

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo do comportamento de risers rígidos e seus modos de falha

AUTORES:

Fernanda Teles Gullo, Gilberto Bruno Ellwanger e Maria Cascão Ferreira Almeida

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

Estudo do comportamento de risers rígidos e seus modos de falha

Abstract

The fast growth of the oil industry and the discovery of the oilfields in the Subsalt play in Brazil have been fostering new researches in order to overcome the technological challenges in the oil extraction at several thousand meters of water depth. In extremely deep water extraction, the best alternative to flexible risers is the rigid risers.

This essay presents the study of the rigid risers design. It focuses on how the riser strength can be analyzed for different failure modes caused by loading the riser during the installation and operation phases. The failure modes studied are: burst, hydrostatic buckling and propagation buckle.

Introdução

O rápido crescimento da Indústria do petróleo e a descoberta do pré-sal em território brasileiro fomentam novas pesquisas para superação dos desafios tecnológicos na extração do óleo em grandes profundidades. A acumulação no Campo de Tupi, na Bacia de Santos, por exemplo, está a um pouco mais de 5mil metros de profundidade com óleo abaixo da camada de sal, e volumes recuperáveis estimados de 5 a 8 bilhões de barris de óleo equivalente. [1]

O estudo da integridade estrutural de risers é freqüente em centros de pesquisa e universidades. Risers são tubos rígidos ou flexíveis, que transportam óleo, gás, água ou misturas de uma unidade flutuante a poços no fundo do mar, árvore de natal ou manifolds. Podem apresentar várias configurações, como: vertical, catenária, complexa, catenária com revestimento Light Weight Coating (LWC), híbrida, standing riser, tension leg riser, entre outras. [2]

Os risers rígidos são constituídos de aço e, diferentemente dos flexíveis, não apresentam limitações quanto à pressão e à temperatura, suportam intervenções de sonda e wireline e seu custo é relativamente baixo. Sua instalação é feita por equipamentos convencionais. Estes risers são úteis nas ancoragens de UEPs fixas, apresentam menor downtime e produzem mais por poderem operar em condições ambientais severas. [3]

No entanto, os risers rígidos apresentam uma instalação complicada porque se encontram altamente tracionados, possuem baixa tolerância ao movimento da unidade e estão sujeitos ao colapso por fadiga na região do topo e do TDP (Touch-Down Point). [3]

Os critérios de projeto de risers rígidos considerados nas normas incluem: ruptura, colapso, propagação de colapso e fadiga.

Ruptura (burst)

Ao longo de sua vida útil os risers estão sujeitos a defeitos que afetam sua integridade estrutural. A corrosão atuante, que ocasiona a perda de espessura do duto, diminui sua resistência a cargas ambientais e operacionais, levando-o a uma possível ruptura, interrupções na operação, vazamentos de óleo e danos ambientais graves.

Em águas rasas, a pressão do fluido no interior do riser é um parâmetro de projeto que se não for bem dimensionado pode ocasionar ruptura por falta de resistência do mesmo. Essa falha pode ser dúctil (ductile burst) ou frágil (brittle burst). As propriedades geométricas e as características materiais determinam a resistência à ruptura dos dutos.

Colapso (buckling)

A pressão de colapso de dutos instalados em águas profundas é o parâmetro mais crítico do projeto de risers rígidos. Nos períodos de instalação e manutenção essa pressão pode se elevar. Durante a instalação, os risers sofrem flexões e também aumento de pressão; durante sua manutenção, faz-se sua despressurização e também há aumento da pressão externa. A fim de que o riser resista à pressão externa, deve-se, para um dado material e diâmetro, determinar a espessura de parede necessária e as imperfeições geométricas admissíveis.

Os fatores que podem diminuir a resistência ao colapso dos dutos são a ovalização, ocasionada por flexão excessiva, a variação da espessura do riser pelo efeito da corrosão e os danos locais por queda de objetos e impacto.

A pressão de colapso depende da relação diâmetro/espessura da parede do duto, da ovalização inicial, de imperfeições geométricas, deformações de membrana, da resposta elasto-plástica do material, do módulo de elasticidade, da tensão de escoamento do material e de do tipo de carregamento: pressão pura, flexão ou combinação de flexão e pressão. [2]

Propagação de colapso (propagation buckle).

A propagação ou não do colapso depende da pressão externa e de quanto o duto é capaz de resistir.

Pressão de propagação (P_p) é o valor mínimo necessário de pressão externa atuante para propagação da falha e obedece a seguinte relação quando comparada à pressão de colapso: $p_p < P_c$. A propagação do colapso vai cessar quando a pressão externa for inferior à pressão de propagação ou quando o duto apresentar rigidez aumentada através da instalação de enrijecedores (buckle arrestors). [2]

Modos de falha do colapso propagante:

- Modo Halteres
- Modo Flip-flop
- Modo U

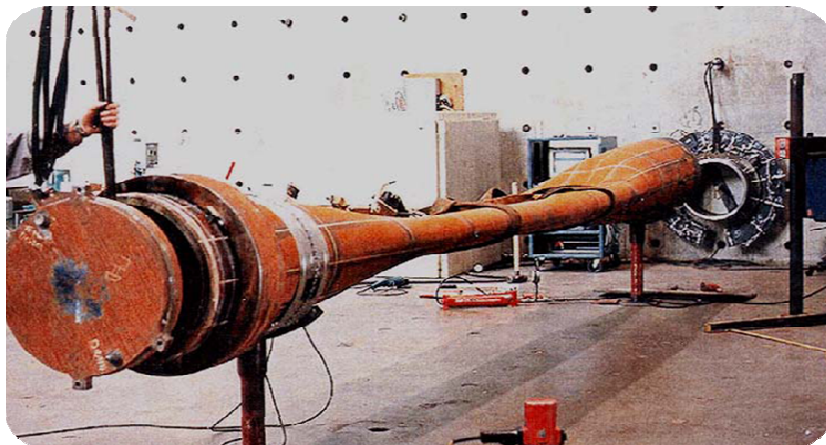


Figura 1- Colapso propagante

Esse trabalho visa o projeto de linhas rígidas, com foco no estudo das resistências dos risers aos modos de falha como ruptura, colapso e propagação de colapsos ocasionados por carregamentos durante as fases de instalação e produção.

Metodologia

A partir das normas e da literatura disponível foram identificadas as principais etapas para análise global de um riser rígido. Posteriormente, com o auxílio do MathCad 14 foram gerados em determinado riser resultados quanto aos critérios de ruptura, colapso e propagação de colapso presentes nessa literatura.

As principais normas para uso no projeto de risers rígidos são [2]:

- “ABS Guide for Building and Classing Subsea Riser Systems, 2005”;
- “DnV Dynamic Risers, DNV-OS-F201, 2001” [4],
- “Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design);
- “API RP 1111, 1999” [5];
- API RP 2 RD ;
- “Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines, 1991, ASME B31G-1991”.

Resultados e Discussão

O desafio de um projetista de estruturas offshore é criar estruturas que atendam aos padrões da indústria, mantendo a probabilidade de falha abaixo de um valor estipulado através de normas, e que sejam viáveis economicamente. [6].

Neste item serão apresentadas as principais etapas de um projeto de riser rígido.

Para a análise de um riser [7]:

- Defini-se a vazão de transporte do fluido pelo riser;
- Define-se o diâmetro interno do riser;
- Opta-se pelo tipo de estrutura: rígida ou flexível;

No caso em estudo, escolhe-se risers rígidos:

- Determinam-se as pressões críticas de colapso de acordo com a norma escolhida;
- Determinando-se as pressões mínimas e o diâmetro externo do riser rígido;
- Faz-se isolamento térmico para garantir o escoamento do fluido;
- Definem-se as condições ambientais, tais como ondas, ventos e correntes;
- Escolhe-se a unidade flutuante;
- Escolhe-se a metodologia acoplada ou desacoplada;
- Realiza-se as análises de fadiga, VIV e tensões máximas (estáticas e dinâmicas);
- Por fim, verifica-se se todos os critérios foram atendidos.

Aplicação MathCad 14 - Critérios para estudo sobre colapso hidrostático, propagante e pressão interna. [8]

Unidades: MPa = N/m²

LDA = 2200 m

Dados iniciais do riser:

Diâmetro do riser:

Diâmetro externo: $D_e = 341,63\text{mm}$; $D_e = 13,45\text{ in}$

Relação diâmetro espessura: $D_e / t = 15,011$

Diâmetro interno: $D_i = D_e - 2t = 296,113\text{ mm}$

Coefficiente de Poisson : $\nu = 0,3$

Ovalização : $\delta = 0,5\%$

Tensão de escoamento: $\sigma_y = 483\text{MPa}$

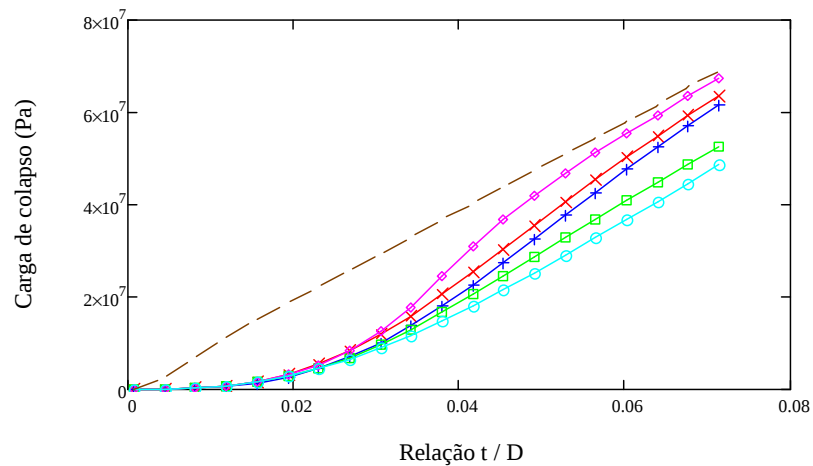
Espessura da parede do riser: $t = 22,758\text{ mm}$, $t = 0,896\text{ in}$

$\sigma_{yx65} = 448,159\text{ MPa}$

Módulo de elasticidade longitudinal: $E = 207000\text{ MPa}$

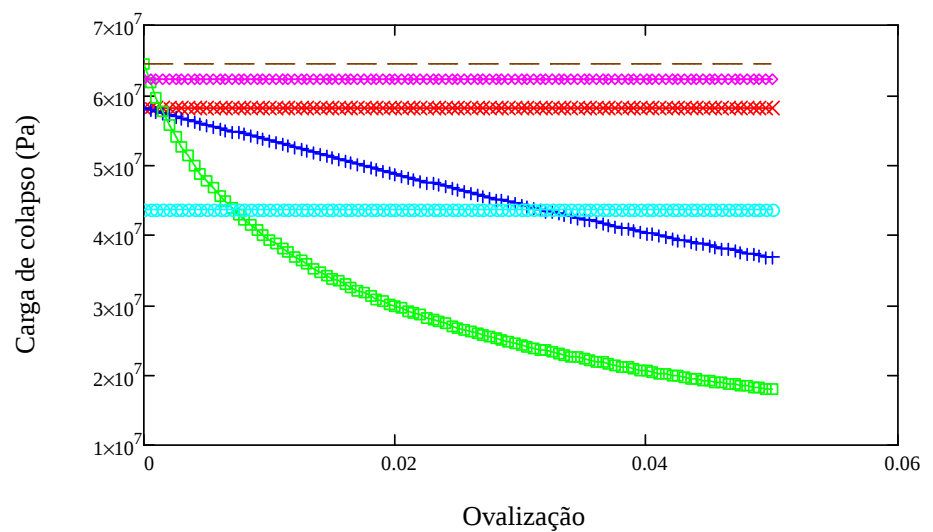
Módulo de elasticidade tangente: $E_t = 459\text{ MPa}$

Critério 1 – Colapso hidrostático



- ××× SHELL (sem ovalização)
- +++ SHELL (ovalização 0,5%)
- Institute of Petroleum (Timoshenko)
- ◇◇◇ DNV (1981)
- BV
- API

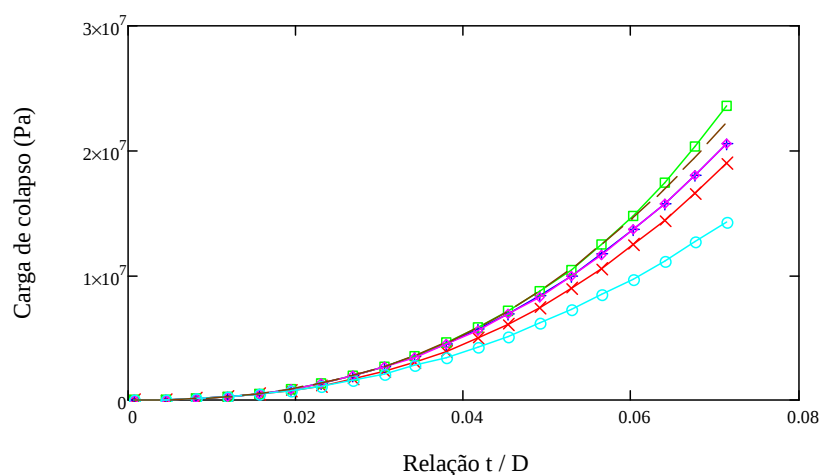
$\delta = 0\%, 0,05\%..5\%$ $t = 0,896$ in



- ××× SHELL (sem ovalização)
- +++ SHELL (ovalização 0,5%)
- Institute of Petroleum (Timoshenko)
- ◇◇◇ DNV (1981)
- BV
- API

Critério 2 – Colapso propagante

$t = 0,01$ in, $0,06$ in.. 1 in



- ××× DnV
- +++ API
- SHELL
- ◇◇◇ Kyr1
- Kyr
- ABS

Critério 3 – Pressão interna (Burst) API 1111[5]

Pressão mínima de resistência a ruptura:

$$P_b(t) := 0.90 (S_1 + U) \cdot \ln \left(\frac{D_e}{D_i - t} \right) \quad P_b(t) := 0.45 (S_1 + U) \cdot \ln \left(\frac{D_e}{D_i} \right)$$

As fórmulas citadas acima são para: $\frac{D}{t} \geq 15$

Para valores menores de D/t a primeira fórmula é recomendada.

De = diâmetro externo do riser
Di = diâmetro interno do riser
S = tensão de escoamento mínima do riser
t = espessura nominal do riser
U = tensão de ruptura mínima

Critérios de dimensionamento da norma API 1111:

$$P_t \leq f_d \cdot f_e \cdot f_t \cdot P_d$$

$$P_d \leq 0.80 P_t$$

$$P_a \leq 0.90 P_t$$

Onde,

fd = fator de cálculo da pressão interna, aplicável a todas as linhas;

fe = fator da solda de junta;

ft = fator de temperatura;

Pa = sobrepressão acidental

Pb = mínima pressão de burst da linha

Pd = pressão de cálculo da linha

Pt = pressão de teste hidrostático



Figura 2- Ruptura dútil - Fonte: [Froufe, 2]



Figura 3 - Ruptura frágil – Fonte: [Froufe, 2]

Conclusões

É importante ressaltar que esse trabalho ainda está em desenvolvimento para conclusões definitivas. No entanto podem ser feitas algumas considerações, tais como: o trabalho procurou estudar algumas formulações que medem o comportamento para os modos de falha de ruptura, colapso e propagação de colapso. Esses resultados servem para que seja feita uma análise inicial do projeto. O projeto de um riser abrange a definição da sua relação diâmetro e espessura, das suas características materiais, da sua

ovalização inicial, de defeitos em suas propriedades geométricas e dos carregamentos a que o duto está submetido. Algumas normas não consideram o efeito da ovalização inicial. Dutos com ovalização geralmente apresentam uma pressão de colapso menor. Normalmente, utilizam-se dutos com relação D/t pequenas em operações em águas profundas.

Agradecimentos

Aos professores Gilberto Bruno Ellwanger e Maria Cascão Ferreira Almeida pela orientação acadêmica, paciência e atenção ao sanarem as minhas dúvidas.

À minha família, meus pais Sueli e José Carlos, a minha irmã Jordana e minha avó Maria do Carmo, por todo amor e incentivo.

Aos membros do PRH-35 pela oportunidade de aprendizado.

Referências Bibliográficas

[1] PRÉ-SAL. Perguntas e respostas. Petrobrás. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/minisite/presal/pt/perguntas-respostas/>>. Acesso em: 6 maio.2011

[2] FROUFE, L.M.; Análise comparativa de critérios de dimensionamento de risers rígidos. 2006.213p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

[3] FRANCO, K.P.M.;Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para Auxiliar a Escolha de Sistema para Produção no Mar.2003.139p.Dissertação(Mestrado em Ciência e Engenharia do Petróleo), Faculdade de Engenharia Mecânica,Universidade Estadual de Campinas, Campinas,São Paulo,2003.

[4] DET NORSKE VERITAS, DNV-OS-F201, Dynamic Risers, 2001

[5] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, API RP 1111, Design, Construction,Operation, and maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design), July 1999

[6] BAZÁN, J.A.V.; Análise de risers rígidos para exploração offshore de petróleo e gás através de unidades flutuantes. 2010. 91p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. *Apud* SOUZA, F.J.M.;2005. Tese de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro,2005.

[7] BAZÁN, J.A.V.; Análise de risers rígidos para exploração offshore de petróleo e gás através de unidades flutuantes. 2010. 91p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

[8] ELLWANGER, G.B; Exercícios MathCad - Análise Riser ANP- 2000 metros - colapso hidrostático, colapso propagante, pressão interna, Rio de Janeiro, 2002.