações e as faixas das propriedades estão sendo ampliadas com o desenvolvimento de compósitos. Por se tratar de um material projetado, propriedades especiais são obtidas e a sua aplicação na indústria, especialmente nos segmentos aeroespacial, automotivo e de engenharia, é crescente (ROHEM, 2010). Segundo Callister (2008), compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades. De acordo com esse princípio de ação combinada, melhores combinações de propriedades são criadas por uma combinação judiciosa de dois ou mais materiais distintos. Um equilíbrio de propriedades também é obtido para muitos materiais compósitos. A grande maioria dos compósitos possuem apenas duas fases, uma é chamada matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada de fase dispersa. As propriedades dos compósitos dependem das propriedades das fases constituintes, de suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa (CALLISTER, 2008).

A classificação dos matérias compósitos pode ser observada através da Figura 1:



Figura 1 - Um esquema de classificação para vários tipos de compósitos
Fonte: CALLISTER, 2008

Segundo Callister (2008), tecnologicamente, os compósitos mais importantes são aqueles onde a fase dispersa está na forma de uma fibra. Os objetivos de projeto dos compósitos reforçados com fibras incluem, com frequência, alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, os quais correspondem, respectivamente, às razões entre o limite de resistência a tração e o peso específico e entre o módulo de elasticidade e o peso

específico. Compósitos reforçados com fibras com resistências e módulos específicos excepcionalmente elevados tem sido fabricado empregando materiais de baixo peso específico tanto para a fibra quanto para a matriz. Os compósitos com matriz polimérica consistem em uma resina polimérica como a matriz, com fibras como o meio de reforço. Esses materiais são usados na maior diversidade de aplicações dos compósitos, assim como nas maiores quantidades, como consequência de suas propriedades à temperatura ambiente, da facilidade de fabricação e do custo. Os Compósitos de Matriz Polimérica podem ser classificados de acordo com o tipo de reforço juntamente com as suas aplicações e as várias resinas poliméricas que são empregadas, os principais são: compósito polimérico reforçado com fibra de vidro, compósito polimérico reforçado com fibra de carbono, compósito polimérico reforçado com fibra de aramida.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Atualmente existem diferentes tipos de reparos, que podem ser classificados em três instâncias: contingência, temporários e permanentes (DIAS, 2004). Os reparos de contingência são realizados para minimizar os impactos ao meio ambiente e às pessoas. Com isto os dutos podem continuar operando até que sejam projetados e executados reparos temporários ou permanentes. Os reparos temporários são realizados para reforçar as regiões com danos, procurando devolver a integridade operacional do duto, o qual posteriormente deve ser substituído por um reparo permanente. Os reparos permanentes devolvem a integridade estrutural ao duto (ABERNAZ, 2006). Exemplos de reparos permanentes são: Corte e Substituição; Dupla Calha Soldada; Dupla Calha com Enchimento; Luva de Material Compósito. Pesquisadores têm desenvolvido a aplicação desses materiais como reparos em estruturas sujeitas a corrosão, principalmente em dutos. Greenwood 2001; Lewis e Laughlin 2000 abordaram a versatilidade e os métodos de usos desses materiais em reparos de dutos usados para transporte de gás e petróleo (FUJIYAMA, 2003). O reparo de dutos utilizando materiais compósitos de matriz polimérica tem se tornado uma alternativa muito vantajosa em relação aos métodos convencionais, pois o custo do projeto é relativamente baixo. O reforço através de material compósito tem o custo 70% menor do que os métodos convencionais (CÔRTEZ, 2001).

A norma que regulamenta este método de reparo é a norma ISO/PDTS 24817 (Reparos de compósitos para dutos de indústrias de petróleo, petroquímicas e de gás natural – Qualificação, projeto, instalação, teste e inspeção) publicada em 15 de setembro de 2006 é um compêndio destinado à qualificação de sistemas de reparos com materiais compósitos capazes de restaurar a integridade estrutural de dutos danificados ou reforçar dutos não danificados, para carregamento adicional. A Norma ISO/PDTS 24817 se resume basicamente no cálculo da espessura do reparo e o comprimento axial do reparo respectivamente. A Norma fornece as equações necessárias para o cálculo destas variáveis para os mais diferentes casos de defeitos, desde seções retas de tubulações até componentes do sistema de dutos, vasos de pressão, etc. também apresenta condições opcionais de projeto, tais como: impacto, carregamento cíclico, reparos vivos (substrato em operação), desempenho em incêndio, proteção catódica, condutividade elétrica e carregamento externo. A presente norma traz 3 classes para sistema de reparo, conforme demonstrado na tabela 1:

Tabela 1: classe de reparo

Classe do Reparo	Serviço Típico	Pressão de Projeto	Temperatura de Projeto
Classe 1	Sistemas de baixo risco, drenos, sistemas de refrigeração, água do mar (serviço), diesel e outras linhas de hidrocarbonetos.	<1MPa(10bar)	<40°C
Classe 2	Água para combate a incêndio, sistemas de inundação.	<2MPa(20bar)	<100°C
Classe 3	Água e hidrocarbonetos produzidos, fluidos inflamáveis, sistemas de gás. Também cobre condições de operação mais crítica do aqui descritas.	Limite superior qualificado	Limite superior qualificado

Fonte: ROHEM, 2010

Existem basicamente dois tipos de defeito, Tipo A (defeitos não transpassantes que podem ou não levar em conta espessura restante do duto), e o Tipo B (defeitos transpassantes, ou seja, que há vazamento do fluido). Os defeitos do Tipo A são subdivididos em 3 grupos: com substrato, sem substrato e teste de desempenho (Henkel). Com substrato: A espessura restante do duto é contabilizada nos cálculos, ou seja, o substrato ainda pode suportar uma certa parte dos carregamentos. Sem substrato: os cálculos são feitos somente levando em conta a espessura do reforço, sendo assim, o substrato restante não pode suportar esforços. Testes de desempenho: Esse teste de projeto é apropriado se os dados baseados no teste de desempenho estiverem disponíveis. O Anexo E da Norma ISO/PDTS 24817 fornece três métodos para determinação da pressão (ou deformação) de falha em longo prazo do laminado de reparo (Rohem, 2010). O Defeito encontrado para realização do reparo se enquadra no defeito Tipo A sem substrato e as equações para dimensionamento da espessura do reparo são listadas a seguir:

Equações [1] e [2] são utilizadas para especificar a espessura mínima do laminado de reparo para defeitos do Tipo A sem considerar o substrato, no sentido circunferencial e axial respectivamente, o maior valor será a espessura de projeto.

$$t_{min,c} = \frac{1}{\varepsilon_c} \left(\frac{P_{eq} D}{2E_c} - \frac{F_{eq} v}{\pi D E_c} \right) \quad [1]$$

$$t_{min,a} = \frac{1}{\varepsilon_a} \left(\frac{F_{eq}}{\pi D E_a} - \frac{P_{eq} D v}{2E_c} \right) \quad [2]$$

Onde: E_a = módulo axial do laminado de reparo (MPa)

E_c = módulo circunferencial do laminado de reparo (MPa)

D = diâmetro externo do tubo de teste (mm)

F_{eq} = carga axial equivalente (N)

$P_{\varepsilon q}$ = pressão interna equivalente (MPa)

ν = coeficiente de Poisson do laminado de reparo

ε_a = deformação axial admissível para o laminado de reparo (mm/mm)

ε_c = deformação circunferencial admissível para o laminado de reparo (mm/mm)

$P_{\varepsilon q}$ e $F_{\varepsilon q}$ são definidos por:

$$P_{\varepsilon q} = P \left[1 + \frac{16}{(\pi D^2 P)^2} \left(F_{sh} + \frac{2}{D} M_{to} \right)^2 \right]$$
$$F_{\varepsilon q} = \frac{\pi}{4} P D^2 + \sqrt{F_{ax}^2 + 4F_{sh}^2} + \frac{4}{D} \sqrt{M_{ax}^2 + M_{to}^2} \quad [3]$$

Onde: P = pressão interna de operação (MPa)

F_{sh} = carga cisalhante aplicada (N)

M_{to} = momento de torção aplicada (Nmm)

F_{ax} = força axial aplicada (N)

M_{ax} = momento axial aplicado (Nmm)

$$\varepsilon_c = f_{T1} \varepsilon_{co} - |\Delta T (\alpha_s - \alpha_c)|$$
$$\varepsilon_a = f_{T1} \varepsilon_{ao} - |\Delta T (\alpha_s - \alpha_a)| \quad [4]$$

Onde: ε_{ao} = deformação axial admissível do laminado de reparo (sem defeitos de temperatura tabela 2) (mm/mm)

ε_{co} = deformação circunferencial admissível do laminado de reparo (sem defeitos de temperatura tabela 2) (mm/mm)

f_{T1} = fator de classificação de temperatura (tabela 1)

α_c = coeficiente de expansão térmica do laminado de reparo, sentido circunferencial (mm/mm°C)

α_a = coeficiente de expansão térmica do laminado de reparo, sentido axial (mm/mm°C)

α_s = coeficiente de expansão térmica do substrato (mm/mm°C)

ΔT = variação de temperatura (temperatura de projeto – temperatura de instalação)

Tabela 2: Fator de correção de temperatura, f_{T1}

Temperatura (°C)	Fator temperatura, f_{T1}
$T_d = T_m$	0,70
$T_d = T_m - 20$	0,75
$T_d = T_m - 40$	0,85
$T_d = T_m - 50$	0,95
$T_d = T_m - 60$	1,00

Fonte: ROHEM, 2010

Onde: T_d = temperatura de projeto (°C)

T_m = temperatura máxima de utilização do laminado de reparo (°C)

Tabela 3: Deformações admissíveis para o laminado de reparo em função da vida útil do reparo

Deformação admissível	Classe 1			Classe 2			Classe 3		
	2	10	20	2	10	20	2	10	20
Vida útil do reparo(anos)	2	10	20	2	10	20	2	10	20
Para $E_a > 0.5 E_c$									
- ϵ_{c0}	0,40%	0,32%	0,25%	0,35%	0,30%	0,25%	0,30%	0,27%	0,25%
- ϵ_{a0}	0,40%	0,32%	0,25%	0,35%	0,30%	0,25%	0,30%	0,27%	0,25%
Para $E_a < 0.5 E_c$									
- ϵ_{c0}									
- ϵ_{a0}	0,40%	0,32%	0,25%	0,35%	0,30%	0,25%	0,30%	0,27%	0,25%
	0,25%	0,16%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%

Fonte: ROHEM, 2010

Outra forma de se calcular a espessura do reparo é através da teoria da parede fina que é indicada caso o duto possua uma espessura de parede pelo menos dez vezes menor do que o seu raio interno, é possível analisar as tensões, deslocamentos e deformações de uma maneira bastante simples através de uma teoria que leva em conta esta particularidade geométrica. A teoria de parede simples é interessante, pois, além de ser muito mais simples, permite a aplicação direta de diferentes critérios oriundos da Mecânica da Fratura Linear Elástica e também a extensão imediata do estudo desenvolvido para além do regime elástico (CORTÊS, 2001).

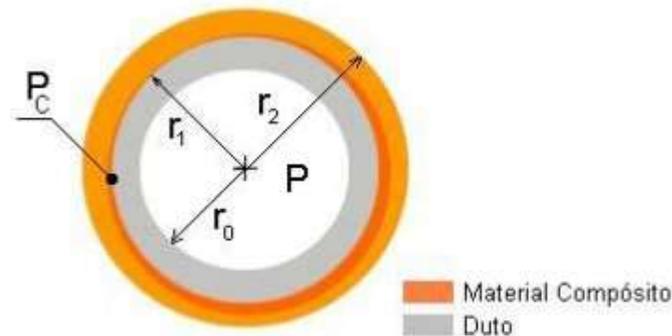


Figura 2: Representação da união duto/reparo

Neste caso, para o dimensionamento da espessura da luva para reforço estrutural também é necessário determinar qual deve a pressão de contato exercida no duto. Dada a pressão de operação e algum coeficiente de segurança determina-se qual deve ser a pressão de contato pela equação [5].

$$P_c = \frac{Pr_0 - \sigma_{m\acute{a}x}(r_1 - r_0)}{r_1} \quad [5]$$

Onde:

P_c = pressão de contato (MPa)

P = pressão interna de projeto (MPa)

r_0 = raio interno do duto (mm)

r_1 = raio externo do duto (mm)

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = tensão máxima admissível (MPa)

Para se calcular a pressão de contato é necessário que se estipule uma tensão máxima admissível, usando-se o critério de Tresca e um fator de concentração que envolve a geometria do defeito é encontrada a tensão máxima admissível do sistema, através da equação [6].

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{PD}{2eC} \quad [6]$$

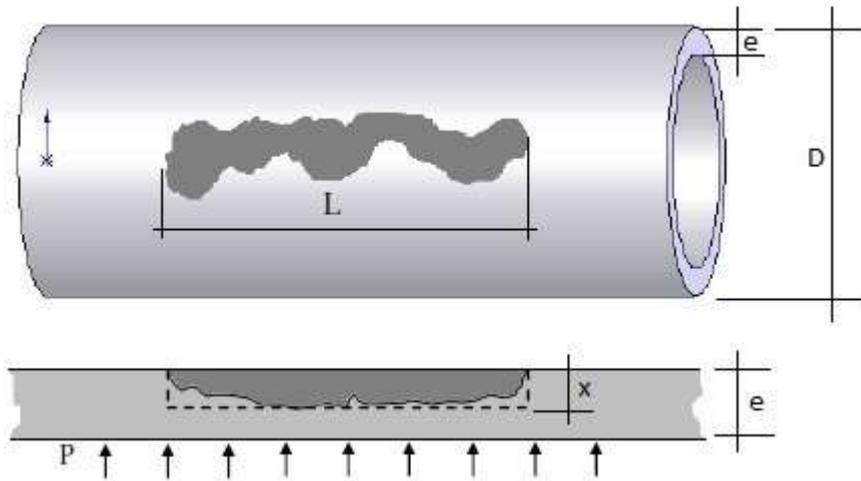


Figura 3 – Geometria do defeito

Fonte:

O parâmetro C é obtido da seguinte forma:

$$C = \left(\frac{1 - \frac{x}{e}}{1 - \frac{x}{eM}} \right) \quad [7]$$

Onde:

x = Profundidade máxima

e = Espessura do duto

M = Fator de dilatação

Fator de dilatação pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$M = \sqrt{1 + 0,31 \frac{L^2}{D \cdot e}} \quad [8]$$

Onde:

L: Comprimento do defeito

D: Diâmetro do duto

Fixado a pressão de operação no duto, a espessura do reparo é calculada através da seguinte equação

$$r_2 - r_1 = \frac{E \cdot P_c \cdot r_1 \cdot (r_1 - r_0)}{E_c \cdot (P \cdot r_0 - P_c \cdot r_1)} \quad [9]$$

4.0 ESTUDO DE CASO

O dimensionamento será realizado em uma tubulação, da plataforma petrolífera FPSO CAPIXABA, que tem com função transportar água do mar para refrigeração e que apresenta corrosão, e as seguintes dimensões foram encontradas no local do dano:

- Espessura remanescente encontrada: 3 mm
- Profundidade do alvéolo encontrado: 7 mm
- Espessura próxima do alvéolo: 10 mm
- Dimensão da região com espessura abaixo de 5 mm: 25x25 mm



Figura 6 - Defeito a ser reparado

A tubulação danificada apresenta as seguintes características:

- Diâmetro de 300mm
- Vão livre de 3m
- Pressão de operação 1962 kPa
- Pressão de projeto 5027 kPa
- Material API 5L Grau B
- Coeficiente de expansão térmica do substrato (α_s): $1,19 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

A pressão de projeto é 5,027 MPa, ou seja, conforme a tabela 1 trata-se de um reparo Classe 3. O reparo será dimensionado como um reforço estrutural com vida útil de 10 anos. Para realização do reparo foi escolhido o material compósito com reforço em fibra de vidro em uma matriz de epóxi. As vantagens mais relevantes apresentadas desse material

compósito são, sua resistência à corrosão química, seu baixo custo por peso ou volume, a multiplicidade de suas formas, as excelentes propriedades elétricas e a facilidade na sua produção (SOBRINHO, 2009).

ROHEM, em 2010, analisou esse tipo de compósito e obteve as seguintes propriedades:

- Coeficiente de Poisson (ν): 0,27
- Coeficiente de expansão térmica circunferencial (α_c): $11,6 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- Coeficiente de expansão térmica axial (α_a): $16,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- Módulo de Young circunferencial (E_c): 22,21 GPa
- Módulo de Young axial (E_a): 14,75 GPa

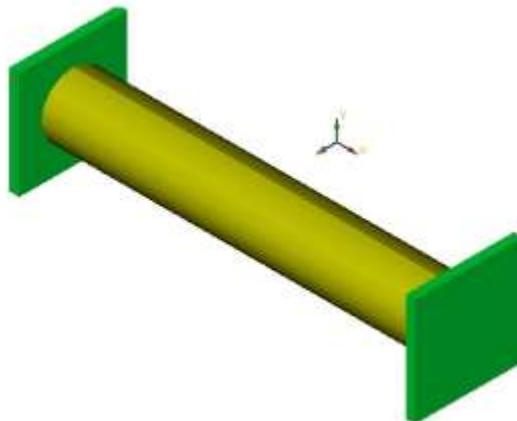


Figura 7 - Simulação do TRIFLEX

Para o cálculo da espessura se faz necessário o conhecimento das cargas atuantes no duto. Usando o programa TRIFLEX para cálculo de flexibilidade em tubulações, pode-se encontrar tais propriedades.

Momento axial (M_{ax}) = 0 N.mm

Momento torçor (M_{to}) = 479000 N.mm

Força axial (F_{ax}) = 476437 N

Força cisalhante (F_{sh}) = 1438 N

Devido a profundidade do defeito encontrado serão desconsiderados as contribuições mecânicas da tubulação para efeito de cálculo, ou seja, trata-se caso de um defeito tipo A sem substrato, utilizando as equações [1] e [2].

$$t_{min,c} = \frac{1}{\varepsilon_c} \left(\frac{P_{sq} D}{2E_c} - \frac{F_{sq} \nu}{\pi D E_c} \right)$$

$$t_{min,a} = \frac{1}{\varepsilon_a} \left(\frac{F_{sq}}{\pi D E_a} - \frac{P_{sq} D \nu}{2E_c} \right)$$

Realizando os cálculos os valores obtidos para espessura são:

$$t_{min,c} = 10,14 \text{ mm}$$

$$t_{min,a} = 24,22 \text{ mm}$$

Como determina a norma, o maior valor será o escolhido para a espessura do reparo, ou seja, 24,22 mm. Utilizando os mesmo dados do cálculo anterior, será feito o cálculo da espessura do reparo através da teoria de parede fina, que considera que ambas as superfícies devem ter o mesmo deslocamento radial, para fim de comparação. A espessura do compósito obedecerá a seguinte fórmula.

$$r_2 - r_1 = \frac{E_c \cdot P_c \cdot r_1 \cdot (r_1 - r_0)}{E_c \cdot (P_c \cdot r_0 - P_c \cdot r_1)}$$

Encontrando o seguinte valor para a espessura do reparo:

$$t = r_2 - r_1 = 57,24 \text{ mm}$$

A espessura para o reparo de compósito, foi de aproximadamente 57,24 mm, ultrapassando o valor obtido pela norma, porém segundo essa teoria, ao qual essa situação se encaixa, este é o valor necessário de espessura para que o compósito resista a as pressões.

CONCLUSÃO

A partir do defeito apresentado foi estabelecido o tipo de matriz e fibra que seria necessária para que o defeito fosse reparado e fosse prolongada a vida útil do duto. A matriz selecionada foi o epóxi, e a fibra selecionada foi a fibra de vidro. Também foi estabelecido um procedimento de quatro passos para aplicação do reparo.

Foi realizado o dimensionamento do reparo de matriz polimérica para a tubulação corroída através dos cálculos apresentados pela ISO/PDTS 24817 e foram obtidos os seguintes resultados:

- Espessura do reparo segundo a norma ISO 24817: 24,22 mm

Também foi calculado a espessura do reparo através da teoria da parede fina, teoria presente na dissertação de CÔRTEZ (2001), a espessura dimensionada foi de:

- Espessura do reparo segundo a Teoria da Parede Fina: 57,24 mm.

Comparando o resultado obtido pela ISO e o resultado obtido pela teoria da parede fina, observou-se uma grande diferença entre os dois resultados. Segundo a teoria da parede fina o dimensionamento da espessura do reparo realizado pela ISO seria insuficiente para que o defeito fosse devidamente corrigido o que levaria a um possível vazamento que poderia gerar danos.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, Jr., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CÔRTEZ, R. M. A. **Dimensionamento de Reforços em Dutos Metálicos com Compósitos de Matriz Polimérica**, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense UFF, Rio de Janeiro.

WATERMAN, P. J. The Life of Composite Materials. Disponível em: <<http://www.deskeng.com/de/the-life-of-composite-materials/>>. Acesso em 6 mai. 2015.

ANDRADE, M. S.; JUNIOR, R. B.; FREITAS, R. R.; Gerenciamento de Projetos na Industria Naval: os Riscos Presentes na Fase de Planejamento, Disponível em: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/15/industria-naval.html>. Acesso em 6 de Maio 2015.

DAHER, S. L. **Preparação e Caracterização de um Compósito de Matriz Metálica com Reforço Particulado Cerâmico a Base de Escória de Alto-Forno**, 2004. Monografia (Graduação em Engenharia Automotiva) – Universidade de Brasília UnB.

PERRUT, V. A. **Análise de reparo de tubos com defeito transpassante por meio de materiais compósitos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ROHEM, N. R. F. **Desenvolvimento de sistema de reparo de dutos e tubulações industriais utilizando materiais compósitos de matriz polimérica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2010.

FUJIYAMA, R. T.; SOUSA, A. N.; BASTIAN, F. L. **Uso de materiais compósitos em reparos de dutos de aço**. 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS. 2003.

ALBERNAZ, R. J. L. **Análise de reparo metálico colado em dutos de mossas**. 2006. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Dias, J. S.; Grion, J. C.; Lima, L. O.; Soares, N. F.; Viera, R. D. - **Análise do desempenho de um Reparo em duto corroído Utilizando Multicamadas Metálicas coladas**. Projeto Final de Curso, CEFET-RJ.

NETO, L. B. – **Análise Numérica De Dutos Sujeitos a Flambagem, 2009**, Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná UFP, Paraná.

NASCIMENTO, A. G. – **Estudo Comparativo da Resistência à Fadiga do Aço API 5L Grau B Submetido a Tratamento Criogênico, 2013**, Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Distrito Federal.

JUNIOR, R. L. – **Estimativa da Pressão de Falha de Tubulações Corroídas Reparadas com Compósitos, 2014**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense UFF, Rio de Janeiro.

RAMOS, R. R. F. – **Desenvolvimento de compósito de Polipropileno (PP) com Sabugo de Milho (SM) Proveniente de Resíduos Agrícolas, 2013**, Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba.

GONÇALVES, V. P. – **Avaliação do Comportamento Mecânico de Tubos Compósitos Fabricados por Enrolamento Filamentar Submetidos a Pressão Interna, 2012**, Monografia (Bacharel em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro.

LUZ S. M. da.; GONÇALVES, A. R.; JUNIOR, A. P. D. Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Polipropileno Reforçado com Celulose de Bagaço e Palha de Cana. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762006000200004&script=sci_arttext. Acesso em 09 de Nov. de 2015.