

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



TÍTULO DO TRABALHO:

SIMCARR - FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA PROJETOS E ACOMPANHAMENTOS DE POÇOS

AUTORES:

Diego Wohlers da F. Almeida¹, Sérgio A. B. da Fontoura¹

Roni A. Gandelman², Alex Tadeu de A. Waldmann²

INSTITUIÇÃO:

1. GTEP/PUC-RJ

2. PETROBRAS

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela a 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.

SIMCARR - FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA PROJETOS E ACOMPANHAMENTOS DE POÇOS

Abstract

Currently, the well drilling is still one of the most complex steps in the oil industry. With the new fields discoveries, increased the difficulties during drilling so that new technologies were developed. Thus, the use of computational tools becomes increasingly essential during this process to have a better understanding of the phenomenon. Among the phenomena that occur during well drilling, cleaning is one of those who require more attention. If the transport of generated solids by the bit is not satisfactory, can cause serious risks to the operation, which may lead to loss of the well.

Introdução

Atualmente a indústria do petróleo vem enfrentando desafios muito mais complexos do que os já enfrentados anteriormente. Esses desafios se devem principalmente a descoberta de novos campos de petróleo, fazendo com que a indústria passasse por um momento de reflexão. Com as novas descobertas, novos desafios tecnológicos surgem e com isso, o uso de ferramentas computacionais se torna cada vez mais indispensável.

Dentro da Petrobras, o software utilizado para projetos e acompanhamento de poços é o SIMCARR, simulador de hidráulica de perfuração e carreamento de cascalhos, desenvolvido pelo GTEP/PUC-RJ em parceria com o CENPES/PETROBRAS. Desde 1992 quando foi lançada sua primeira versão, o simulador passou por várias reformulações visando sempre suprir as demandas da indústria. Atualmente o software conta com inúmeros recursos que simulam vários dos fenômenos encontrados durante uma perfuração de um poço de petróleo. Em águas ultra profundas, por exemplo, formações rochosas apresentam baixa competência e, conseqüentemente, a janela operacional entre pressão de poros e pressão de fratura é bem reduzida, por isso um projeto de poço adequado que leve em consideração os aspectos de limpeza, minimizar a formação de leito, avaliação da pressão no fundo do poço, é de fundamental importância.

A limpeza do poço, como é conhecida o processo de carreamento dos cascalhos durante a perfuração do poço é ainda hoje um dos pontos mais críticos. Com isso, um simulador de hidráulica e limpeza de poços deve ser capaz de capturar todos os fenômenos que governam o transporte de sólidos até a superfície. Estes fenômenos incluem a resposta do escoamento sólido-líquido no anular, o perfil de pressões no poço durante a perfuração e outros aspectos importantes, tais como otimização de jatos de broca, estimativa de pressão de bombeio, concentração de sólidos e outros. Portanto, os modelos utilizados devem ser capazes de prever com acurácia os efeitos de parâmetros operacionais relevantes, tais como: propriedades reológicas do fluido de perfuração, vazão, rotação de coluna e excentricidade, taxa de penetração, geometria da coluna, propriedades dos cascalhos gerados (densidade e diâmetro) entre outros.

O estudo de escoamento sólido-líquido estratificado no anular é de grande interesse para a engenharia de petróleo, especialmente para a área de perfuração. Este tipo de escoamento descreve os fenômenos que governam o transporte de sólidos em poços horizontais e altamente inclinados. Devido aos efeitos gravitacionais, os sólidos e a coluna de perfuração tenderão a se posicionar na parte inferior do anular. Este processo é caracterizado pelo escoamento estratificado sólido-líquido não Newtoniano em um anular excêntrico. Os sólidos devem ser mantidos em suspensão evitando problemas operacionais, tais como torque e drag anormais durante a movimentação de coluna.

Metodologia

O modelo de carregamento de sólidos é baseado em uma abordagem mecanicista para caracterizar o escoamento sólido-líquido não newtoniano em um anular excêntrico. Uma abordagem usual para modelagem de escoamento bi-fásico estratificado consiste em escrever a equação de momento unidimensional para as duas camadas. A camada inferior representa o leito de cascalho estacionário depositado na seção horizontal do anular, devido a forças gravitacionais. A camada superior representa o fluido de perfuração que escoar na porção superior do anular. Em uma situação genérica, onde ambas as camadas movem-se e há transporte de massa entre ambas, o problema deve ser formulado escrevendo duas equações de transporte de massa e duas equações de momento (Martins and Santana, 1992). Esta abordagem considera vários padrões de escoamento, nos quais o sistema sólido-líquido flui em uma seção anular horizontal. Este modelo permite os cálculos de vários parâmetros de limpeza de poço, tais como: concentração de sólidos, altura de leito e padrões de escoamento.

O modelo usado no SIMCARR foi proposto por Martins (1990) e considera duas camadas estratificadas, um leito de sólidos e uma suspensão, para representar o mecanismo de deslizamento do leito. O modelo permite, além disso, caracterizar o sistema com os seguintes padrões de escoamento proposto por Iyoho (1980):

1. Leito estacionário: deposição de partículas sólidas na parte inferior do anular, formando um leito estático;
2. Leito móvel: deposição de partículas sólidas na parte inferior do anular, formando um leito que se movimenta com o escoamento;
3. Suspensão heterogênea: caracterizada por um sistema totalmente em suspensão e a fase sólida apresenta um perfil de concentração ao longo do poço.

Além desses três padrões propostos pelo Iyoho, atualmente o simulador conta com outros dois padrões, suspensão heterogênea com acúmulo de sólidos e transporte deficiente, que foram adicionados para melhor interpretação dos resultados pelo usuário.

Assim como em toda modelagem, algumas simplificações foram necessárias para implementação do modelo. São elas:

- Altura de leito constante ao longo do tempo;
- Parâmetros reológicos constantes ao longo da seção horizontal;
- Os sólidos são caracterizados por um diâmetro médio e uma esfericidade;
- Os efeitos de tensão superficial e transferência de massa entre as fases líquidas e sólidos são desprezados;
- O efeito de escorregamento entre as fases líquida e sólida em cada uma das camadas também é desprezado.

A metodologia adotada neste trabalho é baseada no modelo descrito acima, onde foi usado o simulador SIMCARR 2010 para apresentar alguns de seus resultados mostrando assim a sua importância tanto para etapa de projeto quanto para o acompanhamento de poços, podendo inclusive levar a tomadas de decisões que possam vir a interferir positivamente no processo de perfuração.

As principais estradas de dados utilizadas no simulador são: tipo de fluido de perfuração, reologia e densidade do fluido, gradiente geotérmico, diâmetro e densidade da partícula, vazão de bombeio, taxa de penetração, dados de broca, dados de coluna e revestimento do poço. Como resultados, o simulador apresenta o perfil de padrões de fluxo ao longo do poço, parâmetros de limpeza, como por exemplo, concentração total de sólidos no anular, razão de transporte e altura de leito. Um resumo dos resultados de hidráulica também é apresentado, como por exemplo, perdas de cargas, pressões no fundo e na sapata, ecd e pressão de bombeio. Outro ponto positivo do simulador são os módulos, que simulam grande parte dos fenômenos que ocorrem durante uma perfuração. Atualmente o SIMCARR apresenta os seguintes módulos:

- Módulo de surge e swab;
- Módulo de perfuração com alargadores;
- Módulo de gel;
- Módulo de expansão térmica;
- Módulo de perfuração com MPD;
- Módulo de circulação pelas linhas de kill e choke.

Resultados e Discussão

Os resultados que serão apresentados aqui é uma pequena demonstração do potencial do simulador. Uma vez que existem inúmeros resultados que podem ser extraídos após uma simulação. A Figura 1 apresenta a tela principal do SIMCARR contendo na parte superior um menu de opções na parte superior e também um menu em árvore no canto esquerdo.



Figura 1 – Tela inicial do SIMCARR

Ao clicar no botão *Editar* no menu será aberta a tela de edição de dados onde o usuário poderá entrar com todos os dados necessários para poder simular o poço que está ou será perfurado. A tela de edição de dados é mostrada na Figura 2. Nessa tela são encontrados os dados do fluido utilizado como,

tipo de fluido, reologia e densidade. Na tela de edição da bomba e das partículas são encontrados os valores referentes a esses campos. Para esse exemplo foi utilizado uma vazão de bombeio de 900 gpm com uma densidade e diâmetro de partícula de 21,4 lb/gal e 0,20 in respectivamente.

	T1 (°F)
600	69.0
300	45.0
200	34.0
100	23.0
6	11.0
3	10.0

Figura 2 – Tela de edição de dados

Os dados da trajetória do poço podem ser adicionados no simulador de três maneiras: acompanhamento, projeto e poço vertical. O modo de acompanhamento como o nome já sugere é utilizado durante o acompanhamento da perfuração, ou seja, à medida que a broca vai avançando, o usuário vai entrando com o valor da profundidade medida, da inclinação e do azimuth. O modo de projeto que é o que está sendo usado nesse exemplo é utilizado durante a fase de projeto do poço, ou seja, fase em que é estudada a melhor trajetória que o poço deve ter para alcançar seu objetivo. Já no modo vertical, o usuário pode simular um poço vertical. Na Figura 3 é mostrada a tela de edição para a trajetória do poço e também um gráfico como trajetória montada. Nesse exemplo o poço tem uma profundidade final (medida) de 4100 metros, sendo 731 metros de trecho horizontal.

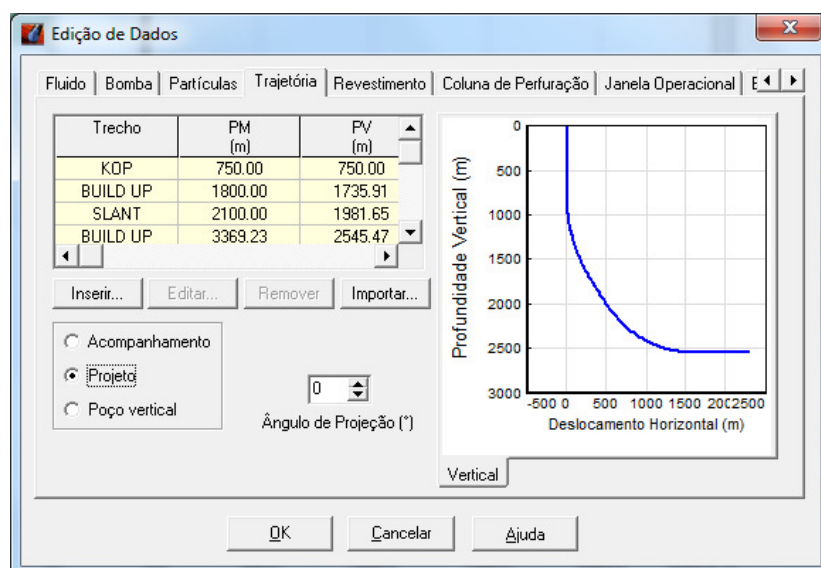


Figura 3 – Tela de edição da trajetória do poço

Na tela de revestimento mostrada na FIGURA 4, o usuário tem a opção de entrar com os seguintes itens: riser, último revestimento, liner e poço aberto. Existe também a opção de fazer a

perfuração com retorno para o fundo do mar. Esse tipo de perfuração geralmente acontece nas fases iniciais fazendo-se uso da água do mar como fluido de perfuração. No exemplo apresentado, o último revestimento descido foi de 18 5/8 in a uma profundidade de 990 metros e agora está sendo perfurada a fase de 17 1/2 in chegando a uma profundidade final de 1800 metros.

Elemento	Diâm Interno (in)	Diâm Externo (in)	Prof Medida (m)
Riser	19 1/2	20 1/2	700.00
Últ. Rev.	17.756	18 5/8	990.00
Poço Aberto	17 1/2	17 1/2	1800.00

Figura 4 – Tela de edição do revestimento

Na tela de edição da coluna de perfuração mostrada na FIGURA 5, o usuário deve entrar com os elementos que compõem a coluna, a taxa de penetração da broca e os dados da broca. No exemplo mostrado foi utilizada uma taxa de penetração de 3 m/h e uma broca com seis jatos de 16 in/32 de diâmetro.

Nome	Diâm Externo (in)	Comprimento (m)
Equip. Direcional	6 3/4	30.00
Tubo Pesado	5	120.00
Comando	6	40.00

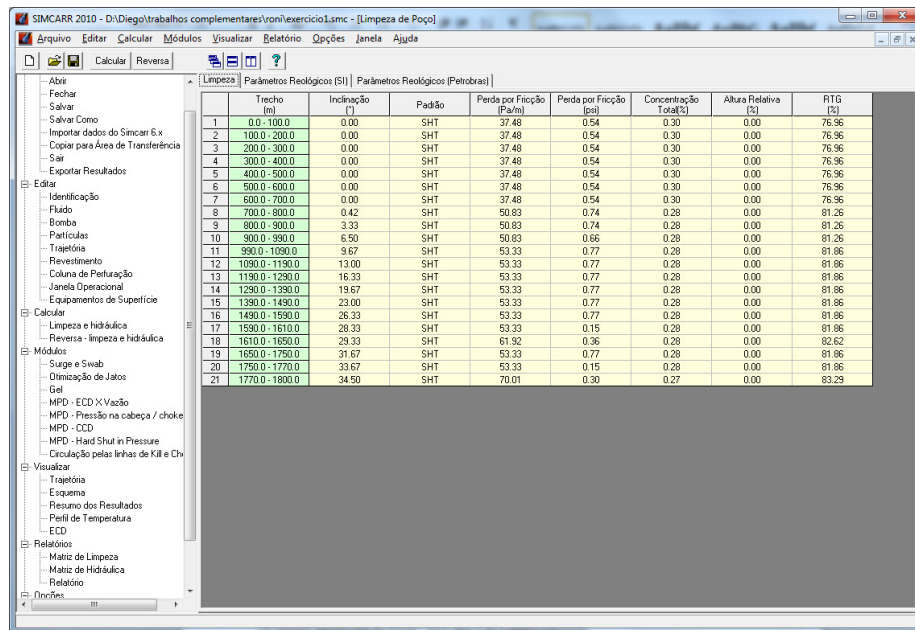
Figura 5 – Tela de edição da coluna de perfuração

Os outros dois campos de edição de dados fazem referência a janela operacional (pressão de poros e fratura) e a perda de carga dos equipamentos de superfície. Esses dados não são obrigatórios, mas caso o usuário tenha esses dados deve editá-los, pois assim a simulação torna-se mais realista.

Após sair da tela de edição e clicar no botão de calcular, são mostrados três resultados: limpeza, hidráulica e o padrão de fluxo. Na Figura 6 é mostrado o resultado da limpeza por trechos,

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

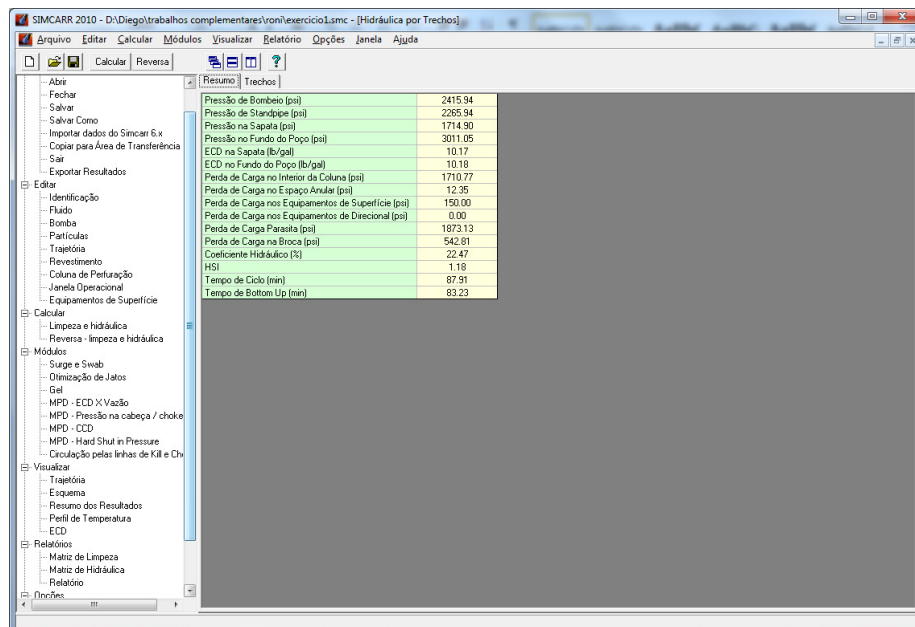
onde o usuário pode encontrar vários parâmetros que regulam a limpeza do poço, como por exemplo, altura de leito relativa, concentração total de sólidos e razão de transporte.



	Trecho (m)	Inclinação (°)	Padão	Perda por Fricção (Pa/m)	Perda por Fricção (psi)	Concentração Total (%)	Altura Relativa (%)	RTG (%)
1	0.0 - 100.0	0.00	SHT	37.48	0.54	0.30	0.00	76.96
2	100.0 - 200.0	0.00	SHT	37.48	0.54	0.30	0.00	76.96
3	200.0 - 300.0	0.00	SHT	37.48	0.54	0.30	0.00	76.96
4	300.0 - 400.0	0.00	SHT	37.48	0.54	0.30	0.00	76.96
5	400.0 - 500.0	0.00	SHT	37.48	0.54	0.30	0.00	76.96
6	500.0 - 600.0	0.00	SHT	37.48	0.54	0.30	0.00	76.96
7	600.0 - 700.0	0.00	SHT	37.48	0.54	0.30	0.00	76.96
8	700.0 - 800.0	0.42	SHT	50.83	0.74	0.28	0.00	81.26
9	800.0 - 900.0	3.33	SHT	50.83	0.74	0.28	0.00	81.26
10	900.0 - 990.0	6.50	SHT	50.83	0.66	0.28	0.00	81.26
11	990.0 - 1090.0	9.67	SHT	53.33	0.77	0.28	0.00	81.86
12	1090.0 - 1190.0	13.00	SHT	53.33	0.77	0.28	0.00	81.86
13	1190.0 - 1290.0	16.33	SHT	53.33	0.77	0.28	0.00	81.86
14	1290.0 - 1390.0	19.67	SHT	53.33	0.77	0.28	0.00	81.86
15	1390.0 - 1490.0	23.00	SHT	53.33	0.77	0.28	0.00	81.86
16	1490.0 - 1590.0	26.33	SHT	53.33	0.77	0.28	0.00	81.86
17	1590.0 - 1610.0	28.33	SHT	53.33	0.15	0.28	0.00	81.86
18	1610.0 - 1650.0	29.33	SHT	61.82	0.36	0.28	0.00	82.62
19	1650.0 - 1750.0	31.67	SHT	53.33	0.77	0.28	0.00	81.86
20	1750.0 - 1770.0	33.67	SHT	53.33	0.15	0.28	0.00	81.86
21	1770.0 - 1800.0	34.50	SHT	70.01	0.30	0.27	0.00	83.29

Figura 6 – Resultado da limpeza por trechos

Na Figura 7 é mostrado o resultado para a hidráulica. Nele é apresentado um resumo dos principais parâmetros que são acompanhados durante a perfuração do poço, como por exemplo, pressão de bombeio, pressão no fundo e na sapata, perda de carga na coluna e no anular, ecd e outros. Nele podemos observar que a pressão de bombeio requerida foi de aproximadamente 2416 psi. Já a pressão no fundo ficou em 3011 psi. Valores como tempo de ciclo e HSI também podem ser obtidos nessa tabela.



Resumo	Trechos
Pressão de Bombeio (psi)	2415.94
Pressão de Standpipe (psi)	2265.94
Pressão na Sapata (psi)	1714.90
Pressão no Fundo do Poço (psi)	3011.05
ECD na Sapata (lb/gal)	10.17
ECD no Fundo do Poço (lb/gal)	10.18
Perda de Carga no Interior da Coluna (psi)	1710.77
Perda de Carga no Espaço Anular (psi)	12.95
Perda de Carga nos Equipamentos de Superfície (psi)	150.00
Perda de Carga nos Equipamentos de Direcional (psi)	0.00
Perda de Carga Parasita (psi)	1873.13
Perda de Carga na Broca (psi)	542.81
Coefficiente Hidráulico (%)	22.47
HSI	1.18
Tempo de Ciclo (min)	87.91
Tempo de Bottom Up (min)	83.23

Figura 7 – Resumo dos resultados da hidráulica

Na Figura 8 é mostrado o resultado para os padrões de fluxo, nesse caso todo o poço apresenta um padrão de suspensão heterogênea, ou seja, não existe nenhum acúmulo de cascalhos em nenhuma

extensão do poço. Também é apresentado um perfil ao longo do poço para a altura de leito relativa, para a concentração total de sólidos e para a razão de transporte.

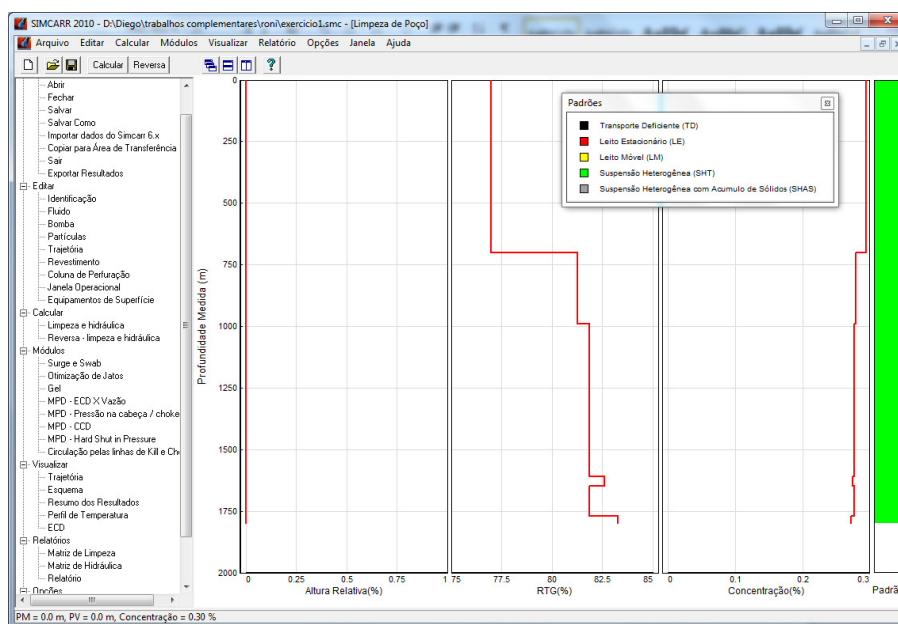


Figura 8 – Padrões de fluxo

Outros resultados importantes podem ser obtidos a partir dessa mesma simulação, como por exemplo, simular uma movimentação de coluna, uma retomada de circulação com fluido gelificado, a expansão térmica de um fluido, operações de perfuração com MPD, otimização dos jatos da broca, perfuração com alargadores e circulação pelas linhas de kill e choke.

Conclusões

Foi apresentada aqui uma breve descrição de um dos simuladores mais utilizados dentro da Petrobras para a etapa de projeto e acompanhamento de poços. O SIMCARR como é conhecido, vem evoluindo ao longo dos anos para estar sempre suprindo as necessidades da empresa. Nós aqui do GTEP/PUC-RIO estamos sempre em sincronia com a equipe do CENPES/PETROBRAS para manter esse simulador sempre atualizado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao GTEP / PUC-Rio e ao Cenpes/Petrobras.

Referências Bibliográficas

- Martins, A. L., “Modelagem e Simulação do Escoamento Axial Anular de Mistura Sólido-Fluido Não-Newtoniano em Dutos Horizontais e Inclinados”, Master Dissertation, Department of Petroleum Engineering, Campinas State University, Sao Paulo, Brazil, 1990.
- Iyoho, A.W., “Drilled Cuttings Transport by Non Newtonian Drilling Fluids Through Inclined, Eccentric Anulli”, Doctoral Thesis, University of Tulsa, 1980.
- Santana, M., Martins, A.L., Sales, A., “Advances in the Modeling of Stratified Solids-Liquid Annular Flow”, 12th Brazilian Congress of Chemical Engineering, 1992.