

SIMULAÇÃO EM ESCALA REAL DA LIMPEZA DO POÇO X DIRECIONAL UTILIZANDO O SIMCARR®

Isabela Portugal do Nascimento¹

Landson Soares Marques²

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo estudar o mecanismo de transporte de sólidos pelo fluido de perfuração e sua importância na limpeza de poços durante a perfuração direcional utilizando o simulador de limpeza e hidráulica de poços (SIMCARR). Essa ferramenta é útil para o projeto de um poço definindo as faixas de trabalho das variáveis operacionais que minimizam a formação de leito em poços de alta inclinação. Os resultados apresentados serão os principais pontos da perfuração do Poço X direcional, situado no município de Araçás, tomando como base as descrições do projeto e as análises da limpeza do poço através de gráficos de vazão, densidade do fluido e taxa de penetração, todos em relação à concentração de sólidos e altura relativa do leito gerados por uma matriz do SIMCARR®. O trecho onde ocorre o ganho de ângulo existe uma deficiência na limpeza, para que esta situação seja resolvida e a perfuração não esteja em risco, é necessário controlar os principais parâmetros envolvidos. Foi demonstrado que o aumento da vazão do poço e densidade do fluido provoca uma diminuição da concentração de sólidos no anular e na altura relativa do leito. E o aumento da taxa de penetração provoca um aumento na concentração de sólidos no anular e na altura relativa do leito.

Palavras-chave: Perfuração direcional. Limpeza de poço. SIMCARR®.

ABSTRACT

This work aims to study the solid transport mechanism for drilling fluid and its importance in cleaning wells during directional drilling using the cleaning simulator and hydraulic wells (SIMCARR®). This tool is useful for the design of a well defining the working groups of the operating variables that minimize the bed formation in high inclination wells. The results presented are the main points of the drilling of the well directional X, located in the Araçás city, based on the descriptions of the design and analysis of the well cleaning through flow charts, fluid density and penetration rate, all in over the concentration of solids and relative height of the bed generated by an array of SIMCARR®. During the buildup angle of the well there is a deficiency in the cleaning, so that this situation is resolved and the drilling is not jeopardized, it is necessary to control the main parameters involved. It has been shown that the increased flow from the well and fluid density causes a decreased concentration of solids in the annular and the relative height of the bed. And the increase in penetration rate results in an increase in the solids concentration in the annular and the relative height of the bed.

Keywords: Directional drilling; Well clean; SIMCARR®.

¹ Bacharel em Engenharia Mecânica do Centro Universitário Estácio da Bahia.

² Mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente (UFBA). Professor do curso de Petróleo e Gás do Centro Universitário Estácio da Bahia.

INTRODUÇÃO

O petróleo atualmente é a principal fonte de energia do mundo, utilizado na indústria petroquímica, farmacêutica, de cosméticos e energia. Ele move o mundo, por isso, novas tecnologias para sua exploração, desenvolvimento, distribuição e refino estão sempre sendo desenvolvidas e aprimoradas tanto nas empresas como nos centros universitários e tecnológicos de pesquisa.

A perfuração é uma técnica que permite conectar o reservatório de petróleo com a superfície e assim elevar os fluidos produzidos pelo poço (gás, óleo e água). A perfuração direcional tem sido vista como uma maneira de aumentar a produtividade do poço, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais, pois as novas tecnologias permitem perfurar horizontalmente, expondo assim, uma maior área do reservatório em contato com o poço. Está sendo aplicada em poços de desenvolvimento e exploratórios superando significativamente a quantidade de poços verticais (ROCHA, *et. all.*, 2008).

A perfuração direcional mantém o poço em um rumo específico, permitindo que o objetivo/alvo seja alcançado. Ela é utilizada quando o objetivo e a cabeça de poço não estão na mesma direção vertical. Permite aumentar a produtividade do poço, pois aumenta o contato com o reservatório e ao mesmo tempo reduz os impactos ambientais. Começou a ser utilizada como operação reparadora de alguns problemas especiais da perfuração tais como, desvios a partir de um poço já perfurado (*Sidetrack*), motivados por um peixe (ROCHA, *et. all.*, 2008).

Vários são os motivos para utilizar a perfuração direcional, como a exploração em áreas urbanas e de proteção ambiental, controle de falhas, locação inacessível, poço de alívio para controle de *Blowout*, perfuração em formações salinas, em áreas fraturadas e perfuração a partir de uma plataforma única (MACHADO, 2010).

A perfuração é realizada por uma sonda onde as rochas são atravessadas pela ação da rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração, os fragmentos das rochas são removidos continuamente através de um fluido de perfuração que é injetado pelo interior da coluna e retorna pelo anular entre o revestimento e a coluna (CARDOSO, 2005).

O fluido de perfuração ou lama tem diversas funções, como o resfriamento da coluna de perfuração, manutenção da estabilidade do poço, pois exerce pressão hidrostática impedindo assim o fluxo de fluidos indesejados (*kick*), carreamento dos cascalhos até a superfície, realizando a limpeza do poço, e por isso precisam ter

propriedades para manter os sólidos em suspensão durante as paradas de operações. Essa operação de remoção dos cascalhos gerados pela broca através do fluido de perfuração é conhecida como limpeza de poço (THOMAS, *et. all.*, 2004).

Segundo Coelho (2009) em casos de poços inclinados (direcionais) uma atenção maior deve ser dada a essa limpeza, pois nos trechos de alta inclinação existe uma tendência dos sedimentos separarem-se do fluido e formarem um leito na parte inferior, sendo este responsável por diversos problemas causados na perfuração. Esses problemas estão relacionados com parâmetros que influenciam na limpeza e na hidráulica dos poços durante a perfuração.

Hoje a perfuração direcional é um padrão na construção de poços de desenvolvimento e poços exploratórios, por isso é importante que um eficiente planejamento de poços seja feito de modo a evitar surpresas desagradáveis e nesse caso a escolha do fluido de perfuração é um passo chave para o sucesso da operação (ROCHA *et all.*, 2008).

O presente trabalho visa estudar a importância da limpeza de poço durante a perfuração direcional através de simulações realizadas no SIMCARR (simulador de limpeza e hidráulica de poço), desenvolvido pelo Grupo de Tecnologia em Engenharia de Petróleo da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (GTEP/PUC-RIO) e o Setor de Tecnologia de Poços do CENPES/PETROBRAS, realizadas durante a perfuração de um Poço X direcional, situado no município de Araçás-Ba.

A não eficiência da limpeza, realizada através da circulação do fluido de perfuração, pode trazer problemas para as operações durante a perfuração. Tais problemas como a prisão de coluna, perda de circulação, diminuição da taxa de penetração da broca, entre outros, são considerados como anomalias que podem ser remediadas evitando-se assim, aumento dos custos do projeto de perfuração, seu tempo de realização e em casos extremos a perda do poço (MALOUF, 2013).

METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa desenvolvida nesse trabalho foi composta basicamente por pesquisas bibliográficas em livros, artigos, teses, monografias, dissertações, revistas técnicas, manuais, sistema SIMCARR, arquivos da Empresa A e consulta aos profissionais da área. A Figura 1 representa as etapas para criação de uma simulação no sistema SIMCARR.

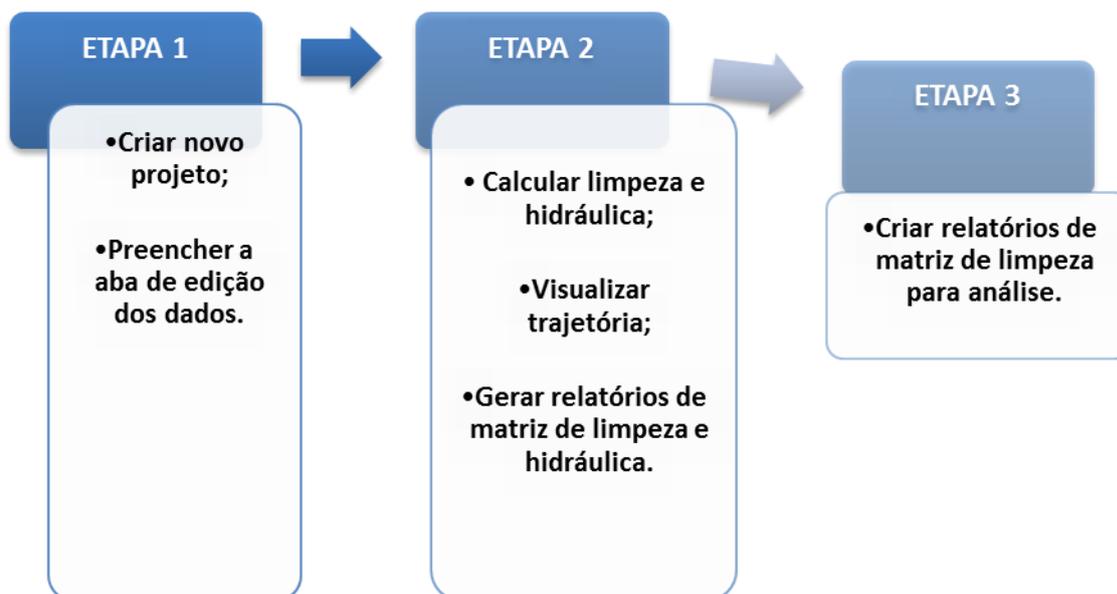


Figura 1: Etapas para criação de uma simulação no SIMCARR®

Etapa 1 – Criar um novo projeto no sistema e preencher a aba de edições dos dados com as informações sobre: Identificação, fluido, bomba, partícula, trajetória, revestimento, coluna de perfuração, equipamentos de superfície, entre outros.

Etapa 2 – Após informar todos os dados para realizar a simulação pode-se calcular a limpeza e hidráulica do poço, visualizar a trajetória e gerar relatórios de limpeza e hidráulica.

Etapa 3 – Criar os relatórios de matriz de limpeza do poço com o mínimo, máximo de cada parâmetro e a taxa de incremento (vazão, taxa de penetração e densidade do fluido).

O SIMCARR® é um simulador de hidráulica de perfuração e limpeza em poços verticais e inclinados e um dos mais importantes simuladores utilizados pela Empresa A na fase de projeto e durante a perfuração do poço.

A análise de limpeza de poços através do simulador consiste no cálculo de diversos parâmetros, como a altura leito de cascalhos depositados no anular, o padrão de escoamento, a concentração de sólidos em suspensão no anular e a razão de transporte de cascalhos. A simulação hidráulica de poço deve ser capaz de captar todos os fenômenos que governam o transporte de sólidos até a superfície e consiste no cálculo das perdas de carga ao longo de todos os equipamentos durante a perfuração e determinação das pressões em pontos importantes do sistema (COSTA, MARTINS, FONTOURA, 2006).

O SIMCARR[®] é um programa que trata o poço como um sistema com parâmetros fixos: ignora-se pausas para conexões, repasses, manobras, registro direcional etc.

LOCALIZAÇÃO DO POÇO X

O Poço X direcional em estudo conforme a Empresa A, está situado no Polo de Araçás que é composto por sete campos terrestres pertencentes à Bacia do Recôncavo Baiano.

Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo a Bacia do Recôncavo começou a ser explorada em 1937 e o primeiro poço produtor foi o 1-L-3-BA (Lobato) em 1939. A Figura 2 representa a localização do Poço X no estado da Bahia no município de Araçás.



Figura 2: Localização do Poço X.

Segundo dados da Empresa X, o polo de Araçás em Maio/2016 possuía quinhentos e trinta e cinco poços perfurados entre os estados: 0 – aguardando completação, 1 – em produção normal, 2 – em produção com perdas, 3 – parado com perdas, 4 – parado por estratégia, 5 – parado sem perdas e 6 – desativado. Destes poços, duzentos e oitenta e oito estão nos estados 1, 2 e 3 com uma produção de 8000 bbl/dia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados serão os principais pontos da perfuração do Poço X, tomando como base as descrições do projeto e o que foi realizado durante a perfuração. Será analisado a limpeza do poço X através de uma matriz do SIMCARR® que permite a elaboração de gráficos, sendo estes, base para estudos dos efeitos de alguns parâmetros no cálculo de limpeza de poço. Como a perfuração do poço foi concluída sem problemas e todas as simulações reais realizadas no SIMCARR® foram ótimas, evidenciando baixa concentração de sólidos, da altura relativa de leito e o regime de escamento suspensão heterogênea, a simulação realizada neste trabalho tem o objetivo de demonstrar uma situação em que a limpeza do Poço X está ineficiente.

Foi realizado 20 dias de DTM e 47 dias de operação durante a intervenção de perfuração. É importante ressaltar que essas variações entre tempo previsto e realizado acontecem devido a imprevistos que ocorrem durante a perfuração do poço, chamados de anomalias (representam o tempo perdido das atividades devido à falha dos equipamentos da sonda, falha da equipe de trabalho, planejamento, entre outros). O acompanhamento da limpeza do poço é responsável por prevenir problemas, ou seja, anomalias e conseqüentemente atender o projeto e não causar aumento nos custos;

Na perfuração do Poço X foi cravado condutor de 20" com bate-estaca até a profundidade de 10,6 m, onde foi atingido o ponto de nega da formação e em seguida perfurada a primeira fase (12 ¼") de superfície até 1054 m com uma broca *Stinger*. A fase de produção (8 ¾") foi perfurada de 1054 m até 2150 m com broca híbrida (*Kymera*) e concluída de 2150 m até a profundidade final do poço 2628 m com broca *PDC*.

A simulação foi realizada após o poço atingir sua profundidade final de 2628 m antes da descida do revestimento de produção de 7", ou seja, a fase II do poço estava com o diâmetro da broca 8 ¾" e a fase I, perfurada até 1054 m e revestida com revestimento de 9 5/8".

Inicialmente foram preenchidos todos os campos de edição do sistema SIMCARR® para realização da simulação na profundidade final do poço de 2628m e em seguida gerado gráficos para análises da influência dos parâmetros: vazão,

concentração de sólidos, altura relativa do leito, densidade dos fluidos e taxa de penetração na limpeza do poço.

As principais informações inseridas ou selecionadas foram: modelo reológico não-Newtoniano, fluido não aquoso/sintético, peso de 9,3 lb/gal, vazão de 300 gpm com eficiência de 97%, litologia Folhelho (22,5 lb/gal) com diâmetro de 0,250in, trajetória do poço (PM, PV e inclinação dos registros direcional), revestimentos do poço (a simulação foi realizada com poço revestido até 1051.3m por revestimento de 9 5/8" e poço aberto de 8 3/4" até 2628 m) e os componentes coluna de perfuração (DP de 5", HW de 5", comando de 6 3/4" e equipamento direcional de 6 3/4"). Uma taxa de penetração da broca fictícia de 100 m/h.

A Figura 3 representa a trajetória do Poço X gerado pelo SIMCARR® após cadastro de todos os registros direcionais.

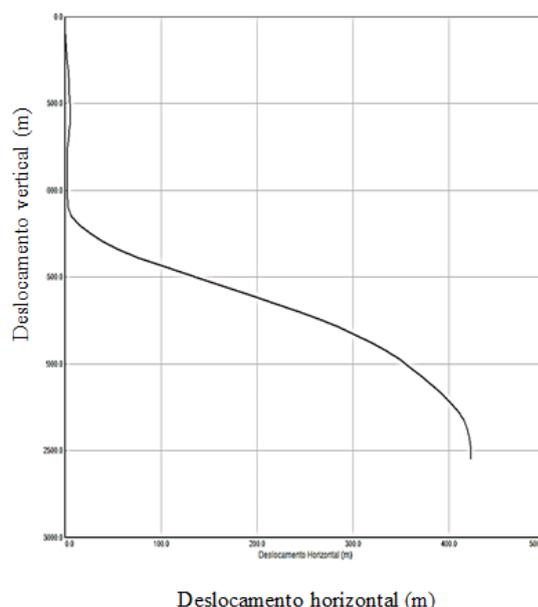


Figura 3: Trajetória do Poço XFonte: Adaptada do SIMCARR®, 2013.

A trajetória do poço pode ser vista na Figura 3, caracterizado poço do Tipo II ou S. Com base nas informações inseridas no SIMCARR®, o sistema calcula os resultados da limpeza e hidráulica do poço.

O Anexo 1 - Resultado da limpeza do Poço X, informa a altura relativa do leito (%), a razão de transporte generalizada, a concentração de sólidos em cada trecho do poço (%) e o padrão de escoamento do fluido. A Figura 4 representa o resultado da limpeza do Poço X gerado pelo SIMCARR®.

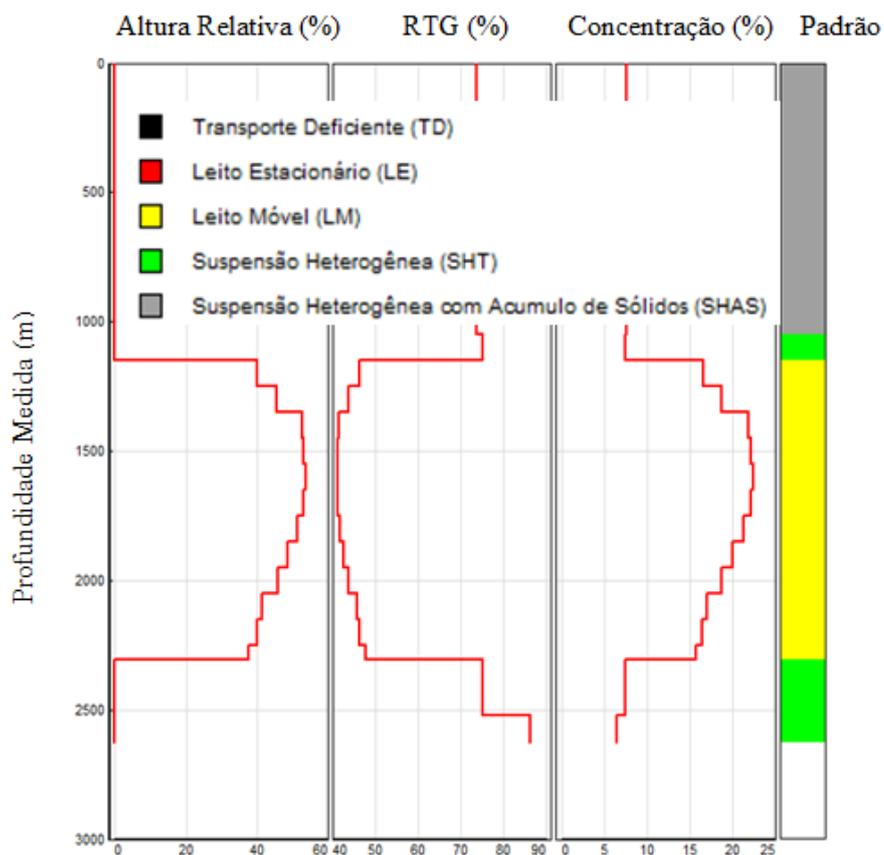


Figura 4: Limpeza do Poço X. Fonte: Adaptada do SIMCARR[®], 2013.

Analisando as informações da Figura 4 em relação ao padrão de escoamento, percebe-se que enquanto o poço está praticamente na vertical o leito é zero, mas existe um acúmulo de sólidos na suspensão heterogênea e quando o poço começa a ganhar inclinação, a 1100m (KOP), os cascalhos tendem a sedimentar e ocorre a formação de leito móvel. A altura máxima do leito registrada na simulação foi de 53,77% e ocorreu no momento da inclinação máxima do poço (29,14°). A altura do leito tende a diminuir com a redução da inclinação do poço e retorna para zero quando o poço volta praticamente a vertical. Em relação à razão de transporte generalizada (RTG), o poço sofre uma redução nos trechos de ganho e estabilidade de ângulo e retorna ao seu estado desejado que é uma RTG alta com a diminuição da inclinação do poço.

A concentração de sólidos está acima do que alguns autores convencionam que seja o ideal (5%), por isso o padrão está como suspensão heterogênea com acúmulo de sólidos na região do poço revestido com componente de coluna *Drill Pipe*. Pode ser visto que com o aumento da inclinação do poço, conseqüentemente a concentração de sólidos aumenta formando o leito móvel.

A análise de limpeza do poço X gerada pelo SIMCARR[®] registra uma necessidade de uma maior atenção quanto à limpeza do poço nos trechos de alta

inclinação, pois temos o aparecimento de regime de fluxo de fluido tipo leite móvel (Cor amarela), além de suspensão heterogênea com acúmulo de sólidos na parte praticamente vertical e revestida do poço. Para manter a perfuração em uma zona segura deve-se alterar os principais parâmetros envolvidos na perfuração permitindo realizar a alteração do regime de fluxo de leite móvel para suspensão heterogênea (ideal para uma limpeza de poço adequada). O aumento da vazão pode contribuir para a remoção dos sólidos depositados, assim como a redução da taxa de perfuração ou aumento da densidade. A Figura 4, resultado da simulação no SIMCARR[®] representa os principais parâmetros envolvidos na limpeza do Poço X permitindo que os Engenheiros analisem as informações e tomem decisões para manter a segurança das operações.

Para analisar a relação entre os principais parâmetros envolvidos na perfuração do poço, foi preenchido uma matriz de limpeza com os parâmetros a serem estudados: vazão (gpm), densidade do fluido (lb/gal), taxa de penetração (m/h) sendo cada um com seus limites mínimo, máximo e taxa de incremento.

Os dados de entrada da simulação formam: vazão mínima de 100 gpm e máxima de 300 gpm com incremento de 40gpm, densidade do fluido mínima de 7 lb/gal e máxima de 12 lb/gal com incremento de 1 lb/gal e taxa de penetração mínima de 50 m/h e máxima de 100 m/h com incremento de 10m/h. Como resultado foram elaborados gráficos de análise de sensibilidade de altura relativa do leito e concentração de sólidos no anular, em função da variação dos parâmetros citados acima.

Como a perfuração ocorreu em terra, a linha vermelha não será analisada porque não teve *Riser* no poço. O sistema divide o poço em três trechos que são representadas pelas siglas dos gráficos e cores específicas: Rev/DP, OH/DP e OH/DC. As siglas caracterizam a situação do poço: *Rev/DP* significa poço revestido com *Drill pipe* no seu interior; *OH/DP* significa *Open hole* ou poço aberto com *Drill pipe* no seu interior e *OH/DC* é *Open hole* ou poço aberto com *Drill collar* no seu interior.

Serão analisados os gráficos de vazão, densidade do fluido e taxa de penetração, todos em relação à concentração de sólidos e altura relativa do leito. O Gráfico 1 representa a relação entre vazão e concentração de sólidos.

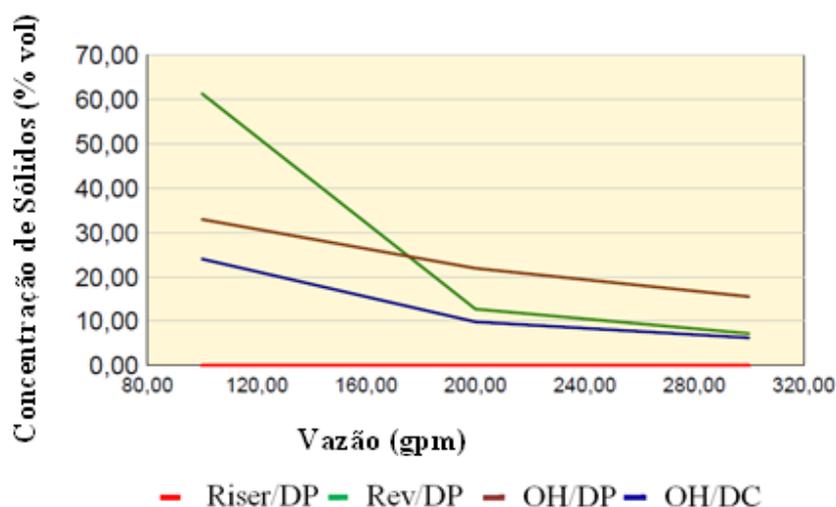


Gráfico 1: Relação entre vazão e concentração de sólidos. Fonte: Adaptado do SIMCARR®, 2013.

O Gráfico 1 mostra a sensibilidade da limpeza do poço em relação aos parâmetros concentração de sólidos e vazão, podemos observar que o aumento da vazão em todo o poço irá acarretar uma diminuição da concentração de sólidos.

Pode ser observado que a concentração de sólidos na região Rev/DP do poço quando utilizado vazões entre 100 a 180 gpm é maior que nos demais trechos, essa situação ocorreu porque a vazão estava muito baixa. Com 180 gpm os trechos Rev/DP e OH/DP apresentam o mesmo volume de concentração de sólidos e a partir desta vazão, a concentração de sólidos é maior na região OH/DP (trecho direcional), pois é onde o poço tem trechos de ganho de ângulo e as maiores inclinações contribuindo para a formação de leito. Em nenhum dos trechos do poço a limpeza está eficiente porque a concentração de sólidos deveria estar menor de 5%. O Gráfico 2 representa a relação entre vazão e altura relativa do leito.

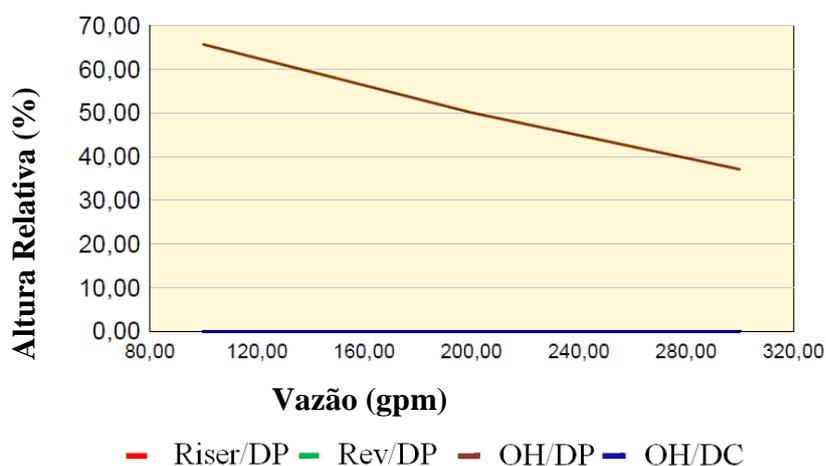


Gráfico 2: Relação entre vazão e altura relativa do leito. Fonte: Adaptado do SIMCARR®, 2013.

O Gráfico 2 mostra a sensibilidade da limpeza do poço em relação aos parâmetros altura relativa do leito (%) e vazão (gpm). O aumento da vazão está provocando uma diminuição da altura relativa do leito no trecho aberto com o componente *drill pipe* (OH/DP), mas será necessário uma vazão muito maior que 300 gpm para que a altura do leito fique abaixo de 5%, por tanto, nenhuma vazão apresentada do gráfico está sendo suficiente para limpar o poço. A altura do leito em relação à variação de vazão para os trechos do poço Rev/DP e OH/DC é zero porque o poço está praticamente na vertical impossibilitando a formação de leito. O Gráfico 3 representa a relação entre densidade do fluido e altura do leito.

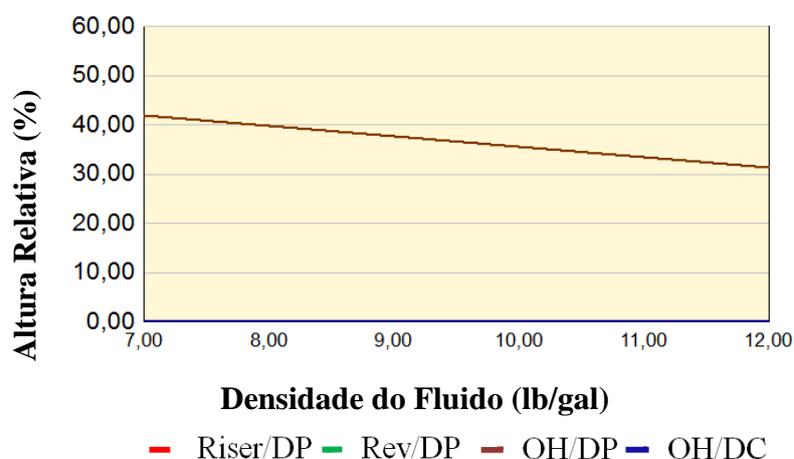


Gráfico 3: Relação entre densidade do fluido e altura do leito. Fonte: Adaptado do SIMCARR®, 2013.

O Gráfico 3 mostram que o trecho OH/DP foi o único com altura relativa de leito maior que zero, pois é o trecho direcional do poço, mostrando que a limpeza está deficiente. O aumento da densidade do fluido consequentemente diminui a altura do leito porque transporta mais cascalhos. A altura do leito em relação à densidade do fluido para os trechos do poço Rev/DP e OH/DC é zero porque o poço está praticamente na vertical impossibilitando a formação de leito. O Gráfico 4 representa a relação entre taxa de penetração e altura do leito.

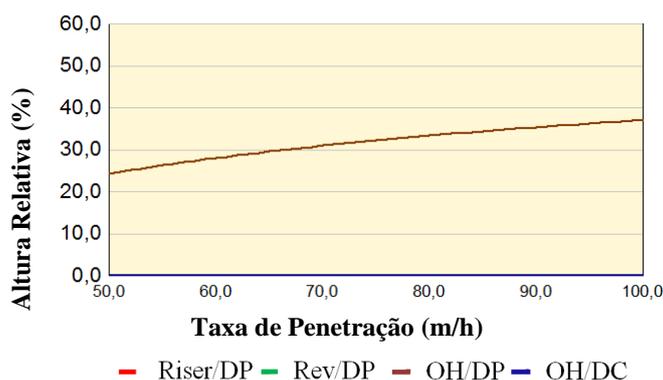


Gráfico 4: Relação entre taxa de penetração e altura do leito. Fonte: Adaptado do SIMCARR®, 2013.

No Gráfico 4 podemos observar que com o aumento da taxa de penetração da broca a altura do leito está aumentando no trecho OH/DP (trecho direcional), pois é o trecho mais crítico do poço devido à alta inclinação. A altura do leito em relação à taxa de penetração para os trechos do poço Rev/DP e OH/DC é zero porque o poço está praticamente na vertical impossibilitando a formação de leito.

O Gráfico 5 representa a relação entre a taxa de penetração (m/h) e concentração de sólidos.

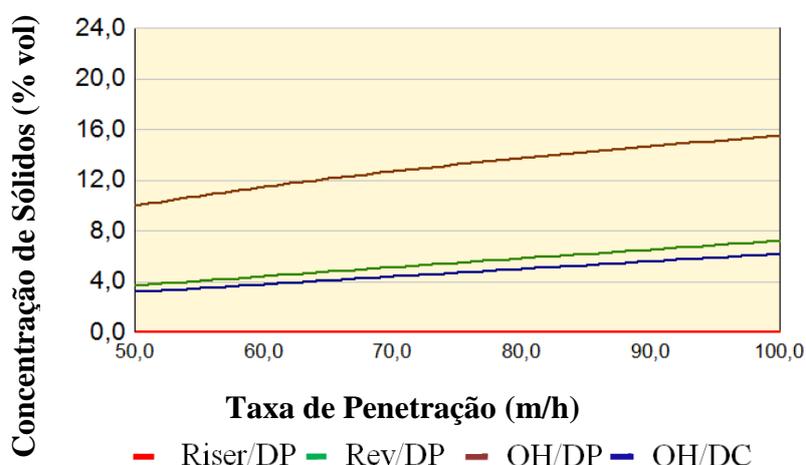


Gráfico 5: Relação entre a taxa de penetração (m/h) e concentração de sólidos.

Fonte: Adaptado do SIMCARR®, 2013.

No Gráfico 5 podemos verificar que o aumento da taxa de penetração da broca aumenta a concentração de sólidos no anular, porque ocorre uma maior produção de cascalhos. Durante a perfuração o trecho do poço Rev/DP e OH/DC não corre formação de leito, pois são trechos com baixa inclinação e que no trecho OH/DP as elevadas inclinações provocam um ponto crítico na limpeza do poço.

No Gráfico 6 temos a relação entre a densidade do fluido (lb/gal) e a concentração de sólido (%). Quanto maior a densidade do fluido, mais cascalhos serão transportado para a superfície e conseqüentemente menor será a concentração de sólidos no anular. A concentração de sólidos desta simulação ficou acima dos 5%, valor máximo considerado para a segurança das operações. Vale ressaltar que o trecho direcional (OH/DP) está com mais de 16% em volume de concentração de sólidos e evidencia a necessidade de alterar parâmetros para diminuir essa concentração. Vale ressaltar que a alteração da densidade visando diminuir a concentração de sólidos no anular normalmente não é utilizado porque

pode provocar fratura da formação. As propriedades reológicas (viscosidade) são controladas para tentar diminuir a concentração de sólidos.

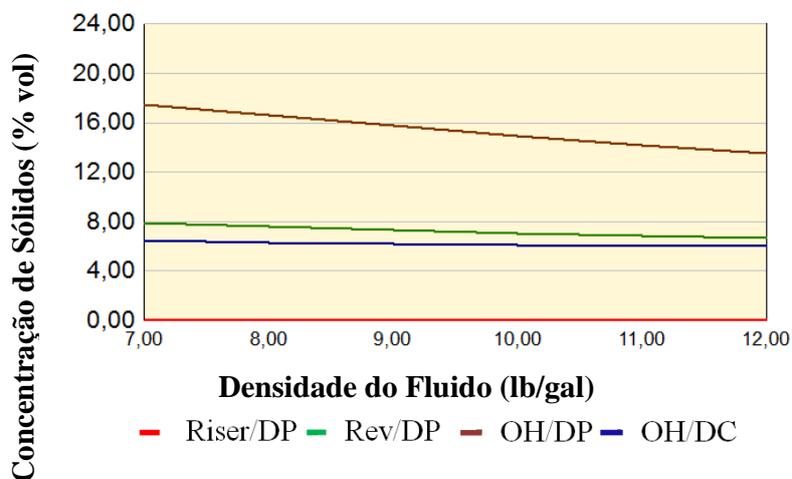


Gráfico 6: Relação entre densidade do fluido e concentração de sólidos. Fonte: Adaptado do SIMCARR®, 2013.

A análise de sensibilidade de limpeza do poço segundo os parâmetros de altura relativa do leito, concentração de sólidos, vazão, densidade do fluido e taxa de penetração é de suma importância para o sucesso da perfuração direcional, pois permite apresentar os pontos críticos do poço e auxiliar nas decisões dos profissionais envolvidos. Dessa forma o simulador de limpeza SIMCARR mostrou-se eficiente.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados esperados que foram apresentados no projeto de perfuração do Poço X, os principais pontos da perfuração foram analisados e percebemos que anomalias podem ocorrer devido a diversos fatores. Para remediar determinadas situações deve-se ter o controle de todos os parâmetros envolvidos, vazão, densidade do fluido de perfuração, viscosidade e taxa de penetração, entre outros, podendo assim, analisar seus efeitos e tomar decisões para o sucesso das operações.

A elaboração de gráficos de sensibilidade através do SIMCARR® para o estudo do efeito de parâmetros relacionados à perfuração do Poço X foi apresentado nesse trabalho como forma de verificar a limpeza do poço em tempo real e permitir a

realização de estudos para atender a conclusão da perfuração direcional de forma eficiente.

Foi comprovado que o aumento da vazão do poço e densidade do fluido provoca uma diminuição da concentração de sólidos no anular e da altura relativa do leito. E o aumento da taxa de penetração provoca um aumento na concentração de sólidos no anular e da altura relativa do leito.

Como o poço está dividido em três trechos, Rev/DP, OH/DP e OH/DC, ficou evidente que o trecho onde ocorre o ganho de ângulo (OH/DP) existe uma deficiência na limpeza, para que esta situação seja resolvida e a perfuração não esteja em risco, é necessário estudar a viabilidade de aumentar a vazão, controlar viscosidade ou ainda diminuir a taxa de penetração. O aumento da densidade do fluido provoca uma melhora na limpeza, porém deve ser controlado porque pode provocar fratura na formação e por isso não é um parâmetro utilizado para controle da eficiência da limpeza. O SIMCARR® auxilia na realização de simulações que permitem alterar esses parâmetros e encontrar os valores ideais para que o regime de fluxo seja tipo suspensão heterogênea e não ocorra formação de leito no poço nem acúmulo de sólidos. Tendo o controle desses e outros parâmetros na perfuração direcional atenderá as especificações do projeto e irá garantir a exploração dos fluidos.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, Luiz Cláudio. **Petróleo: do poço ao posto**. Rio de Janeiro: Qualitymark ed. 2005;

COELHO, B. S. **Análise de torque em colunas de perfuração de poços direcionais e sua influência no monitoramento da limpeza de poços**. Projeto final submetido ao corpo docente do curso de engenharia de Petróleo da escola politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

COSTA, S. S. C.; MARTINS, A. L.; FONTOURA, S. A. B. **SIMCARR - Simulador de Hidráulica de Perfuração e Carreamento de Cascalhos**. In: ENAHPE 2006 – Encontro Nacional de Hidráulica de Perfuração e Completação de Poços de Petróleo e Gás, 2006.

MACHADO, J. B. **Curso Básico de Perfuração Direcional**. Curso apresentado para a empresa Halliburton, 2010.

MALOUF, L.R. **Análise das operações de perfuração de poços terrestres e marítimos**. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Petróleo da Escola Politécnica, Universidade Federal, Rio de Janeiro, 2013.

ROCHA, L. A. S. et all. **Perfuração Direcional**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, Petrobras, IBP, 2008.

THOMAS, E. José. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, PETROBRAS, 2004.