



Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

ANÁLISES GLOBAIS DE RISERS RÍGIDOS PARA ÁGUAS RASAS

Olivier S. X. Pinto¹, Theodoro A. Netto¹

¹ Laboratório de Tecnologia Submarina / COPPE / UFRJ, Centro de Tecnologia – Bl. I2000
Sl. 108 – Cid. Universitária - Ilha do Fundão – CEP: 21949-900, Cx. Postal: 68508
olivier@lts.coppe.ufrj.br, tanetto@lts.coppe.ufrj.br

Resumo – A descoberta de reservas de petróleo em águas cada vez mais profundas traz a necessidade da ampliação da malha dutoviária da bacia de Campos. A Petrobras prevê a instalação de uma estação de rebombeamento (PRA-1) no campo de Garoupa, conforme publicado na Revista Brasil Energia (setembro 2002). Ela irá instalar também junto a PRA uma unidade flutuante tipo FSO que escoará parte do volume produzido. Na fase de pico, o equipamento será utilizado para aumentar a flexibilidade operacional do sistema de escoamento da bacia. O objetivo desse projeto é realizar análises globais para determinação de esforços cíclicos em *risers* rígidos durante a operação devido a diferentes estados de mar, cenários, unidades flutuantes e configurações. *Risers* rígidos com diferentes geometrias foram modelados utilizando programas computacionais disponíveis para análise global visando determinar os esforços quando submetidos a condições reais de operação. A possibilidade de utilização de *risers* rígidos em profundidades rasas pode gerar uma economia substancial em relação aos meios convencionais de elevação atualmente em prática para aplicações em águas rasas na Bacia de Campos e outros cenários similares no mundo.

Palavras-Chave: *Riser* rígido; Águas Rasas, Petróleo.

Abstract – The oil production in the Campos Basin – Rio de Janeiro – Brazil is constantly moving to deeper water. This fact brings the necessity of improving the exportation of the oil to the continent. One of the solutions adopted by the Petrobras Company is to expand the pipeline mesh of the region. For this, it will be necessary to install a unit which will receive the oil produced at the other field and re – pump it to the continent. This unit will be installed at the shallow waters of the Garoupa field. The main goal of this project is to realize global analysis to determine cyclic strengths on rigid risers installed at shallow water. Different scenarios, sea states, floating units, geometries and layout were used to configure the analysis. An adequate software of global analysis was used to determine the strengths applied on the riser during their operation. The possibility of use of rigid risers at shallow water depths may provide a substantial economy compared to conventional way of oil elevation actually in use for application at shallow water at the Campos basin and at other similar scenarios in the world.

Keywords: Global Analysis, Steel Catenary Riser, Shallow Waters.

1. Introdução

A utilização de *risers* rígidos em águas profundas é relativamente recente. Algumas concepções ainda estão em estudos para aplicação em profundidades variadas. Existem diversas configurações para *risers* rígidos. Entre outras, podemos citar as catenárias livres, as *Top Tensioned Riser (TTR)*, as *Single Line Offset Riser (SLOR)*, etc.

Os comprimentos das linhas de produção aumentam relativamente com o aumento da profundidade da lâmina d'água. Os custos das linhas flexíveis são altos e motivos de preocupação para os grandes produtores de petróleo. Há cerca de 10 anos, diversas alternativas vêm sendo estudadas para substituir as linhas flexíveis em catenária livre por dutos rígidos no intuito de se reduzir os custos do sistema de importação / exportação em face do seu alto custo e devido à limitação no diâmetro e na profundidade máxima coberta pelas linhas flexíveis (Souza, 2000).

Os *risers* rígidos em catenária têm a vantagem de eliminar, por exemplo, o sistema de tracionamento usado para *risers* verticais tracionados, pois os movimentos verticais da estrutura em relação ao *riser* são compensados pela alteração na geometria da catenária na região próxima ao fundo (Wang e Chin, 2001). Hipoteticamente, tal alternativa se torna tecnicamente viável apenas em águas profundas, pois o comportamento do duto se assemelha ao de uma linha flexível, em face da relação rigidez / profundidade (Souza, 1998). Em contrapartida, quando um *riser* rígido é instalado em águas rasas a sua rigidez aumenta e conseqüentemente ele se torna mais susceptível aos esforços causados pelas correntes, pelos movimentos da plataforma e pelo próprio peso.

Este projeto visa avaliar os níveis de tensões gerados nas seções de um *riser* rígido instalado em profundidade d'água rasas e verificar a sua integridade estrutural. Foram avaliadas duas configurações para o *riser* rígido: uma catenária livre e outra configuração de *riser* vertical. Varias análises foram realizadas onde diferentes parâmetros foram alterados como, por exemplo: diâmetro externo, espessura, configuração geral, unidades flutuantes.

2. Estudo de Caso

2.1. Características das Análises

A tabela 1 apresenta os dados gerais das análises tais como profundidade da lâmina d'água, azimuth da linha, aproamento, etc.

Tabela 1. Dados gerais das análises.

Dado	Valores
Profundidade LDA (m)	100
Aproamento do <i>riser</i>	Sudeste
Azimuth (grau)	135
Peso específico do fluido interno (kN/m ³)	9,0

2.2. Propriedades Geométricas do *Riser*

As propriedades geométricas dos *risers* analisados neste projeto estão presentes na tabela 2 a seguir. As variações de diâmetro externo e espessura foram realizadas ao longo das análises conforme a variação dos níveis de tensão encontrada.

Tabela 2. Características geométricas dos *risers* analisados.

Diâmetro Externo (pol)	(m)	Razão D/t	Espessura	
			(pol)	(m)
16	0,4064	20,32	0,787	0,0200
		40,78	0,374	0,0095
		50,00	0,320	0,0081
8	0,2032	20,32	0,394	0,0100
6	0,1524	20,32	0,295	0,0075

2.3. Propriedades do Material

O material usado é mesmo para todas as geometrias e estão apresentadas na tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Propriedade do material.

Tipo de Material	Modulo de Elasticidade – E (kN/m ²)	Tensão de Escoamento – σ_o (kN/m ²)	Tensão de Ruptura – σ_u (kN/m ²)	Tensão de Proporcionalidade – σ_p (kN/m ²)
Aço API X – 60	208,00 x 10 ⁶	413.685,60	517.000,00	309.900,00

2.4. Características do Carregamento Ambiental

O campo de Garoupa na bacia de Campos foi usado como cenário de estudo. As condições de carregamento levam em consideração a aplicação simultânea de onda e corrente da seguinte forma:

Mudar *collinear* para *colinear* e *crossed* para *cruzado*.

- **Carregamento *Colinear*:** que é representado pela combinação de uma onda centenária alinhada a uma corrente decenária e também de uma onda decenária alinhada com uma corrente centenária.
- **Carregamento *Cruzado*:** que é representado pela combinação de uma onda centenária e corrente decenária com linhas de ação formando um ângulo de 45 graus, e de onda decenária e corrente centenária também com linhas de ação a 45 graus.

Dessa forma, o ângulo de ataque das ondas e das correntes é de 0 grau para a condição de carregamento *colinear* e de 22,5 graus para o caso da condição de carregamento *cruzado* em relação a proa da embarcação. Foram consideradas também três direções de onda e correntes: Ondas Sudoestes – W_{SW} , Noroeste – W_{NW} e Sudeste – W_{SE} combinadas respectivamente com correntes Nordeste – C_{NE} , Sudeste – C_{SE} e Noroeste – C_{NW} .

A embarcação a qual o riser será conectado sofre um *offset* de 5 e 15 % da profundidade de lâmina d'água (5 e 15 m) devido as condições ambientais, gerando assim, três movimentos no topo do *risers*:

- ***Transverse*:** o movimento acontece fora do plano da catenária;
- ***Near*:** o movimento acontece no plano da catenária aproximando-se do *touchdown point* (TDP);
- ***Far*:** o movimento acontece no plano da catenária afastando-se do *touchdown point* (TDP).

3. Metodologia

A combinação de todas essas características gerou uma gama de 48 análises que foram realizadas estática e dinamicamente. Inicialmente, as análises foram realizadas com o riser de 16 pol e razão D/t igual a 42,78. Em seguida, as análises com resultados mais críticos foram usados para as próximas etapas onde foram alteradas a geometria (diâmetro externo e razão D/t) e a configuração do riser.

Um fluxograma de análise é apresentado na figura 1 onde todas as combinações de análises podem ser vistas.

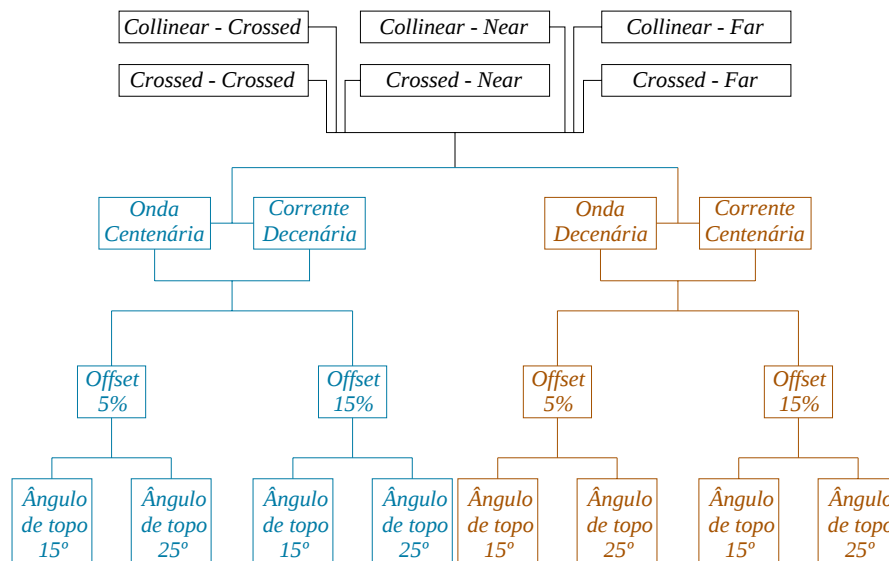


Figura 1. Fluxograma de Análise.

3.1. Configurações Analisadas

Nesta seção, serão apresentadas algumas das configurações analisadas onde diversos parâmetros foram variados conforme mostrado no fluxograma de análise da figura 1. A figura 2 apresenta as configurações do riser rígido em catenária e a figura 3 apresenta as configurações do riser vertical. Para este segundo caso, foram consideradas três alturas para o trecho rígido vertical: 60, 70 e 80 m.

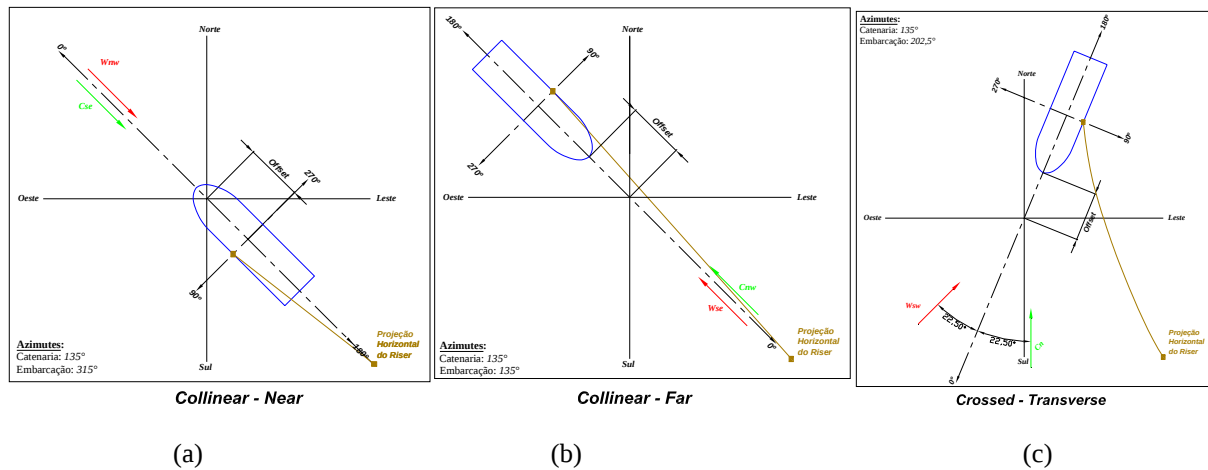


Figura 2. Configurações das análises.

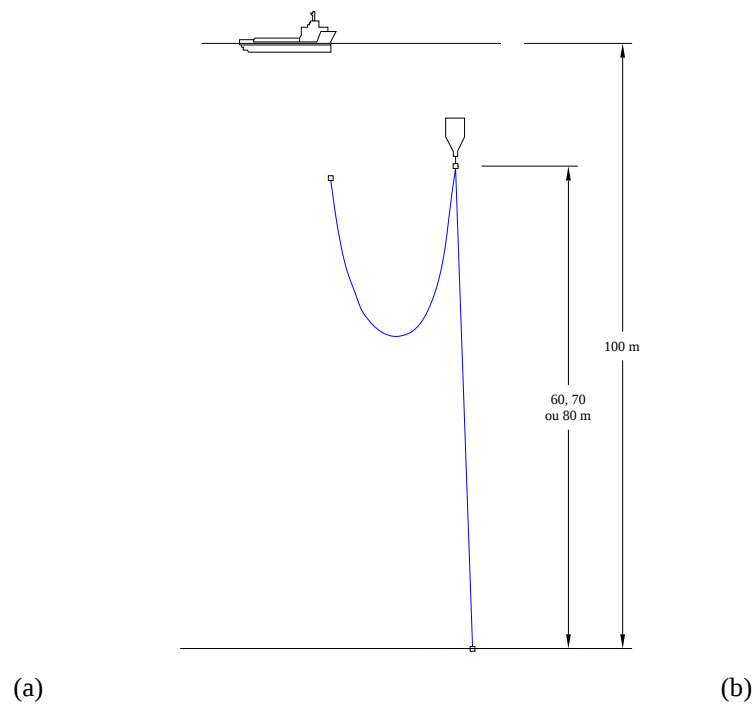


Figura 3. Configuração do riser vertical.

4. Resultados da Análise

Nesta seção serão apresentados de forma resumida os resultados mais críticos encontrados nas análises globais realizadas. Os gráficos que serão apresentados a seguir foram adimensionalizados em termos da tensão de escoamento do aço. As tensões aplicadas às seções transversais do duto foram calculadas através de formulas apresentadas seguir.

- Tensão devida a tração pura:

$$\sigma_{xt} = \frac{T}{A} \quad (1)$$

Onde T é tração ao longo da linha fornecida pelo programa e A_t é a área da seção transversal do riser.

- Tensão devida a flexão pura:

$$\sigma_{xf} = \frac{M \cdot y}{I} \quad (2)$$

Onde M é o momento fletor ao longo da linha fornecido pelo programa após a análise, y é a distância do ponto considerado na seção até a linha neutra e I é o momento de inércia da seção do duto.

- Tensão equivalente de Von Mises:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Onde, para duto de parede espessa:

$$\sigma_x = C_1 - \frac{C_2}{r^2} \quad (4)$$

$$\sigma_t = C_1 + \frac{C_2}{r^2} \quad (5)$$

$$\sigma_x = \frac{T}{A} \pm \frac{M \cdot D_e}{2 \cdot I} \quad (6)$$

Sendo T a tração e M o momento fletor ao longo da linha fornecida pelo programa, a área transversal do duto, D_e o diâmetro externo do duto, C_1 e C_2 funções das pressões internas (p_i) e externa (p_o) e dos raios internos (r_i) e externos (r_o) dos dutos.

A configuração de riser vertical levou em consideração três valores de alturas para o trecho rígido vertical: 60, 70 e 80 m. Estas alterações foram realizadas no intuito de determinar a variação do nível de tensão com a altura.

4.1. Resultados da Análise do Riser Rígido em Catenária.

Nas figuras a seguir são apresentados gráficos adimensionalizados em termos da tensão de escoamento. Apenas os gráficos de tensão de Von Mises versus profundidades serão mostrados já que este parâmetro leva em consideração os efeitos da tração, do momento fletor e pressões internas e externas. Nas figuras 4a e b são mostradas as curvas das análises estática e dinâmica para o duto de 16 pol comparando diferentes razões D/t. Nas figuras 4c e d são mostradas as curvas das análises estática e dinâmica para a razão D/t igual 20,32 variando-se o diâmetro externo.

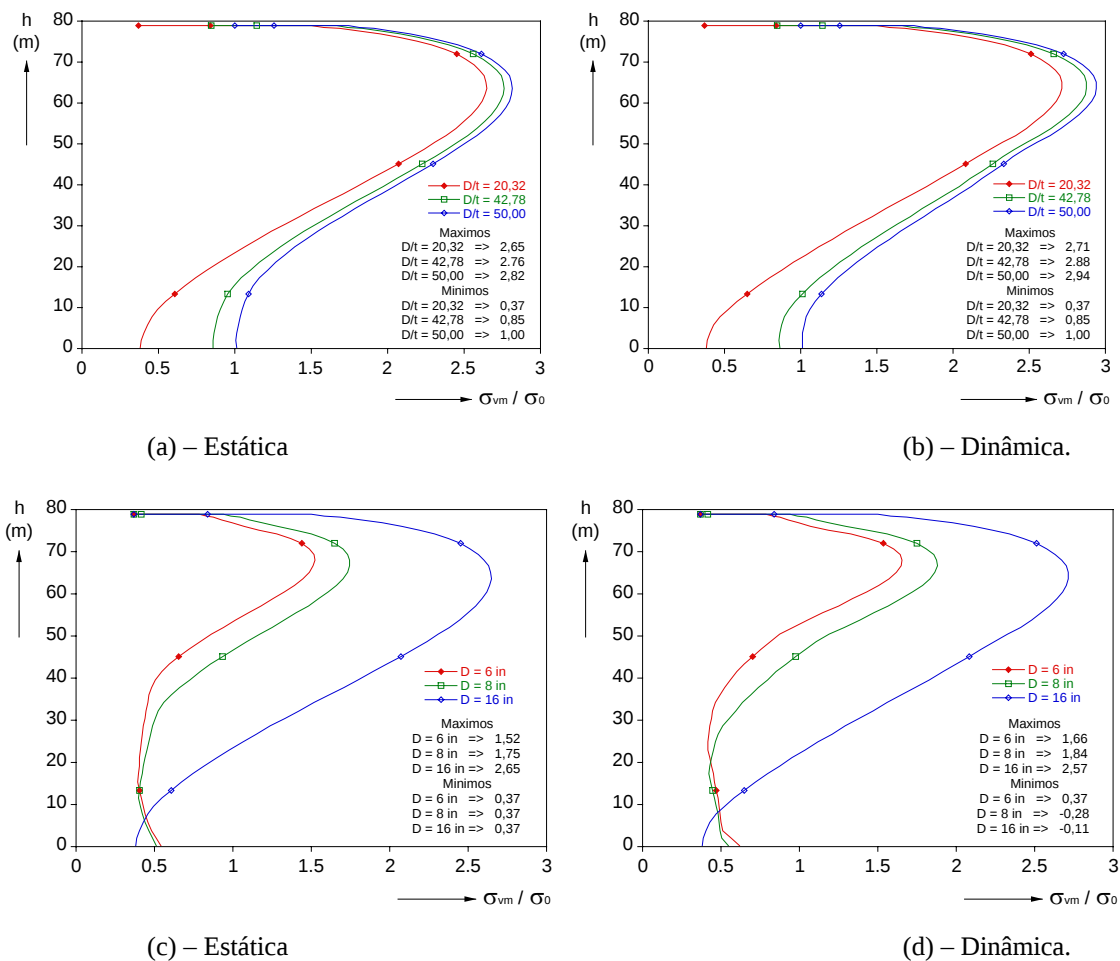


Figura 4. Resultados das análises globais para riser em catenária.

Esses resultados mostram que as tensões induzidas nas seções transversais de um riser rígido em catenária instalado em profundidades d'água rasas são muito altas, ultrapassando os limites de escoamento do duto tornando essa configuração inutilizável nestas condições. As distorções na parte inferior das curvas 4c e 4d são provocadas pelo uso de uma junta flexível inadequada.

4.2. Resultados da Análise do Riser Rígido Vertical.

Nas figuras a seguir são apresentados gráficos adimensionalizados em termos da tensão de escoamento. Apenas os gráficos de tensão de Von Mises versus profundidades serão mostrados já que este parâmetro leva em consideração os efeitos da tração, do momento fletor e pressões internas e externas. Nas figuras 5a e b são mostradas as curvas das análises estática e dinâmica para o duto de 16 pol e razão D/t igual a 20,32.

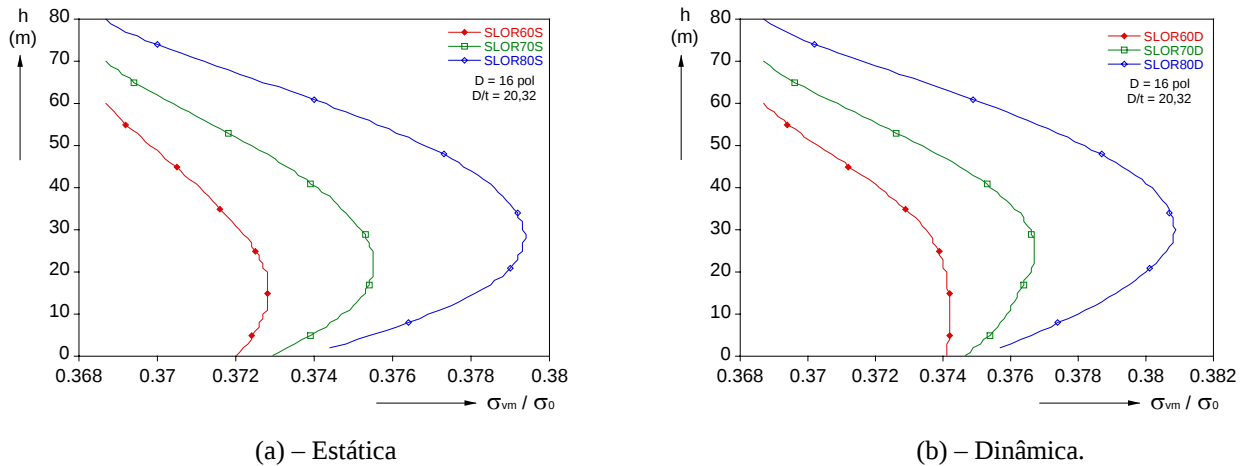


Figura 5. Resultados das análises globais para o riser numa configuração vertical.

A configuração de riser rígido vertical apresenta melhores resultados em termos de tensão aplicada nas seções transversais dos dutos como pode ser visto nos gráficos acima (5a e 5b), sugerindo dessa forma que uma possível aplicação de riser rígido em águas rasas pode ser obtida usando uma configuração vertical. Neste caso, as tensões induzidas estão bem abaixo dos limites de escoamento do material usado para o riser.

5. Conclusão.

Apesar da abrangência dos casos analisados, existem diversos outros casos que poderão ser analisados onde outros parâmetros poderão ser variados: aproamentos do *risers*, locais de instalação, tipos de aço, carregamentos aplicados, entre outras. Como visto nos resultados apresentados anteriormente, o uso de riser rígido em catenária em profundidade rasa é inviável devido aos elevados esforços aplicados sobre ele. Porém, melhores resultados podem ser obtidos através de uma configuração vertical na qual os esforços aos quais é submetido o riser rígido são menores.

6. Agradecimentos.

Agradecemos ao Programa de Recursos Humanos PRH-03 da Agência Nacional de Petróleo - ANP em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, ao Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da COPPE/UFRJ, ao Laboratório de Tecnologia Submarina – LTS/COPPE/UFRJ.

7. Referências.

- REVISTA Brasil Energia, US\$ 1 bilhão para escoar a produção, Rio de Janeiro, n. 262, set. 2002.
- SOUZA, L. F. A. Análise de “riser” rígido em catenária com ênfase na verificação à fadiga. 1998. 141f. il. Dissertação (Mestre em Engenharia Oceânica) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.
- SOUZA, L. F. A. et al. Project and installation of steel catenary riser for the Roncador Field. In: RIO OIL AND GAS EXPO CONFERENCE, 10., 2000, Rio de Janeiro. Resumos... Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2000. IBP19500.
- WANG, H. H. , CHIN, Y. D. Challenges in deepwater riser system design and analysis. In: PIPES & PIPELINES INTERNATIONAL, 2001, Houston. Expanded Abstracts... Houston: JP Kenny Inc, 2001.