

ANÁLISE NUMÉRICA DE TUBOS DE AÇO REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO

Flávio Silvestre de Alencar¹

Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Faculdade de Tecnologia, ENM-Dept. Eng. Mecânica, Bloco C, Asa Norte, Brasília – DF. CEP: 70910-900
f.s.alencar@gmail.com

Jorge Luiz de Almeida Ferreira

Universidade de Brasília
jorge@unb.br

Flaminio Levy Neto

Universidade de Brasília
flaminio@unb.br

Resumo: *Devido ao alto custo, dentre outros fatores, é inviável a utilização de aços inoxidáveis, principalmente os austeníticos, em redes de dutos, bem como em muitos tipos de tubulações industriais. Infelizmente, dependendo das condições ambientais, tubulações podem sofrer desgastes e corrosões, devido à oxidação por parte de um excesso de umidade ou devido aos efeitos nocivos da maresia. Neste contexto, essas tubulações necessitam de inspeções e reparos periódicos. O Objetivo deste trabalho é estudar e analisar o comportamento mecânico de tubulações que sofreram um desgaste e em seguida foram reparadas com material plástico reforçado com fibras (MPRF), em especial fibras de carbono, de forma a verificar a eficiência do reparo. Serão conduzidas análises numéricas das deformações dos dutos reparados. Tais análises levam em consideração as tensões de membrana, além de considerar as propriedades ortotrópicas do MPRF. Serão analisados numericamente tubos de aço ABNT 1020 com comprimento $L = 400$ mm, diâmetro nominal $D = 80$ mm e espessura de parede $t = 2$ mm em três situações distintas: (i) corpos de prova (cdps) que consistem de cilindros de parede fina ($D/t \geq 20$) íntegros (i.e. com espessura uniforme); (ii) cdps tais quais os do item (i), porém com um trecho desbastado (de comprimento $t_d = 100$ mm) na região central (i.e. equidistante das extremidades); e (iii) reparados circunferencialmente com resina epóxi e fibras de carbono. As simulações numéricas serão feitas em softwares baseados no método dos elementos finitos, como o ANSYS e o COMPSHELL, onde os resultados numéricos serão comparados.*

Palavras-chave: Análise numérica; Rede de Dutos; Reparo de Tubulações.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as tubulações têm-se destacado como a melhor opção para o transporte de fluidos e gases, tanto pela sua versatilidade, como pelo seu baixo custo, em todos os ramos industriais, em especial as indústrias aeroespacial, naval, petrolífera e civil. Contudo, dependendo de como as tubulações são utilizadas, ou expostas, estas podem sofrer danos (corrosões, erosões internas ou externas, amassamentos, etc.). Nestes casos, muitas vezes opta-se pela substituição por uma nova tubulação e isso, via de regra, acarreta em prejuízos econômicos, pois há a interrupção do escoamento para fazer-se a troca.

Conforme (Maia, 2003), a utilização de materiais compósitos para o reparo de tubulações tem sido amplamente utilizada, pois esse tipo de reparo proporciona grandes vantagens como: o reparo pode ser efetuado com uma mínima ou sem nenhuma redução do escoamento; menores

¹ Autor para contato.

custos se forem levados em conta às substituições das tubulações e a não interrupção do escoamento; e o reparo é feito de forma rápida e eficiente.

Este trabalho estudará o comportamento de tubulações que foram desbastadas e reparadas externamente, sendo o reparo de carbono/epóxi. Para a determinação da espessura que melhor recupera a rigidez da tubulação reparada serão analisadas oito espessuras de reparo, assim variar-se-á a espessura de reparo de 1 a 8 mm para a determinação da espessura ótima.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como dito anteriormente, as simulações numéricas serão realizadas em dois programas de elementos finitos, COMPSHELL e ANSYS para os três tipos de tubos (íntegro, desbastado e reparado com carbono/epóxi) com as seguintes dimensões: Comprimento $L = 400$ mm; diâmetro nominal $D = 80$ mm, espessura da parede do tubo $t = 2$ mm; espessura do desbaste igual a 0,5 mm, comprimento do desbaste $t_d = 100$ mm e comprimento do reparo igual a 200 mm. Segue abaixo na Fig. (1) o desenho com as dimensões do tubo reparo com carbono/epóxi.

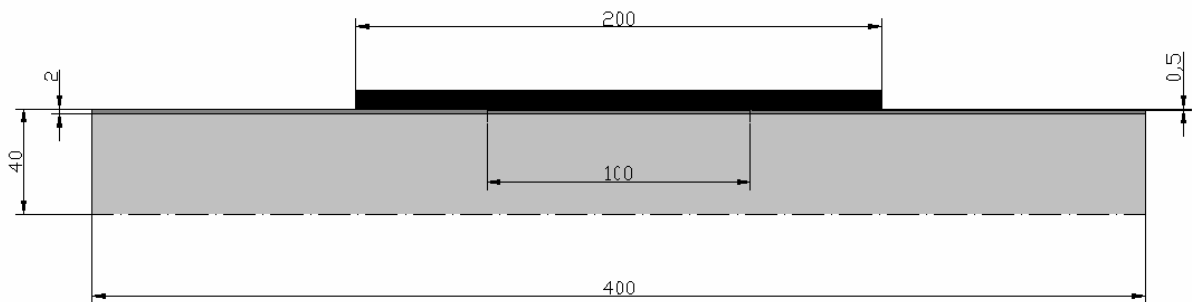


Figura 1 – Tubo Reparado com carbono/epóxi.

As simulações numéricas serão efetuadas segundo o seguinte procedimento: (i) primeiramente serão feitas simulações no COMPSHELL de forma que se possa obter a pressão de falha dos três tipos de dutos, considerando que estes são bi-engastados e para o tubo reparado variar-se-á as espessuras de reparo de 1 a 8 mm; (ii) Para o tubo reparado, utilizar-se-á uma pressão fixa de 10 MPa e será feita uma análise dos deslocamentos radiais de forma e se obter a espessura que melhor recupera a rigidez do tubo; (iii) com os valores das pressões de falha serão feitas simulações no ANSYS de forma que se possam comparar os deslocamentos radiais com os obtidos no COMPSHELL.

2.1 – Análise Numérica no Compshell

Além das simulações para os três tipos de tubos, no COMPSHELL será incluído mais um tipo de tubo: tubo “modificado”. Para evitar que resultantes de momentos fletores próximos aos engastamentos interfiram nos resultados de falha do duto, será feita uma “modificação mecânica” nos segmentos próximos dos engastamentos. Estas “modificações” são os aumentos dos valores das resistências à tração e escoamento do material do duto de forma a garantir que este não falhe no engastamento e com uma pressão inferior. Assim, para a região próxima aos engastamentos será aumentando em dez vezes o valor das resistências à tração e escoamento do tubo de aço.

Na simulação do tubo reparado com resina epóxi e fibra de carbono, será utilizado um tecido balanceado de fibra de carbono com 50% de volume de fibra e com espessura de 0,25 mm, sendo que as espessuras de reparo variarão de 1 a 8 mm. Segue abaixo, as Tabelas (1), (2) e (3) com as propriedades mecânicas dos materiais utilizados nas simulações numéricas:

Tabela 1 - Propriedades do aço ABNT 1020.

Propriedades Mecânicas	Valor
Resistência à Tração, MPa	400
Resistência ao Escoamento, MPa	200
Módulo de Elasticidade, GPa	200
Coefficiente de Poisson	0,29
Modulo de Cisalhamento, GPa	80

Tabela 2 - Propriedades do aço ABNT 1020 "modificado".

Propriedades Mecânicas	Valor
Resistência à Tração, MPa	4000
Resistência ao Escoamento, MPa	2000
Módulo de Elasticidade, GPa	200
Coefficiente de Poisson	0,29
Modulo de Cisalhamento, GPa	80

Tabela 3 - Propriedades do tecido balanceado de carbono/epóxi.

Propriedades Mecânicas	Valor
Módulo de Elasticidade Longitudinal, GPa	70
Módulo de Elasticidade Transversal, GPa	70
Módulo de Cisalhamento no plano, GPa	5
Coefficiente de Poisson	0.10
Resistência à Tração Longitudinal, MPa	600
Resistência à Compressão Longitudinal, MPa	570
Resistência à Tração Transversal, MPa	600
Resistência à Compressão Transversal, MPa	570
Modulo de Cisalhamento, GPa	90

No tubo desbastado, o desbaste terá um comprimento de 100 mm e a profundidade do desbaste será de 25% do valor da espessura do tubo (2 mm), desta forma, na região do desbaste, o tubo apresentará uma espessura de 1,5 mm.

A seqüência abaixo, resume a criação dos modelos no COMPSHELL:

- Escolha do tipo de análise (estática ou estabilidade);
- Escolha do número de segmentos;
- Definição do raio do cilindro;
- Definição das coordenadas radiais e axiais, iniciais e finais de cada segmento;
- Definição do número de camadas de cada segmento;
- Definição da espessura e propriedade da cada camada;
- Aplicação do carregamento e incrementos;
- Aplicação das condições de contorno;

- Processamento, e
- Visualização dos resultados.

2.2 – Análise Numérica no ANSYS

Com os valores das pressões de falha obtidos no COMPSHELL pode-se fazer a análise dos tubos no ANSYS. O elemento utilizado foi o Shell93, sendo este elemento específico para cascas curvas. Este elemento possui seis graus de liberdade por nó, sendo três de translação nos eixos (x,y,z) e três de rotação também com relação aos eixos (x,y,z). A Fig. (2) abaixo ilustra o elemento shell93.

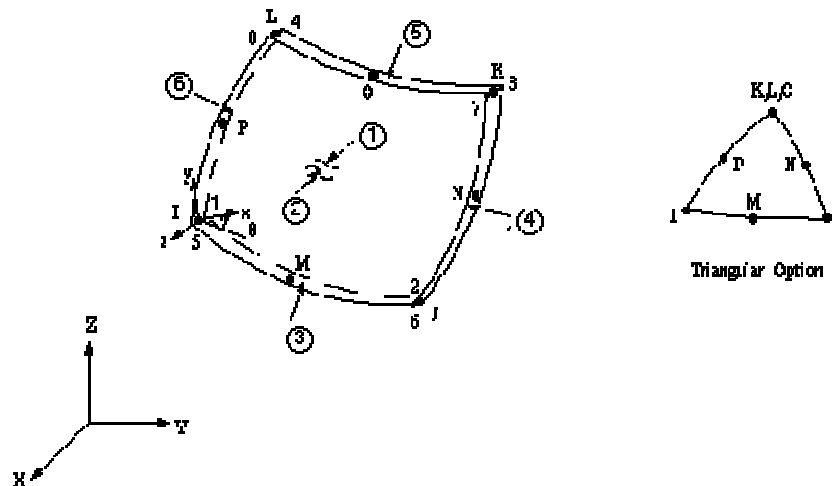


Figura 2 - Elemento shell 93.

Com o elemento definido, juntamente com as pressões de falha, iniciou-se a criação do volume do tubo e assim obter os valores dos deslocamentos radiais para que se possa compará-los com os deslocamentos radiais obtidos no Compshell.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

Para a obtenção das pressões de falha, no programa COMPSHELL foi utilizado o critério de falha de Tsai-Hill (TSAI, 1986), onde além de determinar as pressões de falha dos tubos, este programa determina a localização e a camada da ruptura do duto. As Tabelas (4) e (5) mostram os resultados das pressões de falha, localização/camada de ruptura e deslocamento radial, em mm, na posição mediana (200 mm) dos tubos em questão.

Tabela 4 – Pressão, localização e deslocamento radial de falha.

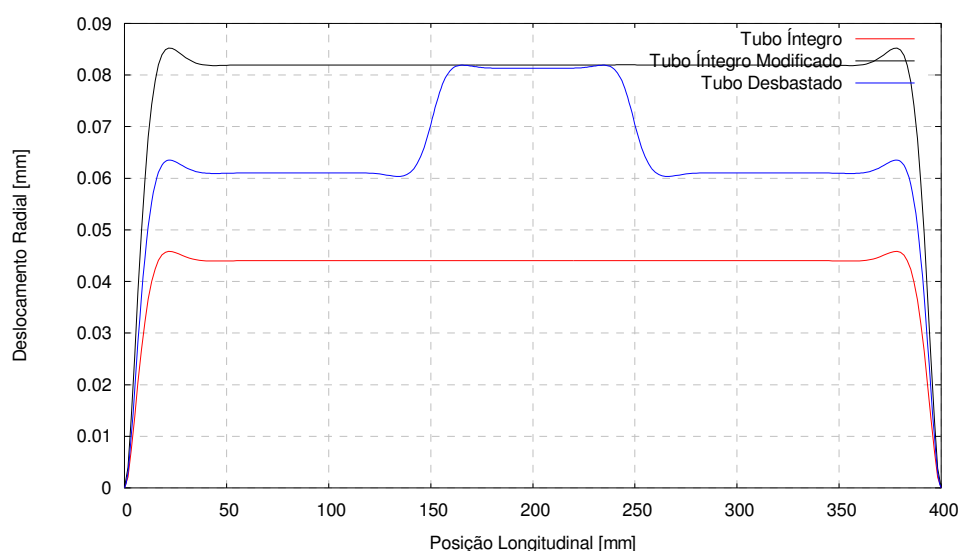
Tipo de Tubulação	Pressão de Ruptura (MPa)	Local(mm)	Deslocamento Radial (mm)
Tubo Íntegro	11,79	0,0 - 1ª Camada	0,04402
Tubo Íntegro “Modificado”	22,49	288,0 - 1ª Camada	0,08195
Tubo Desbastado	16,75	285,7 - 1ª Camada	0,08132

Analisando a Tab. (4) percebe-se que o tubo íntegro modificado apresenta uma pressão de falha superior ao do tubo íntegro. Como pode ser observada, a localização da falha do tubo íntegro ocorre na posição 0,0 mm, isto é, no engastamento; desta forma a modificação das propriedades mecânicas é justificada, pois se pode fazer uma análise do comportamento do tubo sem a influência das resultantes de momentos fletores próximas ao engastamento.

Tabela 5 - Pressão, localização e deslocamento radial de falha para o reparo de carbono/epóxi.

Tipo de Tubulação	Pressão de Ruptura (MPa)	Local (mm)	Deslocamento Radial (mm)
Espessura = 1 mm	22	90 - 1ª Camada	0,08019
Espessura = 2 mm	21,91	87,5 - 1ª Camada	0,06859
Espessura = 3 mm	21,93	87,5 - 1ª Camada	0,0602
Espessura = 4 mm	21,94	85,0 - 1ª Camada	0,05363
Espessura = 5 mm	21,93	317,5 - 1ª Camada	0,04831
Espessura = 6 mm	21,9	320,0 - 1ª Camada	0,04394
Espessura = 7 mm	21,87	320,0 - 1ª Camada	0,04029
Espessura = 8 mm	21,83	320,0 - 1ª Camada	0,03719

Analisando a Tab. (5), verifica-se que a pressão de falha apresenta seu valor máximo para uma espessura de reparo de 1 mm e à medida que se aumenta a espessura há uma diminuição da pressão de falha e também do deslocamento radial, caracterizando um estrangulamento do tubo. Com o aumento da espessura há um aumento da rigidez do reparo, fazendo com que a pressão e o deslocamento radial diminuam como verificados na Fig. (4).

**Figura 3 - Deslocamento radial.**

A Figura (3) ilustra os deslocamentos radiais (na falha) dos tubos íntegro, íntegro modificado e desbastado para as suas respectivas pressões de falha. Como pode ser observado, o deslocamento radial do tubo íntegro “modificado” é maior que os demais tubos em virtude do aumento das propriedades mecânicas na região próxima dos engastamentos. Em relação ao tubo desbastado, percebe-se um estufamento na região do desbaste, isto em virtude da diminuição do valor da espessura nesta região.

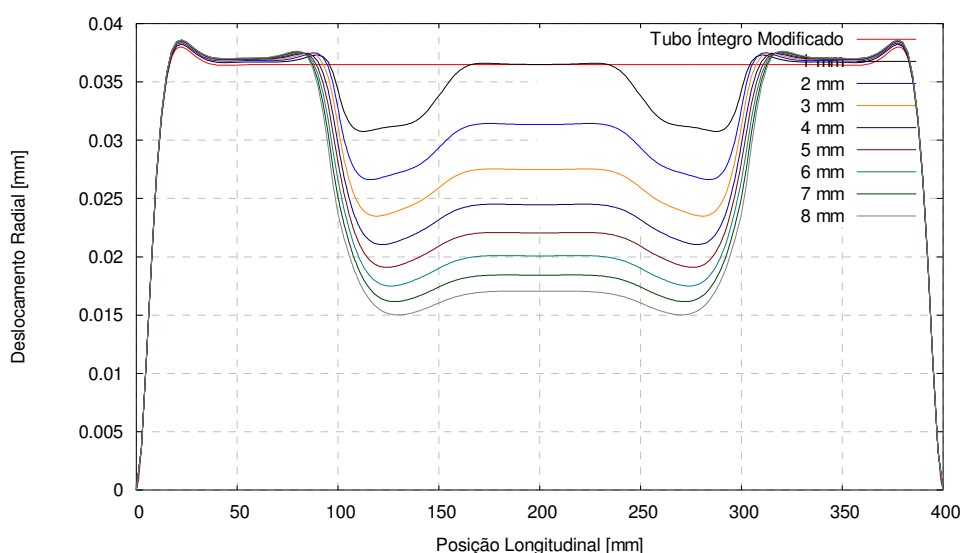


Figura 4 - Deslocamento radial do reparo de carbono/epóxi para uma pressão de 10 MPa.

A Figura (4) mostra os valores dos deslocamentos radiais para as espessuras de 1 a 8 mm de reparo a uma pressão fixa de 10 MPa, e a sua comparação com o deslocamento radial do tubo íntegro “modificado” na respectiva pressão. A espessura de 1 mm é a que melhor recupera a rigidez da tubulação como pode ser observado a sua proximidade com o deslocamento radial do tubo íntegro “modificado”.

As Tabelas (6) e (7) mostram os valores obtidos no ANSYS a partir das pressões de falha do COMPSHELL e a diferença dos resultados.

Tabela 6 - Deslocamento radial conforme tabela 5.

Tubulação Bi-Engastada	ANSYS	COMPSHELL	Dif. (%)
	Deslocamento Radial (mm)	Deslocamento Radial (mm)	
Tubo Íntegro	0,04304	0,04402	-2,28
Tubo Íntegro Modificado	0,08211	0,08195	0,19
Tubo Desbastado	0,08166	0,08132	0,42

Tabela 7 - Deslocamento radial para o reparo de carbono/epóxi na posição 200 mm.

Tubulação Bi-Engastado	ANSYS	COMPSHELL	Dif. (%)
	Deslocamento Radial (mm)	Deslocamento Radial (mm)	
Espessura = 1 mm	0,08680	0,08019	7,62
Espessura = 2 mm	0,07275	0,06859	5,72
Espessura = 3 mm	0,06276	0,06020	4,08
Espessura = 4 mm	0,05510	0,05363	2,67
Espessura = 5 mm	0,04891	0,04831	1,23
Espessura = 6 mm	0,04392	0,04394	-0,05
Espessura = 7 mm	0,03982	0,04029	-1,18
Espessura = 8 mm	0,03638	0,03719	-2,23

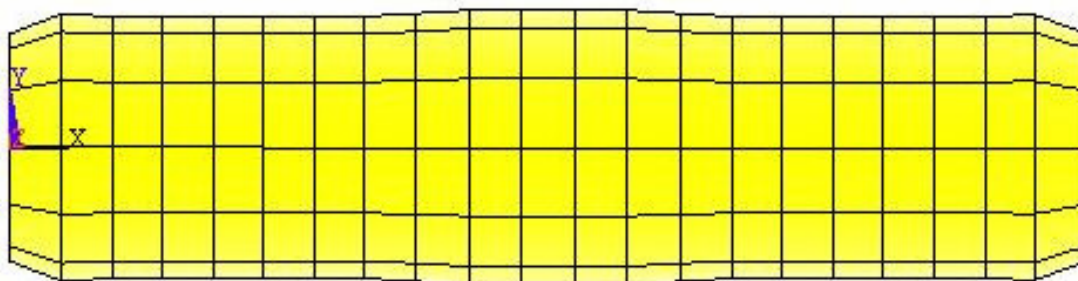


Figura 5 - Tubo desbastado "estufado" no ANSYS.

As Tabelas (6) e (7) mostram os resultados obtidos no ANSYS. Verifica-se que os valores dos deslocamentos radiais para os tubos íntegro, íntegro modificado e desbastado são muito próximos aos obtidos pelo COMPSHELL. Para os tubos com reparo, percebe-se que com o aumento da espessura, os valores das diferenças dos resultados tendem a diminuir, contudo mesmo para um valor de 7,62 % de diferença de resultados (espessura de reparo de 1 mm), este não é muito relevante já que os deslocamentos radiais envolvidos são da ordem de centésimos de milímetro.

4. CONCLUSÕES

Pela Fig. (4), a uma pressão de 10 MPa, o deslocamento radial do tubo com 1 mm de reparo se aproxima do deslocamento radial do tubo íntegro modificado. Além do deslocamento radial, a pressão de ruptura para essa espessura de reparo (22,0 MPa) se aproxima da pressão de falha do tubo íntegro modificado (22,49 MPa). Assim, para essas condições, a espessura de reparo que melhor recupera a rigidez do tubo é a de 1 mm.

Para espessuras de reparo com valores superiores a 1 mm, há uma tendência de queda na pressão de falha prevista pelo critério de Tsai Hill. Ainda que esta tendência de diminuição da pressão de falha seja pequena, adicionalmente, ocorre estrangulamento no trecho reparado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – ELETRONORTE pelo suporte e dados técnicos dados a esse projeto.

6. REFERÊNCIAS

ALENCAR, F. S., 2006, “Análise Numérica de Tubos Reparados com Material Compósito”. (Projeto de Graduação) – Universidade de Brasília – Faculdade de tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília.

FERREIRA, J. L. A.; LEVY NETO, F.; MAIA, G. C., 2003, “Stress Analysis of Internally Pressurized Aluminum Cylinders Repaired with Carbon/Epoxy Hoop Stripes”. In: 7ª COTEQ - CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 2003, Florianópolis. Anais da 7ª COTEQ - CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS. p. 1-10.

LEVY NETO, F., 1983, “Estudo de falha ao impacto de uma Estrutura de Material Conjugado Usada em Aeronaves”. Dissertação (mestrado) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica – Departamento de Engenharia Mecânica, São José dos Campos – SP.

LEVY NETO, F., 1991, “The Behavior of Externally Pressurized Composite Domes”, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Liverpool.

MAIA, G.C., 2003, “Comportamento elástico de cilindros com e sem reparo circunferencial de carbono/epóxi”. Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília.

SILVA, R., ALENCAR, F. S., LEVY NETO, F., 2005, “Bending Moment Distribution of Internally Pressurized Repaired Pipes”. Proceedings of the 18th International Congress of Mechanical Engineering, Vol. 1, Ouro Preto – Minas Gerais, Brazil, 284 p.

TSAI, S. W., 1986, “Composites Designs”, Think Composites, Third Edition.

VAN VLACK, L. H., 1984, “Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais”, Tradução de Edson Monteiro – Rio de Janeiro, Editora Campus.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

NUMERICAL ANALYZES OF STEEL PIPES REINFORCED BY CARBON FIBERS

Flávio Silvestre de Alencar¹

Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, faculdade de Tecnologia, ENM-Dept. Eng. Mecânica, Bloco C, Asa Norte, Brasília – DF. CEP: 70910-900
f.s.alencar@gmail.com

Jorge Luiz de Almeida Ferreira

Universidade de Brasília
jorge@unb.br

Flaminio Levy Neto

Universidade de Brasília
flaminio@unb.br

Abstract: *Due to the high costs and another factors, it is not feasible the utilization of stainless steel, mainly the austenics ones in pipelines as many others industrials pipes. Unfortunately, the ambient conditions can cause damage in pipes like a corrosion because the excess of humidity or the effects of the sea. Then, the pipelines need to be inspected and repaired periodically. The main objective of this work is to analyze the mechanical behavior of pipes which were repaired with plastic material reinforced by fibers (PMRF), in special carbon fibers. It was be done numerical analyzes of stress and deformation of repaired pipes. These analyzes consider the membrane stress and the stress produced by bending moment, beyond the orthotropic proprieties of PMRF. The numerical analyzes will be of ABNT 1020 steel with $L = 400$ mm of length, nominal*

diameter $D = 80$ and thickness $t = 2$ mm in three distinct situations: (i) entire pipes of thin thickness ($D/t \geq 20$); (ii) machined pipes of item (i) with machine length $t_d = 100$ mm in the central region of pipe; (iii) circumferential repaired pipes with carbon/epoxy and the length of repair $L_r = 200$ mm. The numerical simulation will be done in element finite method software like ANSYS and COMPSHELL.

Keywords: *Numerical Analyses; Pipelines; Repair of Pipes.*