

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

ANÁLISE DA CARÇAÇA INTERTRAVADA DE UM TUBO FLEXÍVEL SOB CARREGAMENTOS EXTERNOS

Elias Rocha Gonçalves Júnior, Virgínia Siqueira Gonçalves

Universidade Candido Mendes (UCAM)

Rua Anita Peçanha, 100 - Pq. São Caetano - Campos dos Goytacazes, RJ - CEP: 28030-335

eliasrgjunior1@gmail.com, virginiasiqueiragoncalves@gmail.com

RESUMO: As carcaças intertravadas são estruturas fundamentais para o desenvolvimento da indústria do petróleo e são utilizadas em tubos flexíveis. Os flexíveis são tubos aplicados em estruturas submarinas para o deslocamento de fluidos e/ou instrumentalizar sistemas em plataformas. Neste trabalho, foram desenvolvidas análises da carcaça de um tubo flexível de 4 polegadas sob carregamentos externos de tração utilizando o método de elementos finitos. As simulações foram realizadas pelo software Autodesk Inventor®, versão estudantil 2015. Através do monitoramento dos carregamentos de tração, pode-se assim determinar suas propriedades mecânicas, a fim de minimizar a possibilidade de ocorrência de falhas, aumentar a vida útil e otimizar a confiabilidade operacional. Para realizar a análise da carcaça, foi utilizado um perfil próprio de 48 x 1,2 mm e o aço inoxidável AISI 304 como material de teste. A partir da análise realizada, pode-se afirmar que o perfil selecionado teve comportamento equivalente ao esperado, uma vez que a face que estava engastada deveria ser o ponto com menor e a face tracionada o de maior tensão. Além disso, verificou-se que a tensão máxima exercida no aço AISI 304 em teste é aproximadamente igual ao valor, deste mesmo material, de tensão máxima teórica.

Palavras-Chave: Carcaça intertravada, Carregamentos externos, Tubos flexíveis

ABSTRACT: Interlocked carcasses are essential structures for the development of the petroleum industry and are used in flexible hoses. The flexible are tubes applied in underwater structures for the displacement of fluids and / or instrumentalize systems on platforms. In this work, analyzes of the carcass of a 4-inch flexible tube under external traction loads were developed using the finite element method. The simulations were carried out using Autodesk Inventor® software, student version 2015. Through the monitoring of traction loads, it is possible to determine its mechanical properties in order to minimize the possibility of occurrence of failures, increase the useful life and optimize the reliability Operational. To perform the analysis of the carcass, a 48 x 1,2 mm profile and AISI 304 stainless steel were used as test material. From the analysis performed, it can be affirmed that the selected profile had behavior equivalent to that expected, since the face that was embedded should be the point with smaller and the traction face with the higher tension. Furthermore, it has been found that the maximum stress exerted on the test AISI 304 steel is approximately equal to the value of the theoretical maximum stress of the same material.

Keywords: Interlocked Carcass, External loads, Flexible pipelines

INTRODUÇÃO

Sabe-se que com toda a expansão ocorrida no mercado do petróleo, o aumento da exploração, produção e exportação foi bem visível nas últimas décadas. No Brasil, há uma das maiores petrolíferas do mundo, a Petróleo Brasileiro S/A, mais conhecida como PETROBRAS (WAGNER DE CERQUEIRA E FRANCISCO, 2016). A partir disso, tornou-se necessário que novos estudos fossem realizados para o desenvolvimento de novas tecnologias, transporte de fluido e gases, o que levou a uma evolução relevante na forma de obter o óleo. Assim, as empresas offshore começaram a fazer uso dos tubos flexíveis, com camadas concêntricas plásticas e metálicas. A característica que confere ao tubo essa flexibilidade é a carcaça, camada mais interna do duto, que, por ser intertravada, possibilita certo movimento (PORTAL PETROBRAS, 2016).

Nas empresas petrolíferas, são encontrados dois tipos de tubos, rígidos e flexíveis, sendo estes utilizados para o transporte de vários tipos de fluido como petróleo, água de injeção e gases utilizados para gaslift ou injeção, e produtos químicos, geralmente trabalhando em condições severas e altas pressões.

Os flexíveis possuem alto custo de fabricação, sendo utilizados em grandes lâminas d'água, tanto no pré-sal, como no pós-sal, em lâminas pequenas como na exploração terrestre do petróleo, também denominada onshore. A capacidade



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

de carga é derivada de sua flexibilidade e, nesse caso, necessitam do apoio do solo e resistem a cargas de menor valor. Estes são classificados como: risers e flowlines. Os risers são dutos utilizados para aplicações de caráter dinâmico e aqueles utilizados para aplicações estáticas são denominados flowlines (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBO DE CONCRETO, 2016).

As duas classificações apresentam estruturas tubulares, formadas por sobreposição de camadas metálicas, utilizadas para equilíbrio estrutural, suportar os esforços internos do fluido transportado e também carregamentos externos como pressão hidrostática e correnteza marítima, além de possuir camadas poliméricas que tem a função impermeabilizante (BICUDO, 2009).

Para a prevenção do colapso do tubo causado pelas camadas helicoidais quando submetidos a esforços externos, utilizamos a carcaça intertravada. Esta tem por funções sustentar as cargas radiais, resistir aos esforços de compressão diametral e a pressões externas. Geralmente, é composta de aços inoxidáveis do tipo ANSI 316L ou 304L (AK STEEL, 316/316L Stainless Steel; 304/304L Stainless Steel).

Como o objetivo do trabalho é analisar o comportamento estrutural da carcaça intertravada de um tubo flexível de 4 polegadas sob carregamentos externos de tração, vale fazer uma sucinta explicação sobre os tipos de esforço citados anteriormente. “1. Tração é o ato ou efeito de puxar, arrastar e movimentar”; “2. Ação de uma força que desloca o objeto móvel por meio de corda ou algo mais intermediário.” (FERREIRA, 1999).

Neste trabalho, os ensaios mecânicos não foram empregados, sendo análise numérica qualitativa dos esforços feita através do método de elementos finitos, utilizando-se do software Autodesk Inventor® 2015, versão estudantil.

JUSTIFICATIVA

A partir de um significativo número de estudos, observou-se a viabilização do uso de tubos flexíveis, considerada uma das formas mais seguras de produzir petróleo. Por isso, é importante aprofundar os conhecimentos sobre estes, pois suas falhas podem causar vazamento de fluido, imobilização de sistemas de operação, atraso de produção e danos ao meio-ambiente.

A mesma linha de pensamento se aplica no caso da carcaça intertravada, sua camada mais interna, pois é necessário conhecer seus aspectos e características, a fim de determinar suas propriedades mecânicas e observar seu comportamento quando exposta a carregamentos externos, a fim de minimizar a possibilidade de ocorrência de falhas.

Motivados pela inserção de um dos autores no corpo de funcionários de uma empresa produtora de tubos flexíveis, surgiu o interesse de se aprofundar o estudo do comportamento estrutural da carcaça intertravada, já que não há uma literatura considerável sobre o assunto.

REFERENCIAL TEÓRICO

Tubo flexível

O tubo flexível foi inicialmente proposto pelo Instituto Francês de Petróleo (IFP) em 1960 e foi comercializado em 1972 (MACHADO, Z. L.; DUMAY, J. M., 1980).

Em 1977, o campo de Garoupa, na Bacia de Campos, teve seus primeiros tubos flexíveis instalados. Segundo Carneval e Marinho (2006), aproximadamente 80% da produção atual de petróleo e gás brasileiros se dá pelo uso dos tubos flexíveis. Há cerca de 1200 flexíveis em operação e uma malha de quase 5.300 km se conectam as variadas estruturas de produção, como por exemplo, plataformas e boias.

Os flexíveis, são tubos aplicados em estruturas submarinas para o deslocamento de fluidos e/ou instrumentalizar sistemas em plataformas. Witz (1996) afirma:

“São estruturas complexas com múltiplas camadas que utilizam armaduras helicoidais de fios ou fitas, combinadas com camadas concêntricas de polímeros, têxteis, fitas adesivas e lubrificantes para produção de uma estrutura compatível, capaz de suportar consideráveis cargas estruturais, bem como as pressões internas e externas. O número e o tipo de camadas de componentes dependem dos requisitos de concepção específica.”.

A estrutura do flexível tende a variar conforme o fabricante, o local de sua aplicação, a tecnologia adotada em sua fabricação, a especificação do fluido e a profundidade da lâmina d'água. Mas, fundamentalmente, é composta por camadas de aço que são enroladas helicoidalmente e de camadas homogêneas de termoplásticos com diferentes geometrias e materiais (RIZZO, 2010).

Conforme a sua fabricação, são classificados em não aderentes (unbonded) ou aderentes (bonded):

o Aderentes: Camadas ligadas através de adesivo ou pela aplicação simultânea de pressão e calor, tendo como resultado uma estrutura única;

o Não aderentes: Camadas independentes, deslizamentos podem ocorrer (RIZZO, 2010).

Quanto à aplicação, o flexível pode ser denominado de:

Risers

Os risers podem ser identificados como tubos de longos comprimentos constituídos de diferentes camadas que permitem o transporte do petróleo em águas ultra profundas, também interligam a unidade produtora e exploradora ao flowline. Podem ser rígidos ou flexíveis, sendo que estes possuem variadas aplicações voltadas para o campo da engenharia offshore, segundo a norma API RP 17B (2002) são classificadas em:

- o Produção – petróleo, gás, condensados e água;
- o Injeção – água, gás e produtos químicos para o poço;
- o Exportação – petróleo semi-processado e gás;
- o Serviços – produtos químicos de topo de poço e fluidos de controle.

Conforme a sua fabricação, são classificadas em não aderentes (unbonded) ou aderentes (bonded):

- o Riser Bonded: Com adesivo entre as camadas para reforçar a matriz polimérica;
- o Riser Unbonded: Sem adesivo entre as camadas.

Flowlines

Os flowlines, assim como os risers, são formados por seções transversais compostos por camadas variadas, apresentando funções específicas. É caracterizado pelo seu assentamento no leito marinho após sua instalação, aplicados em serviços estáticos de interligação de equipamentos marinhos. A organização de suas camadas difere dos risers, não possuem camadas antidesgaste já que somente haverá movimento relativo em sua instalação e a disposição de algumas camadas poliméricas (SANTOS, 2011).

Características estruturais e mecânicas

Como Lopes (2013) afirma, os flexíveis são estruturados por camadas concêntricas. Assim, é esperado que as seguintes propriedades sejam alcançadas:

- o Elevada resistência à tração;
- o Baixa rigidez à flexão, permitindo o bobinamento e armazenamento;
- o Elevada rigidez axial;
- o Capacidade de resistir e ter seu peso próprio suportado durante o lançamento;
- o Capacidade de acomodar os movimentos naturais aos processos de instalação e operação;
- o Resistência à pressão interna e externa e a possíveis esforços de sua despressurização rápida;
- o Estrutura esbelta.

Camadas típicas de um tubo flexível

A estrutura dos tubos flexíveis é complexa e de camadas variadas em função das condições de operação para as quais serão aplicadas, com características, finalidades e funcionalidades especificadas para cada camada.

Segundo Pagotto (2013), as camadas de um tubo flexível são as seguintes:

- o Camada de isolamento térmico;
- o Capa externa;
- o Armadura de tração;
- o Camada anti-desgaste;
- o Armadura de pressão;
- o Camada plástica interna;
- o Carcaça intertravada.

Carcaça intertravada

Como este trabalho tem como finalidade analisar o comportamento estrutural da mesma sob esforços externos, faz-se necessário um conhecimento mais pertinente do seu processo de fabricação, materiais mais utilizados, conformação das fitas, entre outras características.

Seu processo de fabricação é dado por sucessivas conformações e soldagens. Para iniciar o processo, utiliza-se uma “fita” de aço inoxidável duplex que é conformada e enrolada em hélice em torno de um mandril, que é responsável por intertravar cada seção possibilitando a armação dessa “espiral”. Como o processo de “espiralagem” é contínuo, as fitas de aço vão sendo soldadas umas às outras até a obtenção da extensão pretendida em formatação em “S” para um encaixe sequencial (PEREIRA *et al.*, 2014).

Com isso, as juntas devem exibir boas características mecânicas em função da severidade da conformação. Então, se concretiza dessa forma o que se conhece como carcaça intertravada (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Segundo Pagotto (2013), a carcaça intertravada é utilizada pela capacidade de prevenir o colapso do tubo quando submetido à pressão externa e suporta também a camada plástica interna.

Com o aumento da agressividade do fluido interno, o tipo de aço adequado para a carcaça intertravada passa gradativamente do aço carbono para o aço-liga com alto teor de níquel (SOUSA, 2005).

A carcaça intertravada é feita de aço inox austenítico, o qual obrigatoriamente possui boa resistência à corrosão por hidrocarbonetos e água. Utilizam-se aços inoxidáveis do tipo AISI 304, AISI 316, AISI 409, entre outros (SOUSA, 1999).

A Tabela 1 demonstra, segundo Bastian (2000), a relação entre as propriedades de alguns componentes da camada intertravada. Não houve a consideração da ação do encruamento no processo de fabricação nestes valores.

Tabela 1. Propriedade dos aços para a carcaça intertravada

<i>Tipo de Aço</i>	<i>Tensão de Escoamento</i>	<i>Ruptura</i>	
		<i>Tensão</i>	<i>Deformação</i>
AISI 304	310 MPa	620 MPa	30,0%
AISI 304L	310 MPa	620 MPa	30,0%
AISI 316	310 MPa	620 MPa	40,0%
AISI 316L	310 MPa	620 MPa	30,0%
AISI 409	205 MPa	380 MPa	20,0%
AISI 430	205 MPa	450 MPa	22,0%
UNS S31803	450 MPa	620 MPa	25,0%

Método dos elementos finitos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma eficiente ferramenta numérica de resolução de problema de um meio contínuo. Proporciona modelagens realísticas, seguras com aplicações práticas na engenharia, sendo mais econômicas que os modelos físicos, que são utilizados usualmente em escala reduzida e em laboratórios (SORIANO, 2003).

Segundo Pereira (2005), pode-se afirmar que atualmente este método é o modelo numérico mais utilizado na obtenção de soluções de diversos problemas com importância para a Engenharia.

O MEF permite o estudo de deslocamento e o estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria sob esforços externos. Quando utilizado para projetar uma estrutura, é usual que diversas análises e modificações das suas características sejam realizadas, com o objetivo de se alcançar um resultado satisfatório na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares, além de alcançar níveis econômicos convenientes, o que viabilizaria o projeto (Clough, 1960).

METODOLOGIA

Foi realizada uma simulação de análise de tensão axial e, para tal, utilizou-se o software Autodesk Inventor® 2015, baseado no método de elementos finitos. Esta análise buscou avaliar o comportamento da carcaça intertravada de um tubo flexível, além de determinar o comportamento do material escolhido para a mesma, neste caso o aço inox AISI 304, e para validação do modelo de carcaça utilizado.

A simulação foi realizada com a aplicação de carga na carcaça intertravada de um riser, pelo fato de este ser o tipo de tubo flexível que está sujeito a esforços dinâmicos, uma vez que o flowline fica disposto no leito marinho, livre de

quaisquer esforços do tipo dinâmico ou impactos. A força a ser aplicada teve um módulo de 14380 Newtons, esse valor foi encontrado devido aos vários testes realizados na amostra, a fim de atingir a tensão máxima suportada pelo material.

Modelagem da carcaça

Foi desenvolvido um modelo próprio de carcaça intertravada foi adotado para esta análise de tensão. O perfil da fita foi de 48 x 1.2 mm. O desenho do perfil “S” foi feito no Autodesk Autocad® 2017, em seguida, o desenho foi importado para o Autodesk Inventor® 2015 para a criação do modelo sólido de 4 polegadas. Em uma conversão de polegada para milímetro, obtemos 101,6 de diâmetro interno.

o desenho inicial foi feito no Autodesk Autocad® 2017, ilustrado na Fig. (1), e em seguida a carcaça foi projetada em 3D no Autodesk Inventor® 2015.

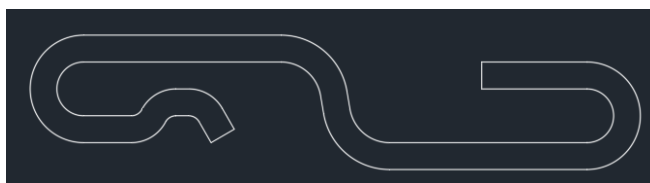


Figura 1. Desenho do perfil da carcaça intertravada no Autodesk Autocad® 2017.

Para que o desenho seguisse o perfil cilíndrico de um tubo, desenhou-se um quadrado pequeno na parte inferior da carcaça, vide Fig. (2), para que o comando “coil” pudesse ser realizado com passo de 28.5 mm, vide Fig. (3), com a intenção de ser utilizado como base para modelagem da carcaça.



Figura 2. Quadrado utilizado para molde.

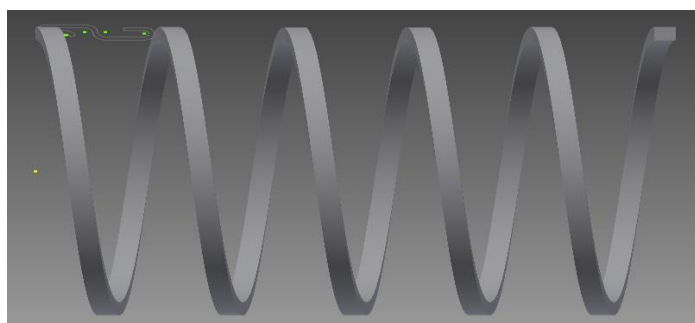


Figura 3. Comando “coil” no perfil quadrado.

O comando utilizado para que o perfil intertravado acompanhasse o perfil quadrado é o “sweep” e as espiras foram cortadas de forma que ficassem verticalmente uniformes para receber as placas.

Duas placas que foram anexadas às extremidades da carcaça, com a finalidade de que a carga seja aplicada de forma uniforme e homogênea em toda a sua estrutura para resultados mais confiáveis. O tamanho inicial do corpo da amostra da carcaça intertravada utilizado na análise de estresse foi de 70 mm e cada placa anexada às extremidades possui 5 mm, conforme Fig. (4).

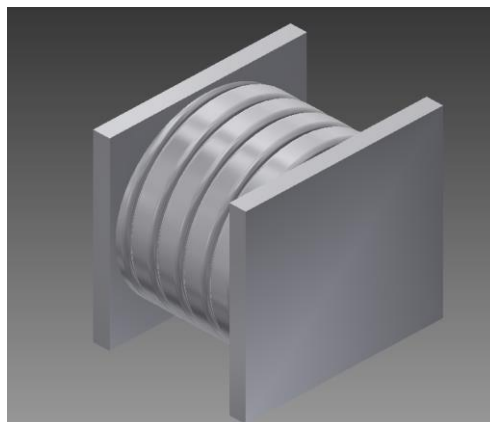


Figura 4. Estrutura final para teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a modelagem da carcaça intertravada apresentada no capítulo anterior, realizou-se a simulação de estresse, que consiste na aplicação axial de força. As placas anexadas aos limites da carcaça intertravada, visto que uma face foi engastada, ou seja, fixada, e a extremidade oposta ficou sujeita a carga de tração, como demonstrado na Fig. (5).

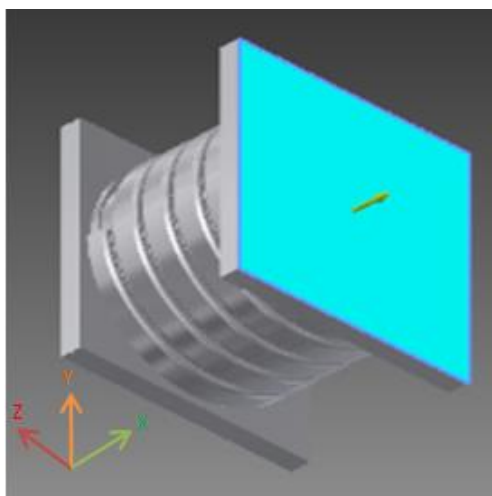


Figura 5. Face do modelo que sofrerá a aplicação de força.

Na Tabela 2, podem ser verificadas algumas informações apresentadas pelo relatório gerado pelo software Autodesk Inventor® 2015 ao fazermos a análise. Os dados foram reportados em inglês, logo uma versão traduzida para português será apresentada neste trabalho.

Tabela 2. Informações base do Aço Inoxidável AISI 304

Aço Inoxidável AISI 304		
Nome		
Geral	Densidade da Massa	8 g/cm ³
	Força de Rendimento	215 MPa
	Resistência a Tração	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Estresse	Coefficiente de Poisson	0.29 ul
	Módulo de Cisalhamento	75.58 GPa

A carga de tração aplicada na imagem acima teve um módulo de 14380 Newtons, como mostrado na Tab. 3.

Tabela 3. Carga aplicada extraído do relatório de análise de estresse

Tipo de Carga	Força
Magnitude	14380,000 N
Vetor X	- 14380,000 N
Vetor Y	0,000 N
Vetor Z	0,000 N

Dos resultados obtidos durante a análise de tensão, os valores que serão levados em consideração são os de Análise de Estresse de Von Mises (*Von Mises Stress*) e o Deslocamento (*displacement*).

Análise de Estresse de Von Mises

Segundo Cury (2016), a teoria de Von Mises se correlaciona melhor com os dados experimentais, e por isso é a mais utilizada. Nessa teoria, são levados em consideração os conceitos de energia de distorção de certo corpo, ou seja, a energia associada nas mudanças na forma do elemento e não do seu volume.

O critério de Von Mises se enuncia como: “Um elemento estrutural (dúctil) irá falhar se a energia associada à mudança de forma de um corpo, submetido a um carregamento multiaxial, ultrapassar a energia de distorção de um corpo de prova submetido a um ensaio uniaxial de tração” (CURY, 2016).

A partir da aplicação de uma carga de 14380 N, obtiveram-se os valores mínimos e máximos de tensão que foram registrados no corpo e informados pelo software. O módulo de tensão de ruptura do material aço inoxidável AISI 304 obtido no teste é de 620,5 MPA, conforme Fig. (6).

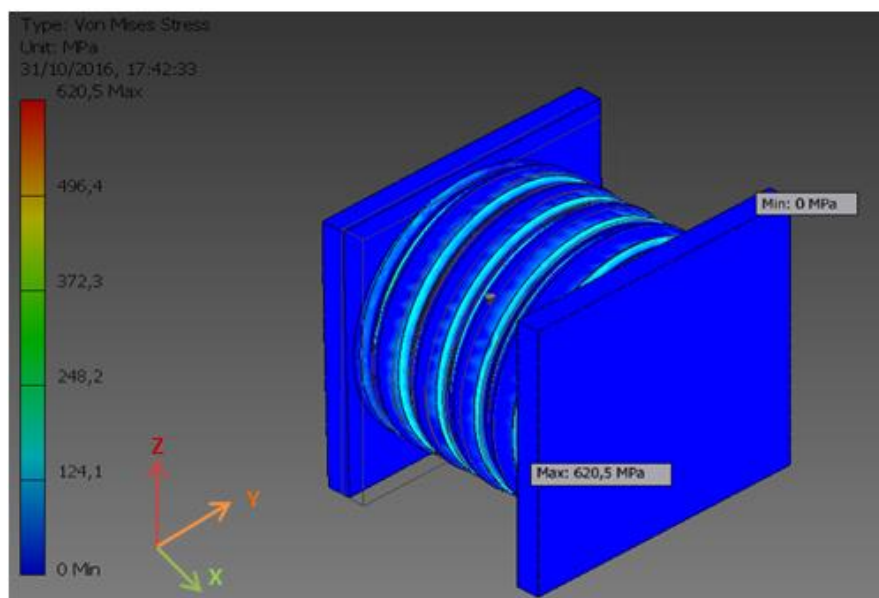


Figura 6. Von Mises Stress resultado

Na Tabela 4, é possível ver a tensão máxima e mínima informadas pela amostra através do relatório de ensaio gerado pelo *software*.

Tabela 4. Valores máximos e mínimos

Nome	Mínimo	Máximo
Volume	371989 mm ³	-
Massa	2,97591 kg	-

Von Mises Stress	0,00753533 MPa	620,472 MPa
------------------	----------------	-------------

Deslocamento

O deslocamento, como o próprio nome já diz, é a quantidade que um corpo tende a se deformar com a aplicação de uma força. No caso da aplicação de carga de tração, o corpo tende a se alongar. O software adotado para a análise de tensão disponibiliza dois tipos de deslocamento: o deslocamento geral e deslocamento que se dá nos três eixos: x, y e z.

Porém, apenas o deslocamento geral será ilustrado, uma vez que, este sozinho, já demonstra o comportamento estrutural da carcaça intertravada com uma carga de tração aplicada em uma de suas extremidades.

A Figura 7 demonstra em cores, do azul (mínimo) ao vermelho (máximo), o deslocamento sofrido pela amostra. Pode-se observar que é a mesma amostra com angulações diferentes para melhor avaliação dos resultados.

O módulo de deslocamento máximo obtido foi de 0,2506 mm, detalhado na Tab. 5, com as informações disponibilizadas pelo relatório de análise de estresse.

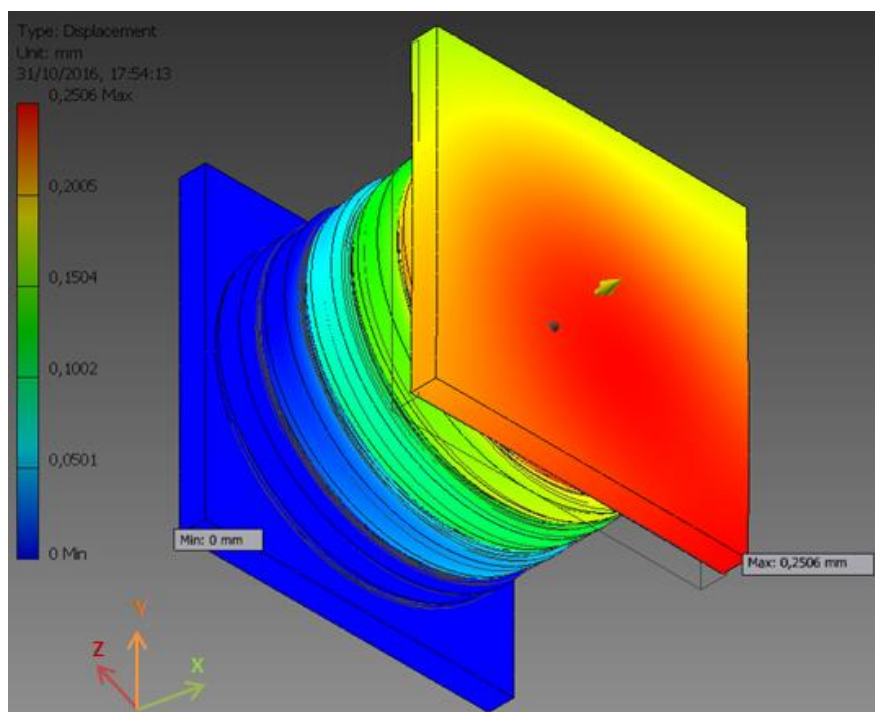


Figura 7. Deslocamento da carcaça

Os valores dos deslocamentos disponibilizados pelo Autodesk Inventor® 2015 seguem abaixo na Tab. 5.

Tabela 5. Valores dos deslocamentos

Nome	Mínimo	Máximo
Deslocamento Geral	0 mm	0.250601 mm
Deslocamento X	-0.248606 mm	0.00112781 mm
Deslocamento Y	-0.023277 mm	0.0416777 mm
Deslocamento Z	-0.0375316 mm	0.0212512 mm

Logo, pode-se observar que o deslocamento se dá de forma mais acentuada na face que sofre o carregamento externo de tração, como demonstrada na parte de cor vermelha da Fig. (8).

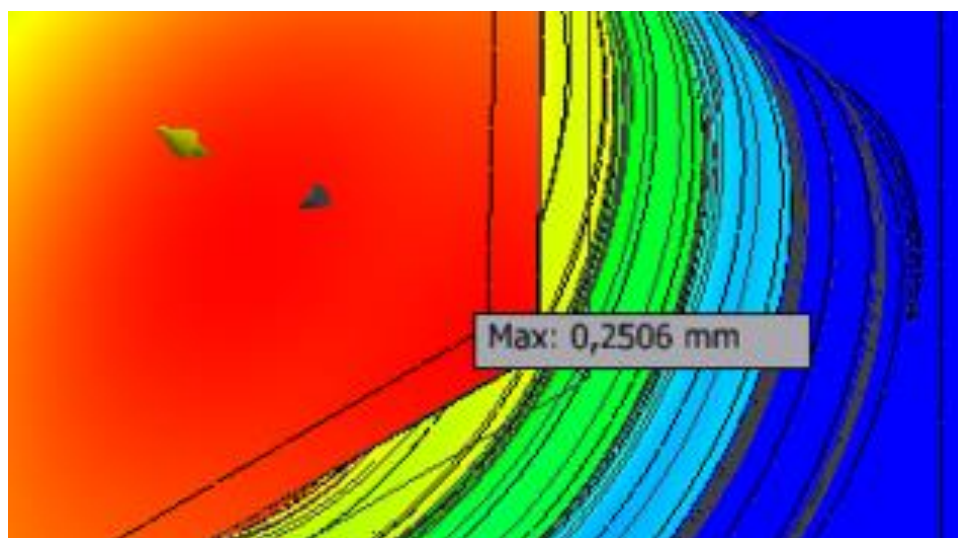


Figura 8. Gráfico de campo escalar da Carcaça intertravada

CONCLUSÃO

Como apresentado anteriormente na Tab. 1, a tensão de ruptura do material aço inoxidável AISI 304 informada foi de 620 MPa, enquanto o valor obtido em teste foi de 620,5 MPa, como ilustrado na Fig. (6).

Assim, pode-se afirmar que a tensão máxima exercida no material AISI 304 em teste (simulação de estresse) é aproximadamente igual ao valor, deste mesmo material, de tensão máxima teórica. A Tabela 4 apresenta a tensão máxima suportada pelo aço inoxidável AISI 304, valor este informado pelo relatório de análise de estresse, disponibilizado pelo software, exposto anteriormente.

O comportamento da amostra em tais condições de tensão foi equivalente ao esperado, uma vez que a face que estava engastada deveria ser o ponto com menor tensão e a face tracionada possuiria o ponto de maior tensão. A partir da distribuição da coloração de teste pelo corpo da carcaça após a aplicação de um carregamento, pode-se afirmar que é equivalente ao deslocamento sofrido pela estrutura.

REFERÊNCIAS

- Associação brasileira dos fabricantes de tubo de concreto (Brasil), “Avaliação comparativa de desempenho entre tubos rígidos e flexíveis para utilização em obras de drenagem em águas pluviais”.
- Norma API RP 17B (2002) - *Recommended practice for flexible pipe*, 3rd. edition
- BASTIAN, F. L., “Materiais”. In: Curso de Extensão em Tubos Flexíveis e Cabos Umbilicais, Laboratório de Tecnologia Submarina da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- Bicudo, R. G. P., “Análise de Instalação de Linhas Flexíveis”. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009
- Carneval, R. De O., MARINHO, M. G., “Flexible line inspection. In: *Proceedings of the 9th european conference on ndt*”, 2006, Berlin: ECNDT 2006. Pôster 106, p. 1-11. Disponível em: <<https://ndt.net/search/docs.php3?MainSource=40>>. Acesso em 15 de abril de 2016.
- Clough, R. W., “The Finite Element in Plane Stress Analysis”, Proc. 2nd ASCE Conf. on Electronic Computation, Pittsburgh, Pa., September 1960.
- Cury, A. A., “Critério de Falha”, Departamento de mecânica aplicada e computacional, MAC/UFJF, 2016;
- Ferreira, A. B. H. *Aurélio do século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa*. 3. Ed. Rev. E ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- Lopes, D. G., “Avaliação das tensões residuais na montagem de conectores em armaduras de tração de dutos flexíveis”. 2013. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais)- Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2013.



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

- Machado, Z. L., and DUMAY, J. M., 1980, "Dynamic Production Riser on Enchova Field Offshore Brazil," *Offshore Brazil Conference, Latin America Oil Show*, Rio de Janeiro.
- Oliveira *et al.*, "Estudo do Processo de Fabricação de tubos flexíveis de aço inoxidável duplex UNS 32304 utilizados na indústria de petróleo e gás", *Sold. Insp. São Paulo*, Vol. 18, N° 01, Jan/Mar 2013.
- Pagotto, L. D., "Modelos analíticos e numéricos para análise estrutural axissimétrica de *risers* flexíveis", Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2013.
- Pereira *et al.*, "Análise estrutural de carcaças intertravadas", CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- Pereira, O. J. B. A., "Introdução ao método de elementos finitos na análise de problemas planos de elasticidade", Instituto superior Técnico, Brasil, 2005.
- Rizzo, N. A. S., "Análise da instabilidade das armaduras de dutos flexíveis pelo método de elementos finitos", Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- Santos, F.P; "Avaliação dos Efeitos da Pressão Parcial de CO₂ no Processo de Corrosão Fadiga em Armaduras de Tração de Dutos Flexíveis", Dissertação de M.Sc., CEFET-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.
- Soriano, H. L., LIMA, S. De S., "Método de elementos finitos em análises de estruturas", Vol. 48, 2003.
- Sousa, J. R. M., "Análise numérica de *risers* flexíveis", Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- Sousa, J. R. M., "Análise local de linhas flexíveis pelo método de elementos finitos", Rio de Janeiro, 2005. Tese (Doutorado) – COOPE, UFRJ.
- Wagner de Cerqueira e Francisco, A PETROBRAS. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-petrobras.htm>> Acesso em 15 de maio de 2016
- Witz, J. A., "A Case Study in the Cross-section Analysis of Flexible Risers". *Marine Structures*, 9 (1996), pp. 885-904

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.