



MODELAGEM NUMÉRICA DE UM DISPOSITIVO DE SEGURANÇA UTILIZADO EM SISTEMAS OFFSHORE

Lucival Malcher

lucival.malcher@gmail.com

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica
Campus Darcy Ribeiro, Edifício SG9, Brasília – Distrito Federal – Brasil

André Nepomuceno Trajano

andrentrajano@gmail.com

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica
Campus Darcy Ribeiro, Edifício SG9, Brasília – Distrito Federal – Brasil

Leonel L. D. Morales

leonel.morales@udf.edu.br

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica
Campus Darcy Ribeiro, Edifício SG9, Brasília – Distrito Federal – Brasil
Centro Universitário do Distrito Federal – UDF, Escola de Engenharia e Tecnologia,
Departamento de Engenharia Mecânica.

SEP/SUL EQ 704/904 Conj. A. CEP 70390-045 – Distrito Federal – Brasil

Abstract. As válvulas **Blowout Preventer (BOP)** são projetadas para serem acionadas em casos de emergência impondo uma força de compressão no tubo, que irá causar deformações plásticas, até provocar a ruptura do tubo. Segundo o relatório apresentado pela Det Norske Veritas em 2011, os registros fotográficos da tubulação mostram que a BOP funcionou, porém não atuou de forma adequada, ao invés de selar o tubo, apenas realizou um esmagamento do material. Desta forma, há indícios de falha de funcionamento do dispositivo de segurança, este fato pode ter direta relação com a forma que são projetados esses dispositivos, iniciando pelo critérios de falha considerando os modelos matemáticos utilizados. Com base nas informações anteriores se faz necessário realizar investigações para propor critérios de projeto que atendam às exigências desse tipo de dispositivos, levando em consideração que as tubulações aonde as válvulas atuam apresentam propriedades elasto-plásticas. Este trabalho tem por objetivo realizar a modelagem computacional deste

MODELAGEM NUMÉRICA DE UM DISPOSITIVO...

dispositivo considerando um estágio de funcionamento, simulando o acionamento e, assim, analisar os resultados numéricos. Serão incluídos no modelo a geometria do ríser e dois aríetes que constituem o mecanismo da válvula, com suas propriedades correspondentes. Inicialmente, foi implementado o modelo elastoplástico considerando endurecimento isotrópico. A partir dos resultados preliminares será possível avaliar o modelo utilizado e, posteriormente, realizar as modificações necessárias para aprimorar o estudo.

Palavras Chaves: Modelagem, BOP, Critérios de Falha, Elasto-plástico

1. INTRODUÇÃO

Em abril de 2010 uma explosão causou um grave vazamento de petróleo no Golfo do México, este acidente foi considerado como o maior desastre ambiental da história dos Estados Unidos (Det Norske Veritas, 2011). Um dispositivo que poderia contribuir para minimizar o impacto e os danos nestes casos é a válvula de segurança denominada Blowout Preventer (BOP). Este elemento tem como finalidade efetuar o fechamento da tubulação por onde escoo o fluido extraído. (THOMAS, 2001)

As válvulas BOP são projetadas para serem acionadas em casos de emergência provocando uma força de compressão no tubo que gera deformação plástica até provocar a total ruptura. Segundo o relatório apresentado pela Det Norske Veritas em 2011, os registros fotográficos da tubulação mostram que a BOP entrou em funcionamento, porém não atuou da forma adequada, ao invés de selar o tubo aconteceu um esmagamento do material.

Desta forma há indícios de falha de funcionamento do dispositivo de segurança, este fato pode ter direta relação com a forma como são projetados esses dispositivos, iniciando pelo critérios de falha considerados e os modelos matemáticos utilizados. Com base nas informações anteriores, se faz necessário realizar investigações para propor critérios de projeto que atendam às exigências desse tipo de dispositivos, levando em consideração que as tubulações aonde as válvulas atuam apresentam propriedades elasto-plásticas.

Revisando a literatura é possível observar um significativo avanço nas pesquisas relacionadas com o comportamento de elasto-plástico de materiais dúcteis. No trabalho de Malcher (2011) são descritas várias contribuições e a forma como os modelos evoluíram ao longo dos últimos anos.

Recentemente novas abordagens e aplicações relacionadas aos materiais elasto-plásticos foram apresentadas, como pode ser observado na publicação de Mamiya, et al (2014) onde é proposto um modelo baseado no terceiro invariante do tensor tensão, os resultados apresentados são satisfatórios quando confrontados com dados experimentais.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar a modelagem computacional para este dispositivo considerando um estágio de funcionamento, simulando o acionamento e, assim, analisar os resultados numéricos. Serão incluídos no modelo a geometria do riser e dois aríetes que constituem o mecanismo da válvula, com suas propriedades correspondentes. Por se tratar de um estudo inicial, foi implementado um modelo simplificado com o intuito de investigar a distribuição de forças e deslocamento do dispositivo, considerando a elastoplasticidade com endurecimento isotrópico.

A partir dos resultados preliminares, é possível avaliar o modelo utilizado e, posteriormente, serão realizadas as modificações necessárias para expandir o estudo, incluindo outros estágios de funcionamento, assim como realizar comparações com os resultados adquiridos experimentalmente e também melhorar a forma de funcionamento e geometria do sistema até obter um modelo robusto, que descreva de forma clara o comportamento da válvula de segurança.

2. GENERALIDADES DE ELASTO PLASTICIDADE

A seguir são apresentados alguns aspectos fundamentais e definições relacionadas aos modelos elasto-plásticos. Um dos aspectos fundamentais relacionados a estes modelos tem relação com a forma como os materiais se comportam na fase de escoamento, a seguir uma sucinta descrição dos principais aspectos dos critérios de escoamento.

2.1 Critérios de escoamento

Em geral é possível descrever um critério de escoamento do material por meio de uma função dependente do tensor de tensões σ e um conjunto de parâmetros internos, característicos do processo (A). Segundo Sandoval (2014), matematicamente pode ser representado como:

$$\Phi = \Phi(\sigma, A) \quad (1)$$

Quando se trata de materiais isotrópicos, a tensão de escoamento depende apenas das intensidades das tensões principais, dessa maneira o encruamento pode ser representado por um parâmetro escalar (parâmetro de encruamento), assim a equação de escoamento pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\Phi(\sigma, k) = F(\sigma) - \sigma_y(k) = 0 \quad (2)$$

Na expressão acima, a função dos estado de tensões $F(\sigma)$ equivale ao critério de escoamento e a segunda parcela da equação representa a lei de encruamento ($\sigma_y(k)$), dependente do parâmetro k, conhecido como variável interna de encruamento.

Para corpos deformáveis, a partir da equação (2), é possível estabelecer o comportamento do material, assim para o caso de materiais que apresentam comportamento elástico, temos:

$$\Phi(\sigma, k) \leq 0 \quad (3)$$

Por outro lado, a característica para os materiais elasto-plásticos é governada pela expressão:

$$\Phi(\sigma, k) \geq 0 \quad (4)$$

A partir das expressão acima é possível estabelecer um modelamento do material em função do carregamento. (SANDOVAL, 2014).

3. CRITÉRIOS DE FALHAS

Para o projeto de mecanismos utilizados na engenharia existem vários critérios de falhas, a seguir será descrito o critério de Mises, por ser um dos mais importante e amplamente utilizado.

3.1 Critério de Von Mises

Este critério de falha é baseado nas distorções provocadas pela energia de deformação formulada em 1913. Ao deformar um material por carregamento externo, este tende a armazenar energia internamente em todo o seu volume. Chama-se de energia por unidade de volume do material a densidade de energia de deformação e , se ele estiver sujeito a uma tensão uniaxial (σ), em geral podemos escrever a formulação matemática da seguinte forma:

$$\Phi(\sigma, \varepsilon^{-P}) = q - \sigma_y(\varepsilon^{-P}) \quad (5)$$

O termo ε^{-P} representa a deformação plástica equivalente, correspondente à variável interna de endurecimento isotrópico. A componente q , da equação 5, é denominada tensão equivalente de Mises, sendo representada, em função da tensão desviadora (S):

$$q = \sqrt{\frac{3}{2} S : S} \quad (6)$$

Medidas experimentais mostram que a tensão de escoamento dos metais é independente da componente hidrostática, embora a deformação na fratura seja fortemente influenciada por essa componente. A componente tensorial desviadora ou de desvio será responsável por estados de tensão cisalhantes que levam à mudança de forma na geração de deformação plástica. (HOSFORD & CADDELL, 2007).

Com base nisso, postulou-se o critério de escoamento (de falha) da energia de distorção máxima, enunciando que o escoamento ocorre em um material dúctil quando a energia de distorção por unidade de volume do material é igual ou maior que a energia de distorção por unidade de volume do mesmo material submetido a escoamento em um teste de tração simples.

Também é possível afirmar se um determinado estado de tensões se encontra dentro do envelope de falha, o comportamento é denominado elástico e se acontecer o caso contrário o comportamento é definido como elasto-plástico.

4. MODELAGEM DO SISTEMA

A modelagem e simulação foram realizadas no programa comercial Abaqus. A partir de seu ferramental CAD, é possível realizar todo o desenho do sistema. A principal ferramenta deste programa, o ambiente CAE, é o responsável por realizar as simulações numéricas e apresentar os resultados do problema para que sejam analisados posteriormente.

O material aplicado em todo o sistema é o Aço 4340 que possui um módulo de elasticidade de 205 GPa e um coeficiente de Poisson de 0,29.

Por se tratar de um problema elastoplástico, além das propriedades plásticas, a curva de encruamento do material também deve ser inserida e parte dela está mostrada na Fig. 2.

	Yield Stress	Plastic Strain
1	830	0
2	847.94	0.00499
3	870.27	0.01223
4	889.57	0.01969
5	906.92	0.0277
6	923.23	0.03673
7	938.76	0.04709
8	954.7	0.06005

Figura 1. Propriedades de Encruamento.

O sistema em questão é dividido em três partes: aríete macho, aríete fêmea e ríser. As seções transversais de cada um com as dimensões estão mostradas nas Figuras 2, 3, 4 e 5, mostradas abaixo. A ferramenta “*Extrude*” foi utilizada para criar o volume nas peças.

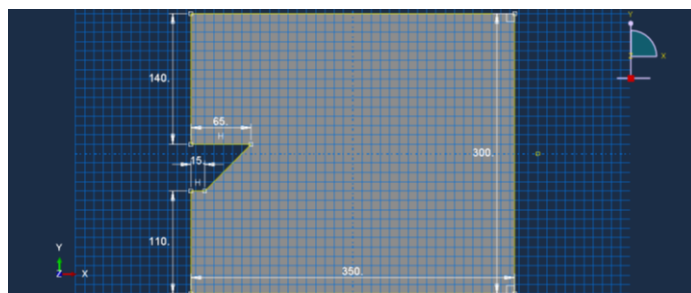


Figura 2. Geometria do aríete fêmea.

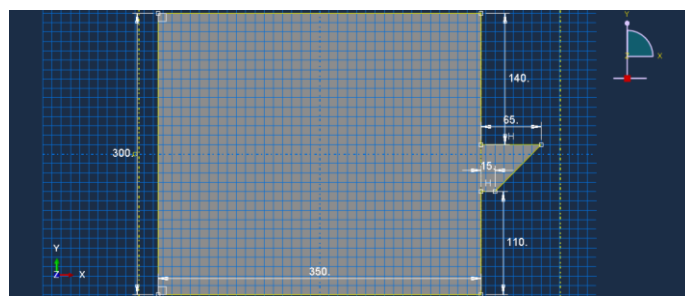


Figura 3. Geometria do aríete Macho.

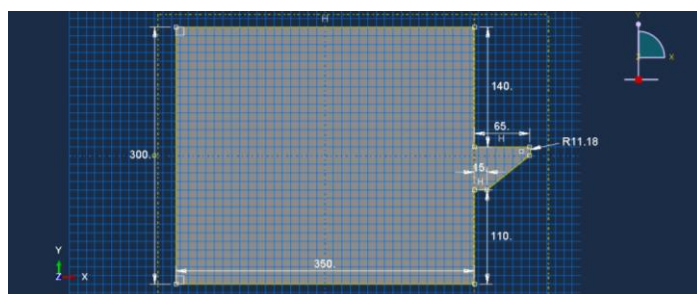


Figura 4. Geometria do aríete macho arredondado.

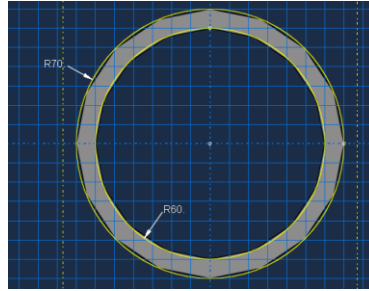


Figura 5. Geometria do ríser.

Após modelagem das três peças, foi feito o posicionamento de trabalho do sistema. Para tal, os aríetes foram localizados no centro do tubo, como mostrado na Fig. 6 abaixo.

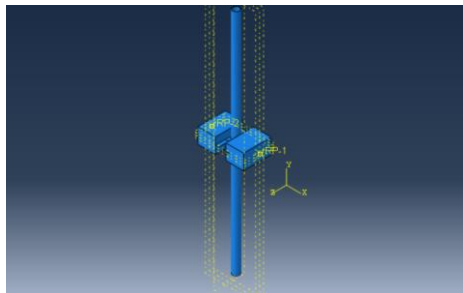


Figura 6. Posicionamento do sistema.

Este é um problema tipicamente de contato. A ponta do aríete macho toca o ríser e pressiona para realizar o corte por cisalhamento. Assim, propriedades desse contato devem ser inseridas no programa conforme Fig. 8 abaixo.

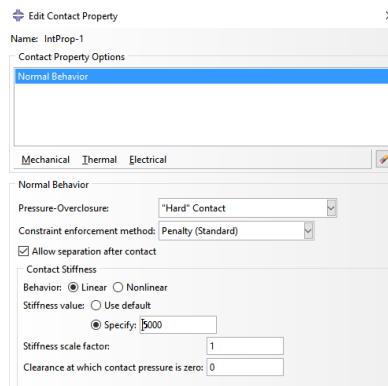


Figura 8. Propriedades do contato.

Inicialmente, por conta das simplificações adotadas até o momento, esse problema possui apenas três condições de contorno (ver Fig. 9). A primeira delas é que ambas extremidades do ríser estão engastadas. A segunda e terceira condição de contorno se referem ao deslocamento aplicado nos aríetes para avaliar as tensões resultantes no ríser.

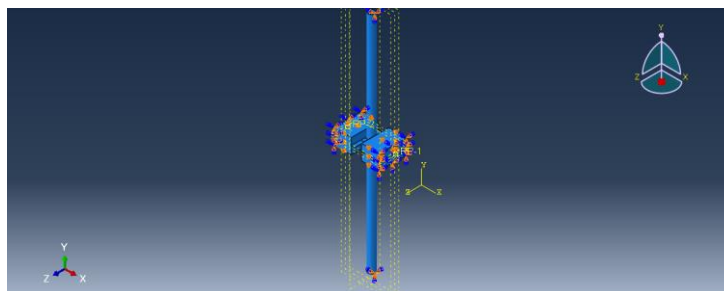


Figura 9. Condições de Contorno.

A construção da malha nos três componentes foi realizada pensando nos pontos de mais interesse, onde a malha deveria ser um pouco mais refinada para buscar resultados mais próximos do real. O aríete fêmea não possui tanta influência no cisalhamento do tubo e pode ter uma malha com elementos maiores, no caso tamanho 40. Já o aríete macho e ríser tiveram sua malha construída com elementos de tamanho 20. A Tabela 1 mostra o problema com as malhas aplicadas.

Tabela 1. Características das malhas

Componente	Tamanho do elemento	Quantidade de elementos	Quantidade de nós
Aríete macho	20	8400	9802
Aríete fêmea	40	1204	1590
Ríser	20	4972	9307

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fase inicial desse trabalho contou com a utilização de duas geometrias de corte para o aríete macho. Os dois resultados serão apresentados. Além disso, foi imposto deslocamento nos dois aríetes ao invés de força. Aplicando um deslocamento de 50mm em ambos os aríetes tem-se o resultado mostrado na Fig. 10 abaixo:

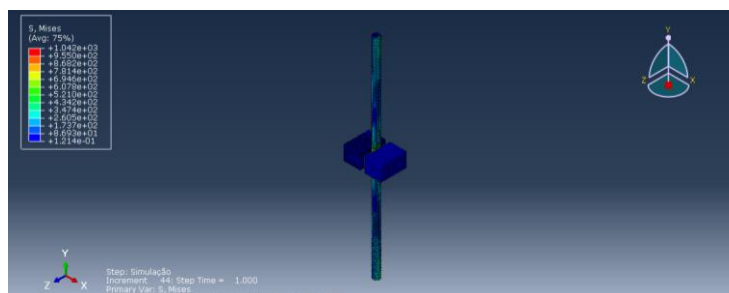


Figura 10 - Aspecto geral da simulação

Percebe-se que as maiores tensões no problema estão localizadas no centro do ríser, devido ao seu comprimento bastante elevado. As duas figuras abaixo mostram as tensões encontradas pelo critério já mencionado Mises, resultando em 1042 MPa com a geometria arredondada. Já com a geometria mais aguda, a tensão máxima de von Mises foi de 954,7 MPa.

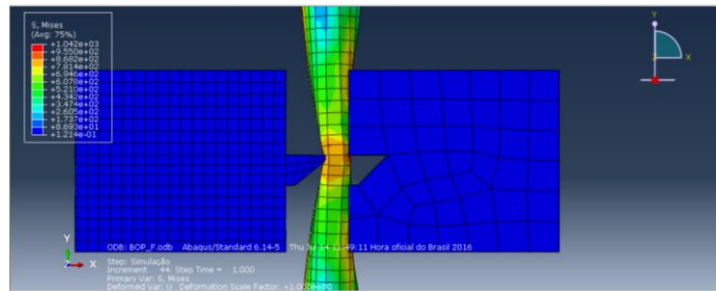


Figura 11. Tensão de von Mises com geometria arredondada

A curva de encruamento inserida no Abaqus possui uma tensão máxima de encruamento igual a segunda tensão de von Mises obtida. Assim, o material não chega a falhar com a geometria afiada, porém, com ela mais arredondada, a tensão máxima encontrada está acima da tensão máxima de encruamento e, assim, pode-se considerar que o rompimento do material.

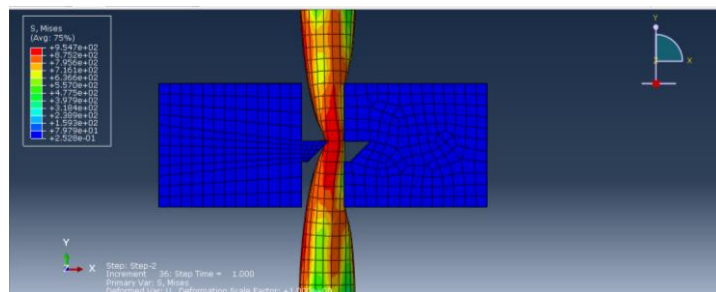


Figura 12. Tensão de von Mises com geometria afiada

O deslocamento final dos aríetes pode ser visto nas Figuras 13 e 14 abaixo. O aríete da esquerda responsável por efetuar o corte do riser praticamente deslocou o valor imposto na condição de contorno. Já o aríete da esquerda pode se deslocar 5mm além do previsto devido ao esmagamento do tubo que está em contato. Resultado semelhante para o deslocamento também pode ser visto com a segunda geometria do aríete.

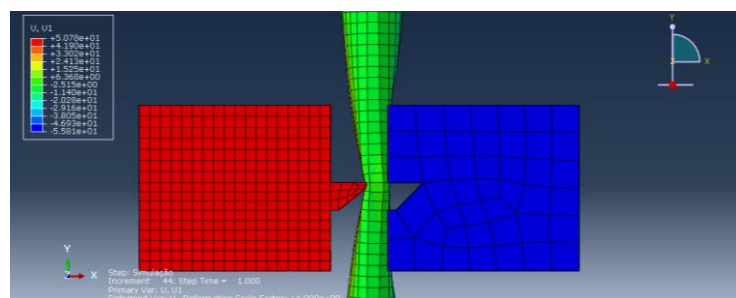


Figura 13 - Deslocamentos dos aríetes com geometria arredondada

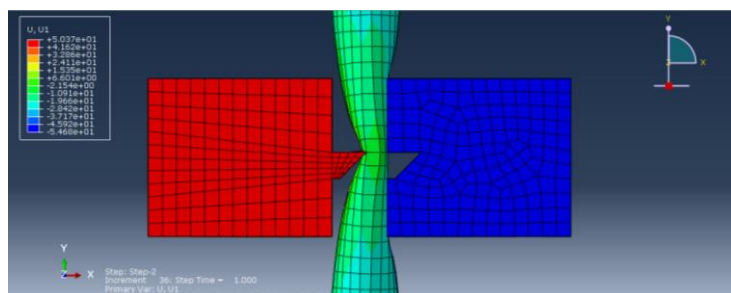


Figura 14 - Deslocamento dos aríetes com geometria afiada

A Figura 15 abaixo mostra o estado do ríser após a aplicação dos deslocamentos. Pela imagem consegue-se perceber que ainda o tubo não está vedando, sendo assim, o vazamento permaneceria e válvula, nesta circunstância, não cumpre com o seu objetivo.

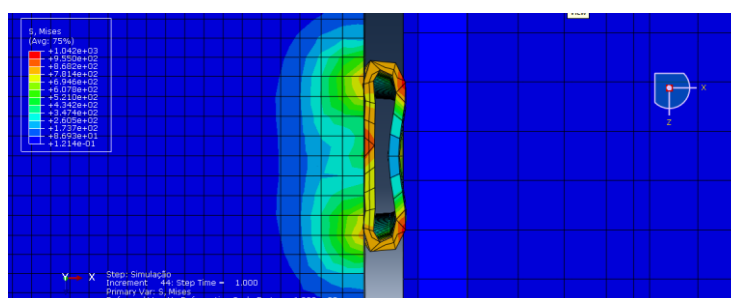


Figura 15 - Aspecto final do tubo

Sendo este o início de um novo estudo sobre válvulas do tipo BOP, os resultados aqui apresentados ainda tendem a evoluir. Algumas simplificações foram adotadas no problema, como, por exemplo, a aplicação de deslocamentos ao invés de forças, para que se tenha o início das simulações e ir incrementando o problema até que se tenha uma representação satisfatória do modelo. As propriedades de contato ainda devem ser melhor aprofundadas para obter resultados mais confiáveis, bem como as propriedades do Aço 4340.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta resultados preliminares e está em fase de implementação com o intuito de encontrar a melhor configuração da modelagem, para assim estabelecer um modelo robusto que possibilite comparar resultados para diferentes critérios de falha, o que, por sua vez, permitirá a visualização do funcionamento do mecanismo e seu comportamento.

REFERENCIAS

Det Norske Veritas (2011). Report No. EP030842.

Hosford, W. F., Caddell, R. M. (2007) Metal Forming, Journal of Applied Mechanics. Nova York: Cambridge University Press,

Mamiya E. N.; Malcher, I; Reis, F. J. P. ; Andrade, F.X.C; Cavalheiro J. V. S. (2014) Elastic-plastic model based on the third invariant of the deviatoric stress tensor: Monotonic and cyclic loading application. 11th. World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona.

Malcher, L.; Sandoval, C. F. B. (2015) Damage evolution law based on the micromechanical of defects and coupled in an unconventional yield surface. International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure, Paris. International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure - CFRAC, 2015. v. 1. p. 72-73.

Malcher, L., (2011). Da Mecânica do Dano Continuo: Uma evolução do Modelo de Lemaitre para Redução da Dependência do Ponto de Calibração. Tese de Doutorado em Ciências Mecânicas Publicação ENMTD-09/2011. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília.

Sandoval, C.F.B. (2013). Modelos Elasto-plásticos e a sua Influência no Processo de Dimensionamento de Componentes Mecânicos. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM.DM - 211/2014, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88p.

Thomas, J. E. (2001). Fundamentos de Engenharia do Petróleo, 2º Edição. Editora Interciência.