

IURI ALVES ANDRADE BALZANA DOS SANTOS

**PESCARIA EM POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL: CAUSAS
E PROCEDIMENTOS**

**São Paulo
2008**

IURI ALVES ANDRADE BALZANA DOS SANTOS

**PESCARIA EM POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL: CAUSAS
E PROCEDIMENTOS**

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Petróleo do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo da Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Livre - Docente Wilson
Siguemasa Iramina

**São Paulo
2008**

Aos alunos e ex-alunos do curso de Engenharia de Petróleo do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela luta, determinação, espírito familiar e falta de acesso a material bibliográfico, na quantidade e qualidade merecidas, referente aos temas do nosso curso de graduação.

AGRADECIMENTOS

A todos que me apoiaram durante minha graduação, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus familiares que me suportaram e sempre me apoiaram quando eu precisei.

Aos meus amigos de faculdade que compartilharam de semelhantes dificuldades e glórias.

Aos meus amigos da minha cidade natal, que mesmo com a distância mantiveram os laços de amizade e fraternidade há muito tempo criados.

Aos meus professores que souberam, apesar de diversas limitações presentes, cumprir seus objetivos e prepararam, preparam e prepararão os engenheiros do futuro.

Ao meu professor orientador por todas as tarefas e ajudas muito bem dadas, por todo comprometimento e empenho em ensinar e orientar.

A ANP pela minha bolsa de iniciação científica e por me comprometer com a minha pesquisa do meu trabalho de formatura prematuramente.

Ao Engenheiro de petróleo e ex-aluno do curso de Engenharia de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Helton Sávio de Paula pelo apoio e material bibliográfico que foram muito úteis e importantes para o desenvolvimento do meu trabalho.

Ao Professor Luis Enrique Sánchez por prontamente atender aos meus pedidos de material para o acervo bibliográfico da biblioteca do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Enfim, agradeço a todos que tenham ajudado a construir esse trabalho, mesmo que muitos nem saibam da ajuda que deram por mais indireta que a contribuição tenha sido, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Este trabalho apresenta os principais tópicos relacionados com as operações de pesca em poços de petróleo e gás natural, que são como são conhecidas as operações de resgate de peças e equipamentos perdido nos poços, as definido e tratando dos estudos de causas, de risco e de tempo economicamente viável de operação. Trata também dos conceitos envolvidos, dos equipamentos, dos procedimentos adequados e das formas de se evitar. Comenta sobre novas soluções aplicadas neste tipo de operação e mostra a importância do estudo do tema visto às grandes cifras envolvidas e a quantidade de incertezas presentes.

Palavras chave: poços de petróleo e gás natural, pesca, problemas em poços.

ABSTRACT

This paper presents the main topics related with fishing operations in natural gas and oil wells, which is the way that is known the operations of retrieval of tools and lost equipment from the borehole, defining it and discussing about causes, risks, economic viable operational time. It discuss about the involved concepts, the correct procedures and ways to avoid this kind of operation. Also brings information on new solutions that have been applied in fishing operations and shows the importance of studying this subject that involves much money and big unsure results.

Keywords: natural gas and oil wells, fishing operations, well problems.

SUMÁRIO

1. Introdução	8
2. Introdução teórica	9
3.1. Operações de Pescaria.....	10
3.2. Quando e porque Pescar.....	10
3.3. Problemas que podem gerar a necessidade de pescaria	13
3.3.1. Aprisionamento de coluna.....	13
3.3.1.1. Problemas relacionados com geometria	14
3.3.1.1.1. Poço de calibre reduzido	14
3.3.1.1.2. Formação de chavetas	14
3.3.1.1.3. Perfuração com equipamentos mais rígidos	15
3.3.1.1.4. Formação de ressaltos	15
3.3.1.1.5. Formações móveis.....	15
3.3.1.2. Problemas relacionados com partículas sólidas dentro do poço.....	16
3.3.1.2.1. Camada de cascalhos.....	16
3.3.1.2.2. Colapso das paredes superiores do poço	16
3.3.1.2.3. Formações reativas a lama de perfuração.....	17
3.3.1.2.4. Formações pressurizadas	17
3.3.1.2.5. Formações fragilizadas ou fraturadas.....	18
3.3.1.2.6. Sucata	18
3.3.1.2.7. Blocos de cimento	18
3.3.1.2.8. Cimento mole.....	18
3.3.1.3. Problemas relacionados com a diferença de pressão entre a formação e o poço	19
3.3.1.3.1. Perda de circulação do fluido de perfuração	19
3.3.1.3.1.1. Perda parcial	19
3.3.1.3.1.2. Perda total com manutenção do nível estático	19
3.3.1.3.1.3. Perda total sem manutenção do nível estático	19
3.3.1.3.2. Prisão da coluna por pressão diferencial	20
3.3.1.3.2.1. Zona permeável coberta por filtrado da lama de perfuração	20
3.3.1.3.2.2. Excesso de pressão estática	20
3.3.1.3.2.3. Contato com a parede do poço.....	20
3.3.1.3.2.4. Equipamentos estáticos	20
3.3.1.4. Outros fatores de aprisionamento de coluna	20
3.3.1.4.1. Ação mecânica da coluna na formação	21
3.3.1.4.2. Alargamentos induzidos por fluido de perfuração.....	21
3.3.1.4.3. Falhas de revestimento	21
3.3.2. Falha em outros equipamentos	22
4. Soluções para evitar a pescaria.....	23
5. Tipos de equipamentos de pescaria	26
5.1. Ferramentas de geometria e orientação.....	26
5.2. Ferramentas de pesca de elementos tubulares	26
5.2.1. Ferramentas de pesca internas ao peixe	26
5.2.1.1. Lanças	26
5.2.1.2. Geradores de rosca.....	27

5.2.2. Ferramentas de pesca externas ao peixe	28
5.3. Ferramentas de pesca de sucata	28
5.3.1. Ferramentas de moagem	29
5.3.2. Cestas de sucata	29
5.3.3. Ferramentas magnéticas de pescaria	29
5.4. Equipamentos auxiliares	30
5.4.1. Junta articulada	30
5.4.2. Coroa de moagem	30
5.4.3 Elementos separadores de coluna	31
5.4.4. Ferramentas hidráulicas e de impacto	31
5.5. Ferramenta de ponto livre	32
5.6. Ferramentas para desacoplar o peixe e a coluna	32
 6. Proposta de programação para a operação de pescaria	33
6.1. Estudo da viabilidade da pesca	33
6.2. Análise do peixe	33
6.3. Seleção das ferramentas necessárias no caso	33
6.5. Adequação do peixe às ferramentas de pescaria	34
6.6. Tentativa de pesca	34
 7. Discussão	35
7.1 Outras análises	35
 8. Conclusão	36
 Referências	37

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo a criação de material bibliográfico em português a respeito das operações de pescaria em poços de petróleo e gás natural que possa servir como referência para estudos e pesquisas nos diversos assuntos relacionados ao tema.

Assim, este tema de grande importância, que é tratado muito superficialmente pelos principais livros a respeito das operações em poços de petróleo e gás natural na língua portuguesa, terá mais uma fonte, mais completa e com acesso facilitado aos pesquisadores e estudantes universitários, servindo assim como base para diversas linhas de pesquisas possíveis a partir das causas e dos procedimentos envolvidos, pois tratará em seu desenvolvimento dos diversos mecanismos e princípios presentes, não se prendendo apenas a tecnologia e equipamentos mais recentes, mas também às causas, objetivos e conceitos nas operações de pescaria em poços de petróleo e gás natural.

Este trabalho interpretará as informações contidas na bibliografia existentes que trata do tema, analisando conceitos e sugerindo soluções, ou seja, abordará os tópicos mais importantes nas operações de pescaria e citará outros, porém trazendo uma grande lista de referências que permitirá, caso o leitor não encontre as informações desejadas no próprio texto, ter sugestões de locais que tratam o tema, permitindo a ele buscar informações complementares, claro que em sua maioria não escrita no idioma oficial do Brasil.

2. Introdução teórica

O petróleo e o gás natural são encontrados comumente em formações rochosas subterrâneas e sua exploração se dá através da construção de poços, que são o meio de comunicação entre os reservatórios, local onde se acumula o óleo e o gás natural, e a superfície.

Diferentemente de poços artesianos para captação de água, os poços de petróleo e gás costumam ser muito mais profundos e passam por formações rochosas que demandam toda uma estrutura especial para perfurá-las. Assim, basicamente, se segue um programa básico para se construir um poço. Existem variações de equipamentos e produtos utilizados, entre outras coisas, mas basicamente são realizadas as mesmas etapas independentemente do projeto, não o mesmo número de etapas, mas as etapas em si.

Primeiro se perfura uma seção de rocha utilizando uma broca de maior diâmetro, para essa broca perfurar é utilizado o próprio peso da chamada coluna de perfuração (que são os equipamentos e tubos metálicos que se conectam a broca e se comunicam com a superfície), movimento de rotação na broca e um fluido circulante que limpa os cascalhos das rochas perfuradas pela broca os levando para superfície e ao mesmo tempo faz um papel de refrigerante da broca. Esse fluido também é conhecido como lama de perfuração.

Após a perfuração dessa seção de tamanho previsto em projeto, desce-se ao poço um tubo de aço de diâmetro semelhante ao que a broca perfurou o com cimento se prende ele as paredes do poço criado. Esse tubo é chamado de revestimento. A partir deste ponto desce-se uma broca de tamanho menor em relação à outra (e logicamente ao revestimento cimentado) e repetem-se os passos anteriores, perfurando e revestindo, perfurando e revestindo. Até se atingir o chamado alvo, que é o reservatório de gás ou de petróleo.

A pescaria, objeto de estudo deste trabalho, é a operação de desobstrução dos poços, ela é necessária, pois caso alguma ferramenta de perfuração ou manutenção de poço que esteja operando dentro do poço apresente falha e se quebrar ou se prenda de alguma forma, impedindo a continuidade dos trabalhos no poço e através do poço, deve-se restaurar as condições de operação. Normalmente as brocas feitas para perfurar rochas não conseguem perfurar elementos metálicos do porte dos utilizados no poço, podendo se danificar e piorar com sua quebra a situação do poço, com isso a operação de desobstrução do poço é requerida.

Em certos casos deve-se analisar o valor dos equipamentos envolvidos, por exemplo as brocas utilizadas têm seu valor na casa das dezenas de milhares de dólares, outros equipamentos utilizados valem centenas de milhares de dólares, assim, pode-se ser importante preservar e resgatar esses caros equipamentos de dentro dos poços.

Outro fator crítico presente nas operações de pescaria, é que as sondas, que são as unidades que fornecem infra-estrutura para toda a operação de perfuração, geralmente são alugadas e com pagamento diário, esse valor gira na casa das centenas de milhares de dólares por dia, e o tempo em que se pesca, a sonda fica inativa, pois não se realiza perfuração com o poço sem condições. Por isso considera-se o tempo gasto com pescaria como tempo perdido e causador de grandes prejuízos, ainda mais que a operação de pescaria tem fama de ser uma operação de sucesso incerto, o que faz pensar que a redução da incerteza e a melhora dos procedimentos nesse tipo de operação, vindo a minimizar prejuízos representem na verdade um grande lucro.

3.1. Operações de Pescaria

As operações de Pescaria são comumente reconhecidas por ser a operação de resgate de restos de equipamentos, ferramentas ou equipamentos perdidos ou presos nos poços, entretanto este conceito pode ser estendido, uma vez que as equipes de pescaria na verdade são responsáveis por tornar o poço novamente próprio para a continuidade da perfuração ou retrabalho através da desobstrução do mesmo (IRAMINA, 2008).

Essa pequena diferenciação de conceito muitas vezes passa despercebida para pessoas que estudam operações de perfuração e completação, ou até mesmo é de conhecimento comum, mas o nome engana, pois afinal, imagina-se que quem pesca, pega o peixe.

A Pescaria é uma necessidade presente desde quando o homem começou a criar poços, existe no museu da plantação da família Prud'homme na Louisiana, por exemplo, ferramentas de pescaria expostas usadas na perfuração de poços de água em 1823, estas projetadas por um engenheiro Francês e construída por escravos africanos, eram operadas pela força de 15 homens (BRANTLY, 1961 apud CEARLEY 1999).

Seu nome deriva da época em que se usava um gancho na ponta de uma linha e se pescavam os equipamentos tubulares, assemelhando-se muito a uma pesca de um peixe (CEARLEY, 1999). Com isso ficou-se definido que a peça ou ferramenta perdida ou presa no poço seria genericamente chamada de peixe e os fragmentos perdidos de sucata.

A desobstrução do poço pode ser feita de diversas maneiras, sempre dependendo do estado do peixe e da sua necessidade de integridade ou não. Os diversos casos e maneiras de se realizar a pescaria serão abordados posteriormente.

3.2. Quando e porque Pescar

A necessidade de pescaria se dá no momento que algo não natural impede a continuidade da perfuração ou de um retrabalhamento de um determinado poço, mas nem sempre a pesca é a melhor solução. Antes de se iniciar a operação de pesca, deve-se calcular o tempo que se deve permanecer tentando pescar e em casos particulares pode-se constatar que nem se deve pescar mediante aplicação de outras possibilidades para continuar as operações normais.

Existem diversos estudos nessa área, pois o tempo em que se permanecer nesse tipo de operação, cujo resultado é até certo ponto aleatório, custa muito para as empresas. Estima-se que em 1995 25% dos gastos com perfuração no mundo foi gasto em operações de pescaria, assim sendo, economizar numa operação indesejada responsável por um quarto dos gastos é mister. Neste mesmo ano, só no Brasil, numa época em que a produção nacional de petróleo girava em torno dos 900.000 barris de óleo por dia, foram realizadas 532 pescarias (D'ALMEIDA et al, 1997).

Alguns autores consideram uma equação comum e simples como válida para analisar o tempo a ser utilizado pra pesca, outros a utilizam com ressalvas e outros já partem para uma abordagem considerando aspectos importantes que dependendo do caso poderiam ser desconsiderados, mas que por muitas vezes pesam e muito nesse cálculo econômico.

A equação mais comum para o cálculo para o tempo de pescaria é:

$$D = \frac{V+Cs}{R+Cd} \quad (1)$$

Onde:

D é o número de dias limite para se realizar a pescaria,

V é o valor do equipamento preso no poço, contando com frete e todos os gastos para ele estar nas mesmas condições de operação que o preso estava,

R é o custo diário da equipe e dos equipamentos de pescaria envolvidos na operação,

Cs é o custo estimado de se desviar o poço ao invés de desobstruí-lo, ou se aplicável o custo de se recommençar um poço novo,

Cd é o custo diário da sonda e de todo suporte apropriado necessário (LYONS et al, 2005).

A equação (1) simplifica bem o cálculo do tempo em que se compensa pescar ao invés de se desviar ou se refazer completamente o trabalho, entretanto, pela simplicidade, ela não considera outros aspectos importantes, como o tempo que se leva para se reiniciar a operação após a pescaria, uma vez que os comandos e outros equipamentos usados na pesca serão usados na continuação do projeto e precisam ser inspecionados para que se evitem assim novas pescas já que o material vai ter sua vida útil diferenciada em relação à prevista inicialmente em projeto. Outro elemento gerador de atrasos comumente presente é a necessidade de se corrigir o diâmetro do poço após a pesca, esse período anterior ao reinício das operações normais é chamado de tempo de operações corretivas (SCHOFIELD et al, 1992).

Este tempo, segundo Schofield (1992), só é considerável em operações de pescaria cujo tempo até o sucesso for superior a oito horas e é de complicada estimativa, em seus estudos ele utilizou alguns fatores e uma metodologia própria que não fazem parte do escopo do meu estudo, uma vez que partimos duma equação simples, não tem sentido a meu ver complicarmos incluindo o cálculo de variáveis para uma aproximação estatística do caso. Devemos sim, caso não houver presente algum mecanismo de previsão e tomada de decisão próprio da empresa, seja software ou manual padrão de operações, para o caso, estimar um pior caso médio, considerando uma correção de calibre com o tempo de manobra, o tempo investido em reparos na área do resgate do peixe e da inspeção e possível manutenção dos equipamentos, adicionando mais custo de sonda e pessoal e ainda considerando as manobras necessárias em todo processo até a continuação das operações aproximadamente do ponto onde o incidente ocorreu.

Considera-se também necessário na análise, atentar-se ao fato de se equacionar o custo de pesca e custo pós-pesca aproximado ao custo da solução alternativa, e não se deveria desconsiderar uma diferença de tempo aplicada à solução alternativa, Schofield (1992) fez um estudo para tentar prever o tempo de construção de um desvio ao poço, considerando o tempo para se tamponar os equipamentos presos e se desviar até o alvo através do revestimento do poço interrompido. Novamente acredita-se ser uma análise válida, se dá através de equações algébricas, constantes e gráficos, mas apenas qualitativamente já se pode estimar o tempo que se levaria para caso a caso se desviar do peixe e continuar o trabalho e com a solução aproximada estimar melhor os custos reais da solução alternativa.

Assim reescreve-se a equação (1) de modo a explicitar os fatores desta análise:

$$D = \frac{V+Cs+(C_{tros}-C_{tocr})}{R+Cd} \quad (2)$$

Onde:

D é o número de dias limite para se realizar a pescaria,

V é o valor do equipamento preso no poço, contando com frete e todos os gastos para ele estar nas mesmas condições de operação que o preso estava,

R é o custo diário da equipe e dos equipamentos de pescaria envolvidos na operação,

Cs é o custo estimado de se desviar o poço ao invés de desobstruí-lo, ou se aplicável o custo de se recomençar um poço novo,

Cd é o custo diário da sonda e de todo suporte apropriado necessário,

Ctros é o custo total estimado relacionado ao tempo retorno das operações normais após realização do desvio ou a partir da construção de um novo poço,

Ctocr é o custo estimado do tempo de operações corretivas no caso da pescaria.

Com esta equação, se considera separadamente o prejuízo de tempo após conclusão da readequação do projeto, seja pelo desvio ou reconstrução seja pela pescaria. Pode se dizer que em muitos casos quando utiliza-se a equação (1) o tempo de operações corretivas já está incluso no tempo total de pescaria, mas esse conceito implícito pode gerar dúvidas quando alguém estudar o tema. Apesar da simplicidade do modelo, só ficará dúvidas em relação ao número preciso de dias quando os valores para as diferentes alternativas ficarem próximos.

Cearley (1999) citando Short sugeriu que para poços maiores que 1500 metros se equacionasse o custo de pescaria com metade do custo da solução alternativa. Essa sugestão também é válida, pois é intuitivo que quanto mais profundo o poço, maior será o tempo de manobra das ferramentas e maior será a dificuldade de se pescar o peixe, aumentando assim os riscos envolvidos, além claro do tempo da operação por mais bem sucedida que ela seja.

Há outros estudos mais complexos, por exemplo, a Petrobrás estudou 3000 pescarias em cinco grandes áreas e com isso geraram um modelo estatístico onde há 80 funções de densidade de probabilidade e através de software fazem a análise de risco (D'ALMEIDA et al, 1996 apud CEARLEY, 1999).

Entretanto, normalmente não se pesca por mais de três dias, a indústria tem esse número como um limite, abandonando-se o peixe e se iniciando a aplicação da solução alternativa (IRAMINA, 2008). Porém, existem casos onde devido à legislação ambiental, certos equipamentos detentores de material radioativo, obrigatoriamente devem ser pescados independentemente dos custos e do tempo envolvido (JANH et al, 2005), assim, por mais inviável que possa ser economicamente a pescaria sempre é uma operação a se considerar em caso de peças ou equipamentos presos ou perdidos num poço.

Além do cálculo de viabilidade por tempo de pesca, no caso de existirem alternativas à pescaria, de posse de dados estatísticos a respeito de custos envolvidos no sucesso da pesca, do desvio e do abandono, podemos através de uma simples análise probabilística averiguar um custo aproximado do risco envolvido na tentativa de pescaria ou nas possíveis aplicações de soluções alternativas cujos dados estejam também disponíveis (IRAMINA, 2008).

Um exemplo de modelo de custo do risco baseado em dados probabilísticos é dado pela equação seguinte (ESTON, 2007):

$$C_t = \sum_{i=1}^n \frac{N_{si}}{N_{ts}} * C_i \quad (3)$$

Onde:

Ct é o custo médio de se tentar aplicar a alternativa em questão,
 n é o número de operações distintas possíveis na alternativa a ser analisada,
 Nsi é o número de sucessos da operação i,
 Nts é o número total de sucessos envolvidos na operação,
 Ci é o custo médio da determinada operação.

Assim, por exemplo, se houver posse de um número de pescarias com sucesso dentre X peixes e o custo médio dessas pescarias, o número de desvios bem sucedidos dentre as pescarias não bem sucedidas e o custo médio desses desvios e finalmente o número de poços abandonados pelo desvio não ter sido bem sucedido com o custo médio do abandono, aplicando a equação (3) conseguiu-se, probabilisticamente, estimar o custo unitário da aplicação da pescaria.

Comparando esse custo com o custo unitário probabilisticamente calculado da solução alternativa, por exemplo desvio sem tentativa de pesca, pode-se analisar se deve-se correr o risco da pescaria ser mal sucedida ou partir para uma operação aparentemente mais cara mas que, se demonstrada pelos cálculos, pode ser menos arriscada dependendo do caso.

Ressalta-se que deve ser feito um estudo da população a ser adotada nesse estudo probabilístico, o sistema desenvolvido na Petrobrás como dito anteriormente, por exemplo, separou cinco áreas de pescaria e assim criaram seu próprio modelo tanto pra previsão de tempo quanto de risco. Deve-se avaliar a possibilidade de se considerar determinada pesca como parâmetro de risco para outra, seja por semelhança causal, geológica, ferramental etc.

3.3. Problemas que podem gerar a necessidade de pescaria

3.3.1. Aprisionamento de coluna

Segundo Devereux (1998) pode se separar os mecanismos de aprisionamento de coluna em três grupos: problemas relacionados à geometria, às partículas sólidas dentro do poço e à diferença de pressão entre a formação e o poço. É importante estudar esses mecanismos, pois além de possível causa para uma eventual pesca, a própria causa está muitas vezes relacionada com a solução.

Percebe-se a importância de se conhecer as causas e mecanismos envolvidos nos aprisionamentos num velho ditado de campo: “a melhor técnica de pescaria é evitá-la” (THOMAS, 2001), visto que 90% dos casos de aprisionamento de coluna poderiam ser evitados com bom planejamento e se ouvindo o poço (DEVEREUX, 1998), o que demanda, obviamente, conhecimento causal.

Essa questão de se ouvir o poço é interessante e importantíssima, entretanto, assim como a aleatoriedade até certo ponto presente no sucesso das operações de pescaria, a experiência do operador pesa muito na hora em que ele tem ouvir o poço pra evitar uma prisão. Quanto aos pescadores já é de praxe, “contrate aquele com mais cabelos brancos” (CEARLEY, 1998 apud CEARLEY 1999). Isso porque se sabe que com o tempo, os pescadores vão desenvolvendo uma espécie de sexto sentido e conseguem prever o que está acontecendo no poço (DEVEREUX, 1998), com operadores também é assim, com a experiência adquirida, passa-se a inconscientemente detectar problemas e assim conseguir

evitá-los, entretanto é obvio que a teoria tem que ser capaz de explicar esses fatos quase paranormais vividos em campo (AMORIM, 2006) e a economia envolvida justifica o estudo, tanto para evitar quando para remediar as situações a seguir descritas.

3.3.1.1. Problemas relacionados com geometria

3.3.1.1.1. Poço de calibre reduzido

Brocas podem sofrer desgaste de modo que o diâmetro externo dela diminui em relação ao inicial, assim o poço acaba tendo um diâmetro menor que o desejado e se não tomadas às devidas precauções, ao se descer novos equipamentos pode acontecer o acunhamento da coluna de perfuração.

Esse tipo de problema é comum em formações rochosas mais duras e normalmente abrasivas como arenitos e conglomerados bem cimentados, diabásios entre outras.

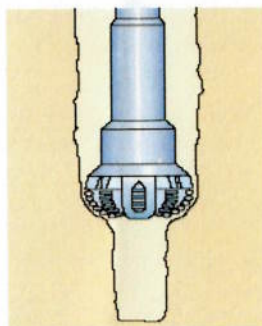


Fig. 1 Poço de calibre reduzido (TOMASI, 2005)

3.3.1.1.2 Formação de chavetas

A presença das formações conhecidas por perna de cachorro, que são cotovelos de rocha por vezes presente num poço sendo construído, pode levar, caso se use perfuração rotativa, com o atrito e pressão da coluna sobre a formação, à criação de um leito ou chaveta, de diâmetro menor que o poço, normalmente equivalente ao tubo da coluna de perfuração, portanto menor que a broca e os comandos, que pode aprisionar a coluna ao se tentar trazê-la novamente para superfície, as pernas de cachorro aceleram o desgaste dos equipamentos e podem também causar fadiga mecânica na coluna de perfuração. Em caso de poços direcionais pode, dependendo do ângulo, gerar um empenamento da coluna e talvez impedir também a retirada da mesma pelo poço.

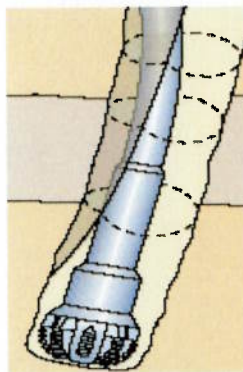


Fig. 2 Formação de chaveta em perfuração direcional (TOMASI, 2005)

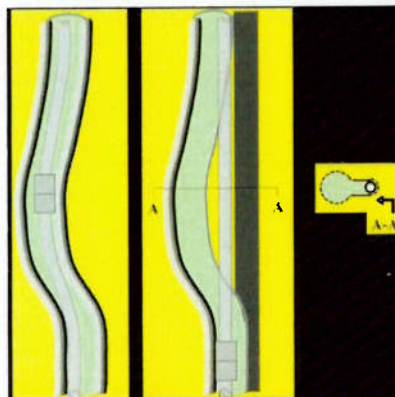


Fig. 3 Formação de chaveira em poço vertical (Baroid fluids handbook, 1997)

3.3.1.1.3. Perfuração com equipamentos mais rígidos

Após se perfurar uma seção com um equipamento mais “mole”, devem-se tomar as devidas precauções para evitar que o equipamento mais rígido não ignore curvas do poço e crie desvios no poço gerando além da necessidade de trabalhos corretivos desgaste adicional do equipamento, o que sempre pode gerar falhas indesejadas.

3.3.1.1.4. Formação de ressaltos

A diferença de rigidez entre as rochas sendo perfuradas podem também causar desvio dos equipamentos de perfuração, assim como no item 3.1.1.3, deve-se perfurar cuidadosamente a fim de evitar desgastes adicionais e necessidade de ações corretivas.

3.3.1.1.5. Formações móveis

Algumas formações tendem a se fechar devido a sua fluidez após serem perfuradas, é o caso de halitas, silvinitas, taquidritas e alguns tipos de folhelhos móveis. Isso se dá quando a densidade de um extrato de rocha é menor que o da rocha encaixante e ao buscar o equilíbrio, há a tendência de fluência em direção ao poço.

Esse tipo de situação tem velocidade variável de acordo com a formação e pressões encontradas, medidas preventivas devem ser tomadas para evitar que este tipo de formação aprisione a coluna durante a própria perfuração e diferentemente de formações não móveis, o peso da lama pode não ajudar a impedir o deslocamento da formação.

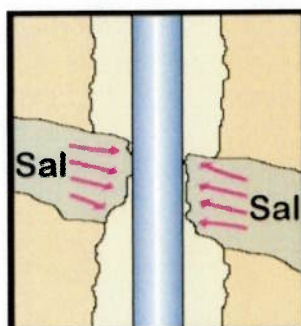


Fig. 4 Aprisionamento em formação móvel (TOMASI, 2005)

3.3.1.2. Problemas relacionados com partículas sólidas dentro do poço

3.3.1.2.1 Camada de cascalhos

Existem muitas considerações a respeito dos restos das rochas perfuradas, entretanto a maioria se resume a cuidados com a lama de perfuração, pois se a lama não possuir comportamento reológico compatível com os cascalhos, eles podem não ser carregados adequadamente para a superfície e começar a se acumular no anular sobre a broca. Mesmo que a lama não permita que os cascalhos se depositem novamente, o simples fato deles estarem em suspensão pode gerar o acúmulo no momento em que se for retirar a broca, e neste momento pode aprisionar a coluna.

A questão dos cascalhos é ainda mais delicada em trechos inclinados, pois a lama adequada para trechos verticais normalmente é inadequada para carrear os cascalhos, visto que em trechos horizontais e inclinados, a gravidade atua num sentido distinto em relação ao deslocamento desejável dos cascalhos, permitindo que a lama siga um caminho preferencial enquanto os cascalhos podem ser depositados de forma completamente indesejada.

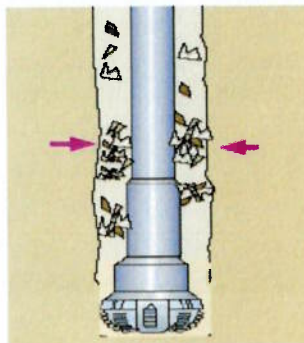


Fig. 5 Acúmulo de cascalhos não carregados no anular (TOMASI, 2005)

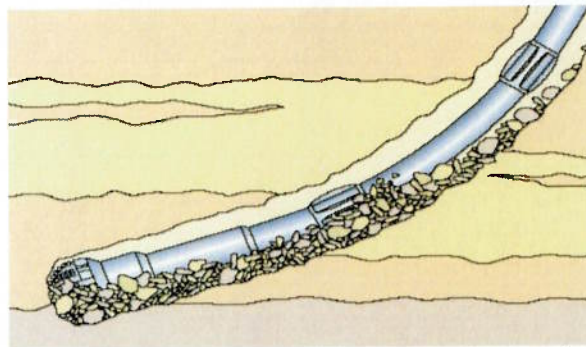


Fig. 6 Acúmulo de cascalhos não carregados em perfuração direcional (TOMASI, 2005)

3.3.1.2.2. Colapso das paredes superiores do poço

Normalmente as camadas mais rasas são inconsolidadas, pois não houve nem pressão e nem tempo suficiente para compactar e consolidar melhor os sedimentos, assim, aliado ao fato de não se ter uma coluna grande de lama ajudando a manter a estabilidade do poço, as paredes do poço podem colapsar e prender então a coluna.

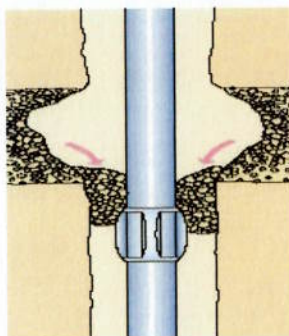


Fig. 7 Colapso de formação inconsolidada (TOMASI, 2005)

3.3.1.2.3. Formações reativas a lama de perfuração

Esse tipo de formação, ao reagir se fragiliza e pode desabar em direção ao poço. Existem diversos tipos de reações possíveis entre a lama e formações rochosas, dentre elas a mais comum é a hidratação.

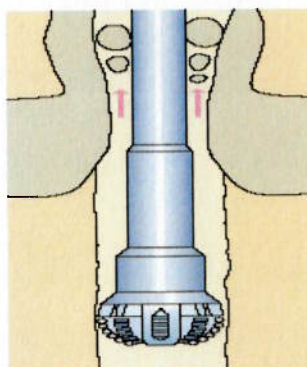


Fig. 8 Formação reativa a lama de perfuração (TOMASI, 2005)

3.3.1.2.4. Formações pressurizadas

Formações com pressão de poros superior à pressão exercida pela lama de perfuração tendem, literalmente falando, a explodir cascalhos para o poço, e estes cascalhos expelidos da formação podem aprisionar a coluna com a sobrecarga do anular. Se persistir a situação por muito tempo, haverá alargamento do poço de modo que além da possibilidade de formação de camada de cascalho, neste caso, aprisionando permanentemente a coluna, poderá atrapalhar seriamente na cimentação do revestimento.

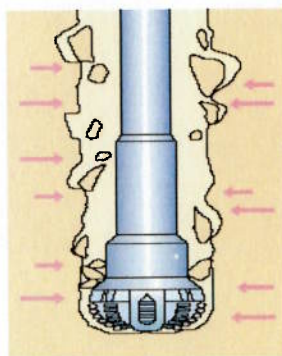


Fig. 9 Formação pressurizada expelindo cascalhos (TOMASI, 2005)

3.3.1.2.5. Formações fragilizadas ou fraturadas

Formações fragilizadas antes da perfuração apresentam risco à medida que aumentando as fraturas ou a fragilidade pode fazer com que pedaços de rocha ou simplesmente parte da formação se soltem no poço, possivelmente causando aprisionamento mecânico da coluna.

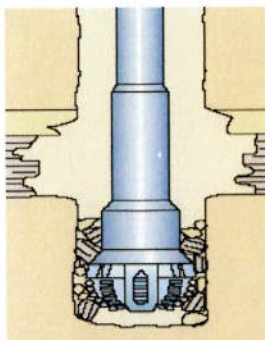


Fig. 10 Formação fraturada desmoronada no poço (TOMASI, 2005)

3.3.1.2.6. Sucata

Ferramentas de superfície, peças e detritos de qualquer espécie que tenham caído no poço, partes de equipamentos de poço ou de perfuração que tenham sofrido fadiga ou simplesmente falha; qualquer “corpo estranho” ao poço é considerado sucata, e geralmente é resistente o suficiente para danificar os equipamentos de perfuração ou até mesmo para aprisioná-los.

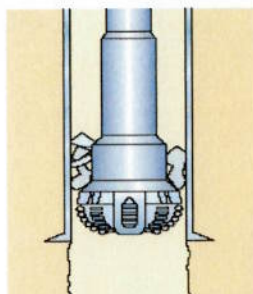


Fig. 11 Aprisionamento por presença de sucata (TOMASI, 2005)

3.3.1.2.7. Blocos de cimento

Se houverem grandes bolsões de cimento a baixo da sapata, com a continuação do procedimento de perfuração, é possível a fratura do cimento e com isso pode-se ter o colapso de blocos que podem acabar por prender a coluna de perfuração.

3.3.1.2.8. Cimento mole

Caso não se aguarde o tempo adequado para a completa secagem do cimento, seja por falha de programação ou por contaminação do cimento que tenha aumentado indesejavelmente o tempo de pega, a pasta de cimento ainda mole pode escorrer a baixo da sapata e secar em posição indesejável aprisionando a coluna.

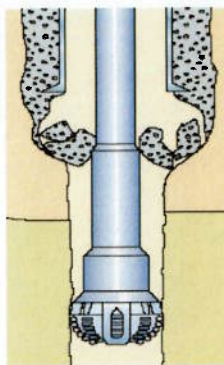


Fig. 12 Aprisionamento por cimento (TOMASI, 2005)

3.3.1.3 Problemas relacionados com a diferença de pressão entre a formação e o poço

3.3.1.3.1. Perda de circulação do fluido de perfuração

3.3.1.3.1.1. Perda parcial

Apesar de no caso da perda parcial haver manutenção da pressão hidrostática, mantendo a estabilidade do poço, a queda da velocidade de carregamento dos cascalhos acima da zona de perda de fluido faz com que eles acumulem sobre a coluna, levando a prisão da mesma.

3.3.1.3.1.2. Perda total com manutenção do nível estático

O problema gerado é o mesmo da perda parcial, pois apesar da circulação não completa, o nível de fluido se mantém a medida que se coloca mais lama no poço, o que mantém a estabilidade do poço, mas há acúmulo dos cascalhos acima da zona de perda sobre a coluna, o que também acarreta a prisão da mesma.

3.3.1.3.1.3. Perda total sem manutenção do nível estático

Mais grave dos problemas de circulação, neste caso a estabilidade do poço está comprometida e além dos cascalhos acumulados em situações menos graves de perda de circulação, há risco de desmoronamento de trechos das formações das paredes do poço. Este caso leva a uma necessidade de interrupção imediata da perfuração.

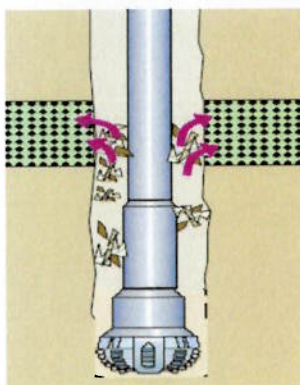


Fig. 13 Perda de circulação do fluido de perfuração (TOMASI, 2005)

3.3.1.3.2. Prisão da coluna por pressão diferencial

São necessárias quatro condições para acontecer aprisionamento por este tipo de fenômeno (DEVEREUX, 1998):

3.3.1.3.2.1. Zona permeável coberta por filtrado da lama de perfuração

A lama de perfuração pode, à medida que passa pela formação, no caso de diferença de pressão, sofrer uma tendência de contaminar a rocha adentrando os poros da mesma, mas há a possibilidade dos poros da rocha filtrar o fluido e haver acumulação dos sólidos da lama sobre a parede do poço enquanto se perde a fase líquida para a rocha. Com o aumento da camada de filtrado, ele mesmo passa a filtrar a lama, tendendo a crescer à medida que a lama que passa por ele não o retira completamente da parede do poço, deixando uma camada de certa espessura aderida à formação.

Esse filtrado é aderente à coluna, sendo ele o responsável pela área de contato entre a formação e o equipamento de perfuração.

3.3.1.3.2.2. Excesso de pressão estática

O Excesso de pressão estática é responsável pela possível perda de fluídos que gerará o filtrado, pela tendência de crescimento da camada de filtrados e pela força que poderá aprisionar a coluna junto ao filtrado formado.

3.3.1.3.2.3 Contato com a parede do poço

Se a coluna encosta na parede, havendo diferença de pressão, ela pode simplesmente se aderir à parede do poço.

3.3.1.3.2.4. Equipamentos estáticos

Esses efeitos acima descritos ainda são agravados caso a coluna seja estática, como é no caso de perfuração com motor de fundo, isso diminui a quantidade de forças resistentes à pressão diferencial e ao contato do equipamento com as paredes do poço.

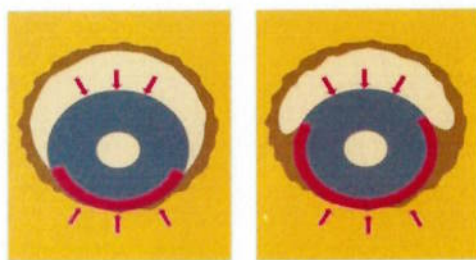


Fig. 14 Aprisionamento, a partir da pressão diferencial, pela aderência da coluna com o filtrado do fluido de perfuração (<http://www.glossary.oilfield.slb.com> , acesso em 2008)

3.3.1.4. Outros fatores de aprisionamento de coluna

Existem outros elementos que podem gerar aprisionamento da coluna, mas eles derivam diretamente de um ou mais mecanismos já apresentados.

3.3.1.4.1. Ação mecânica da coluna na formação

Com a variação da dureza das formações, parâmetros de perfuração, como o peso sobre a broca, rotação da coluna, entre outros, podem de um momento para o outro se tornarem inadequados para a operação, causando deformações indesejadas na coluna ou até mesmo ressonância da mesma com a formação.

A coluna deformada pode começar a se chocar descontroladamente com as paredes do poço, esses choques a desgastam de forma completamente indesejada, levando a falhas estruturais e por consequência à necessidade de pescaria

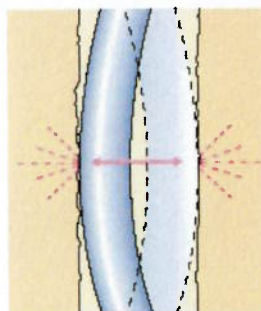


Fig. 15 coluna se chocando indesejadamente com a formação (TOMASI, 2005)

3.3.1.4.2. Alargamentos induzidos por fluido de perfuração

Outro problema que pode gerar necessidade de pesca é o alargamento devido à lavagem de formações inconsolidadas pelos jatos de fluidos próximos a broca. Esses espaços vazios se tornam armadilhas para os equipamentos descidos ao poço, colocando em risco a integridade dos mesmos, e são um problema a mais para a cimentação do revestimento no local, uma vez que mais cimento será necessário para manter a estrutura firme e estanque.

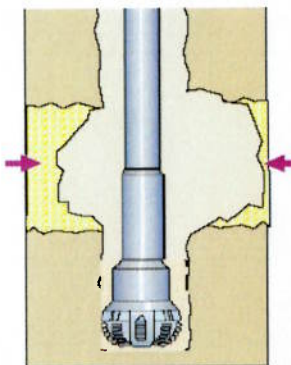


Fig. 16 Alargamento por lavagem (TOMASI, 2005)

3.3.1.4.3. Falhas de revestimento

O revestimento, assim como todo equipamento, está sujeito a falhas, em especial para este estudo: furo e colapso. No caso de furo no revestimento, teremos perda de fluido de perfuração e queda da pressão hidrostática, ambos os efeitos já foram discutidos anteriormente. No caso de colapso do revestimento, que se deve a uma possível incorreção na previsão da pressão no anular, seja pela mobilidade da formação, pela expansão térmica do fluido confinado no anular etc. Nesse caso não haverá necessidade de pescaria, mas sim algo pior, perda do poço a partir do ponto de colapso. Isso, pois esse tipo de dano é irreversível.

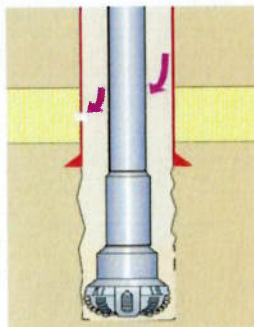


Fig. 17 Furo no revestimento (TOMASI, 2005)

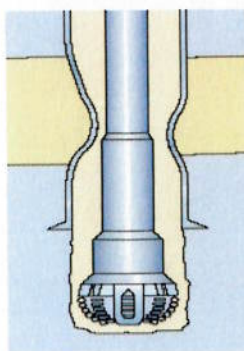


Fig. 18 Colapso do revestimento (TOMASI, 2005)

3.3.2. Falha em outros equipamentos

A prisão de coluna é sem dúvida um dos principais fatores capazes de tornar necessária a realização de operações de pescaria, entretanto não é só a coluna que pode gerar tal demanda, operações com arame e com flexitubo podem demandar pescaria também.

O flexitubo é uma ferramenta muito versátil que vem tendendo a substituir os comandos normalmente utilizados nas mais diversas tarefas, uma vez que seu tempo de manobra e facilidade de operação são muito vantajosos, o próprio arame mencionado acima tem sofrido, em certos tipos de operação, tendência de substituição pelo flexitubo. Entretanto, esse equipamento em si não é o foco deste estudo.

Ambos os equipamentos podem falhar devido à corrosão, seja por ácidos ou gases não previstos em projeto ou simplesmente por ação corrosiva mal dimensionada, podem falhar devido a excesso de carga (tensão ou compressão) aplicada sobre eles, e também podem falhar por utilização em inclinações inadequadas gerando arraste com tensões incompatíveis com a resistência dos materiais.

Nas operações de arame, é importante atentar que muito provavelmente um equipamento valioso estará preso ao arame e uma possível pesca deverá envolver cuidados especiais se comparado a pesca de um equipamento preso, por exemplo, a uma coluna aprisionada.

E com o flexitubo, cuidados e mecanismos para falha e aprisionamento tendem a ser semelhantes aos da coluna, inclusive os mecanismos usados na operação de resgate, com algumas facilidades e complicações devido a sua construção.

4. Soluções para evitar a pescaria

Como discutido anteriormente, a melhor pescaria é evitar a necessidade de pesca, assim, segue uma lista de sugestões diretas, mostrada através das tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, para que em cada possibilidade de fator de risco encontrada, evite-se a necessidade de pesca.

Tabela 4.1 Soluções para os casos onde há problemas de geometria do poço

Problema	Solução sugerida
Poço de calibre reduzido	Verificado o desgaste excessivo da broca na parte do calibre, fazer alargamento para corrigir uma possível inadequação do calibre e passar a usar broca com proteção adequada ao tipo de formação.
Formação de chavetas	Utilizar estabilizadores e centralizadores, fazer alargamento constantemente para manutenção da estrutura do poço.
Perfuração com equipamentos mais rígidos	Acerte a geometria do poço feito com os equipamentos mais moles corrigindo calibre e direção, porém atentando ao fato de se usar especialmente nesse caso mais rotação e menos peso na broca.
Formação de ressaltos	Faça as manobras lentamente e corrija o calibre nessas zonas usando alargador em qualquer resistência encontrada durante a manobra.
Formações móveis	No caso de formação salina, lama a base de água pode ajudar a impedir a invasão do poço pela formação. Usar brocas excêntricas, planejar manobras de limpeza do poço em caso de formações com fluência mais lenta.

Tabela 4.2 Soluções para os casos onde há outros tipos de problemas

Problema	Solução sugerida
Ação mecânica da coluna na formação	Diminuir rotação da coluna e reduzir o peso sobre a broca.
Alargamentos induzidos por fluido de perfuração	Limitar a vazão no poço e minimizar a vibração da coluna de perfuração.
Falhas de revestimento	No caso de furo, levar a coluna de perfuração imediatamente para a altura do revestimento para avaliar o problema. Quando a perfuração for demorada, avaliar a necessidade de um perfil de desgaste do revestimento e inspecionar a bucha de desgaste na cabeça do poço. No caso de colapso, só resta projetar o desvio do poço.

Tabela 4.3 Soluções para os casos onde há diferença de pressão

Problema	Solução sugerida
Perda parcial de circulação do fluido de perfuração	Adicionar material obturante ao fluido de perfuração, por exemplo calcita, e controlar a densidade de circulação equivalente através da taxa de penetração. Se houver zonas de pressões anômalas ou falta de estabilidade, usar revestimento extra.
Perda total de circulação do fluido de perfuração com manutenção do nível estático	Necessita a descida de coluna extra de revestimento ou liner, entretanto o uso de revestimento acarretaria num menor diâmetro final do poço, que significa uma menor coluna de produção, assim, no caso, o ideal seria um liner expansível, mas este demanda uma operação de alargamento.
Perda total de circulação do fluido de perfuração sem manutenção do nível estático	Deve-se retirar a broca para a altura do revestimento o quanto antes e então avaliar o grau da perda. Em seguida deve-se estancar o ponto de perda de fluidos, seja com material grosseiro ou com tampões de cimento.
Prisão da coluna por pressão diferencial	Soluções para cada situação requerida abaixo
Zona permeável coberta por filtrado da lama de perfuração	Aditivos podem ser usados para tornar a camada de filtrado mais fina e menos aderente, ou pode se usar lama a base de óleo que não tem esse tipo de problema.
Excesso de pressão estática	Usar a menor pressão de lama segura possível.
Contato com a parede do poço	Usar equipamentos bem estabilizados, tubos quadrados ou espiralados reduzindo a área de contato com o poço, comandos mais pesados em compressão para reduzir o comprimento dos equipamentos e se os custos justificarem, usar brocas que demandem menos peso sobre ela e por consequência menos equipamento no poço, como exemplo, brocas de dentes de diamante.
Equipamentos estáticos	Minimize pesquisas horizontais com arame, utilização de coluna rotatória é benéfica, manter sempre a coluna em movimento e constantemente checar a vazão, sempre mantendo a coluna em giro lento para não interferir, mas não a deixando estacionária.

Tabela 4.4 Soluções para os casos onde há problemas com presença de sólidos

Problema	Solução sugerida
Camada de cascalhos	Verificar adequação do peso da lama para carregamento dos cascalhos, fazer limpeza do poço antes de mover a coluna e no caso da detecção de obstáculos se acumulando durante a manobra, pare a manobra e faça mais limpeza no poço.
Colapso das paredes superiores do poço	Usar lama com alta capacidade de formação de filtrado, ajudando a manter as formações não consolidadas estáveis através da plasticidade que a camada de lama depositada na parede irá apresentar.
Formações reativas a lama de perfuração	Para xistos hidratáveis, inibir a lama com cloreto de potássio, polímeros e/ou glicóis. Ou então usar uma lama silicosa, reduzindo a taxa de hidratação. Lama base óleo também irá inibir a hidratação. Em xistos com microfaturas, a perda de fluido para a formação pode ser desejável à medida que impermeabiliza a formação com o filtrado.
Formações pressurizadas	Usar peso de lama mais alto e manter o poço limpo, se só o peso da lama não for suficiente para manter a estabilidade, revista o poço o quanto antes.
Formações fragilizadas ou fraturadas	Evitar vibrações e outras ações que possam fraturar ou fragilizar ainda mais a rocha, perfure o mais verticalmente possível para reduzir o tempo de passagem por este tipo de formação e revesti-lo assim quer terminar.
Sucata	Manter sempre limpo o local onde se encontra a mesa rotativa, atentar para boas práticas pessoais próximo ao acesso ao poço, verificar se as ferramentas estão todas aonde deveriam estar. Seguir corretamente o cronograma e o projeto evitando desgastes não previstos dos equipamentos e assim formação de sucata dentro do poço (como cones de brocas etc).
Blocos de cimento	Não exagerar na cimentação e considerar adicionar fibras na calda da pasta de cimento.
Cimento mole	Monitorar amostras do cimento em superfície mantidas em condições semelhantes a do fundo do poço e em circulação, assegurando sua dureza antes de continuar o trabalho no fundo. Fazer aproximação da região com cuidado e mantendo as bombas trabalhando.

Devereaux et al (1998) apresenta dados operacionais precisos para diversos dos casos mostrados acima, mas como meu intuito é o estudo dos mecanismos envolvidos e a operação realizada em si, não entrarei em detalhes puramente operacionais.

5. Tipos de equipamentos de pesca

Existem basicamente três categorias de ferramentas de pesca, as usadas para definir a geometria e orientação do peixe ou da sucata no poço, as usadas para recuperar equipamentos tubulares e as usadas para recuperar sucata (LYONS, 1996).

5.1. Ferramentas de geometria e orientação

Esse tipo de ferramenta pode variar desde meros blocos de impressão a sofisticados captadores de imagem ultra-sônicos de poço.

Os blocos de impressão devem ser usados quando não se tem idéia da geometria do peixe, sendo descido de uma vez ao poço para fazer uma espécie de molde do topo do peixe (WALKER, 1984), que ao ser retirado do poço é analisado e dá subsídios ao pescador para escolher a ferramenta de pesca mais adequada para o peixe em questão, visto que torna conhecidas sua geometria e posição (LYONS, 1996).

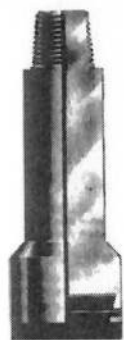


Fig. 19 Bloco de impressão (LYONS, 1996)

Os captadores de ultra-som são operados como uma ferramenta de perfilagem comum, através do sensor gera um perfil em superfície capaz de determinar, assim como o bloco de impressão, geometria e posição.

5.2. Ferramentas de pesca de elementos tubulares

Este tipo de ferramenta pode ser separado em dois subgrupos, as que pegam o peixe por dentro do tubo e as que pegam por fora (LYONS, 1996).

5.2.1. Ferramentas de pesca internas ao peixe

A maioria das ferramentas de pescas internas ao peixe foi desenvolvida baseada nos princípios das lanças e das ferramentas geradoras de rosca.

5.2.1.1. Lanças

Existem alguns tipos de lanças, as mais usadas, basicamente, são as de atracação e as de escorregamento, a maioria delas são desacopláveis, entretanto existem as lanças de bulldog, por exemplo, que não podem ser desacopladas. Como outros tipos de lança, temos as recuperadoras de obturadores e as lanças de arame.

Ambos os tipos (atracação ou escorregamento), funcionam entrando em peixes com furo arredondado e se acoplando a eles, assim podem remover o peixe ao serem puxadas de volta para a superfície.

São usados acessórios junto às lanças para auxiliá-las no cumprimento de sua tarefa, dentre eles o substituto de parada, que é colocado sobre a lança e impede que ela atravesse completamente o peixe e não se acople a ele, e uma unidade de vedação sob a lança, que será responsável por controlar a circulação através do peixe.

As lanças recuperadoras de obturadores são operadas juntas de moedores, que são responsáveis por liberar os obturadores do poço enquanto a lança é responsável por segurá-lo e poder trazer a parte não moída de volta a superfície.

As lanças de arame são as usadas para recuperar linhas de arame do poço, pode ser de forçado simples ou composta por vários forçados, podendo conter farpas nos forçados. Essas lanças simples executam uma das pescas mais delicadas, pois se descida ou rotacionada em demasia, a lança pode embolar o arame e impossibilitar seu resgate. Neste caso também são conhecidas como arpões.



Fig. Lança (LYONS, 1996)

5.2.1.2. Geradores de rosca

Esta é uma ferramenta com um condutor endurecido que consegue adentrar o peixe e se acoplar firmemente, o mecanismo aplicado se assemelha a instalação de um parafuso em madeira, se deforma o elemento criando uma rosca que impede o desacoplamento caso não se gire para o lado de desacoplamento da rosca gerada.



Fig. 21 Ferramenta geradora de rosca (LYONS, 1996)

Walker (1984) diz que esse tipo de ferramenta não é desacoplável, assim como Devereux (1998), dependendo do atrito e do curso gerado pela ferramenta no peixe, podendo tornar a tensão para desenroscamento proibitiva aos equipamentos ou simplesmente à coluna.

5.2.2. Ferramentas de pesca externas ao peixe

As ferramentas de pesca externas ao peixe, como o nome dá a entender, são aquelas que precisam passar pelo peixe externamente antes de se acoplar a eles. A mais simples ferramenta deste tipo é a coroa geradora de rosca, que utiliza o mesmo princípio da ferramenta geradora de rosca, mas ao invés de ser o parafuso do sistema porca-parafuso, por se acoplar externamente ao peixe coroa é a porca e gera a rosca no peixe como se este fosse o parafuso.



Fig. 22 Coroa geradora de rosca (LYONS, 1996)

Outras ferramentas externas mais complexas seguem o mesmo princípio, porém ao invés de criarem rosca, utilizam outros mecanismos de adesão ao peixe, essa opção se dá pela busca de ferramentas de desacoplamento mais fácil, para em caso de insucesso na retirada do peixe não se cause mais problemas para uma nova tentativa ou alternativa.

A ferramenta mais usada para pesca é sem dúvida o “*overshot*”, que se trata de uma ferramenta de fácil desacoplamento na qual se pode instalar equipamentos auxiliares diretamente.



Fig. 23 Overshot (LYONS, 1996)

A vantagem desse tipo de ferramenta de pesca é a não necessidade de abertura no peixe, uma vez que se acopla externamente, o que facilita a captura do peixe, por não precisar atingi-lo precisamente em sua abertura.

5.3. Ferramentas de pesca de sucata

A sucata por não ser elemento tubular como os compatíveis com as ferramentas apresentadas anteriormente, demanda mecanismos específicos para todos esses elementos não padrão. A maioria destes elementos não pode ser perfurada normalmente, o que resolveria o

problema já que eles não precisariam ser pescados, entretanto eles são resistentes e podem danificar os equipamentos de perfuração se não forem tratados adequadamente.

5.3.1. Ferramentas de moagem

As ferramentas de moagem são vastamente utilizadas para a pesca de sucata, como o nome diz, ela mói a sucata reduzindo a um tamanho particular capaz de ser removido para a superfície através da circulação do fluido de perfuração.

Essas ferramentas são projetadas especificamente para moer um tipo de material, seja aço, seja carbetos etc, assim, apesar de se assemelhar com brocas, não podem ser usadas na perfuração de rochas, mesmo sendo muito eficientes moendo aço por exemplo.

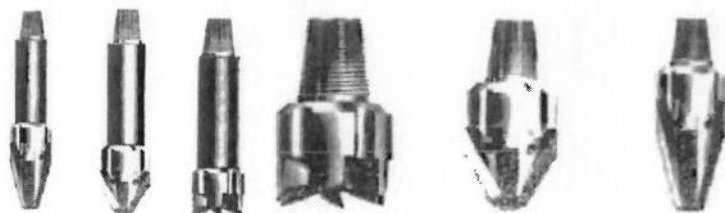


Fig. 24 Moedores (LYONS, 1996)

5.3.2. Cestas de sucata

As cestas de sucata são ferramentas utilizadas para coletar sucatas pequenas ou quebradas, porém grandes para serem retiradas do poço por simples circulação da lama.

Existem alguns tipos de cesta, entretanto diferem apenas na forma em que a sucata é levada à cesta. Como exemplos de cestas de sucata, temos as que funcionam pela circulação do fluido e movimento da cesta, as que utilizam jatos, as rotatórias aprisionadoras, etc.

As cestas podem ser usadas em associação com as ferramentas de moagem, já capturando alguma sucata que não foi moída o suficiente ou simplesmente garantindo uma melhor remoção da sucata do poço.



Fig. 25 Cesta de sucata (LYONS, 1996)

5.3.3. Ferramentas magnéticas de pescaria

Como a maioria da sucata possível de se ter no poço é metálica, é intuitivo utilizar ferramentas magnéticas para resgatá-las. Esse tipo de mecanismo tem sido usado com sucesso para pequenos elementos metálicos.

As ferramentas magnéticas podem ser compostas por elementos imãs permanentes ou eletroímãs, que são inseridos em uma seção não magnética de substitutos e descidos no poço atraindo e prendendo os elementos metálicos livres no poço.



Fig. 26 Imã de pescaria (LYONS, 1996)

5.4. Equipamentos auxiliares

Apesar de não serem exatamente equipamentos de pescaria, os equipamentos auxiliares são muito importantes na operação e por isso devem ser apresentados por constituírem o inventário do pescador em campo.

5.4.1. Junta articulada

A junta articulada é um equipamento que permite pegar peixes em porções lavadas da formação e outros pontos de difícil acesso por elementos tubulares retos.

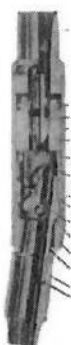


Fig. 27 Junta articulada (LYONS, 1996)

5.4.2. Coroa de moagem

A coroa de moagem é responsável por corrigir o topo do peixe liberando o anular de possíveis obstruções, viabilizando, ao retificar seu formato tubular e restaurando as condições para circulação de fluido, que se usem ferramentas padrão de pescaria.



Fig. 28 Coroa de moagem (LYONS, 1996)

5.4.3 Elementos separadores de coluna

Existem diversos elementos, desde cortadores de tubos a explosivos, que são utilizados para auxiliar a pescaria separando partes desejadas dos tubos presos.



Fig. 29 Cortadores de tubo (LYONS, 1996)

5.4.4. Ferramentas hidráulicas e de impacto

As ferramentas hidráulicas são semelhantes a macacos hidráulicos, e responsáveis por fornecer força extra aos equipamentos, ajudando a remover o peixe. Utilizam uma série de pistões e sua força não é aplicada aos equipamentos de superfície e sim ao revestimento, além é claro do peixe, aliás, força essa aplicada diretamente ao peixe com magnitude muito superior a aplicada em qualquer equipamento de poço ou cabeça de poço, mostrando realmente ser útil no auxílio da operação de pescaria de ferramentas.

A principal ferramenta de impacto é o jar, que pode ser de mecanismo hidráulico ou mecânico, que é presença quase constante em qualquer montagem de equipamentos de poço, uma vez que seu impacto pode liberar o próprio conjunto do qual ele faz parte de eventuais aprisionamentos, além é claro de ser de grande valia nas operações de pescaria, uma vez que consegue aplicar poderosos impactos sobre os equipamentos presos auxiliando desde engates de ferramentas de pesca até a própria liberação do peixe.

O jar é instalado logo atrás da ferramenta de pesca, pois assim o impulso do seu impacto é atenuado em relação aos equipamentos da coluna, e pode gerar impacto em ambos os sentidos, dependendo apenas da vontade do operador. Assim o jar pode ser usado para em conjunto do peso da coluna auxiliar no acoplamento da coluna com o peixe e com a liberação do mesmo auxiliando com a força necessária para se iniciar a trazida do peixe à superfície.

Independentemente do mecanismo utilizado, o princípio de funcionamento do jar é o mesmo, ele acumula pressão até o momento em que sua operação é necessária e se libera de uma vez toda essa pressão acumulada.



Fig. 30 Jar (www.weatherford.com , 2008)

5.5. Ferramenta de ponto livre

Para pescar, é necessário saber o ponto em que o peixe está preso, um método simples e eficaz é baseado no princípio da distensão sob tensão dos elementos tubulares desde a superfície até o ponto de aprisionamento.

Esse princípio é preciso e válido, pois partimos da superfície onde os tubos estão tensionados pela atuação do peso da coluna em direção ao ponto de prisão, onde naturalmente haveria compressão pela normal gerada a partir da formação sobre o tubo.

Assim, para determinar o ponto de prisão da coluna, utiliza-se a ferramenta de ponto livre. Ela é composta de duas âncoras que medem a distensão da coluna quando se aplica uma tensão, com a ferramenta calibrada num tubo livre, à medida que ela vai sendo descida pelo poço, ela vai verificando essa alteração de distensão quando se aplica uma variação na tensão pela aplicação de forças na superfície. De posse da força, da distensão, da seção transversal do tubo, do módulo de elasticidade do material, pela lei de Hooke, podemos encontrar a distância do ponto de aprisionamento até a superfície.

$$Lp = E \cdot A \cdot \frac{L}{F2 - F1} \quad (4)$$

Onde:

Lp é a distância da superfície até o ponto de aprisionamento,

E é o módulo de elasticidade (módulo de Young),

A é a seção transversal do tubo,

L é a distensão medida pela ferramenta,

$F1$ é a tensão para colocar todo tubo em tensão

$F2$ tensão aplicada, superior a $F1$, mas menor que o limite de escoamento do material.

Utilizando a equação (4), se determina a distância até o ponto de aprisionamento.

A calibração feita num tubo livre é corrigida através de tabelas a medida que se usa a ferramenta em tubos mais grossos ou menos escoáveis. Sobre a ferramenta em si, existem quatro tipos de ancoragem utilizada para realizar essa medida de distensão, arco de mola (que é o mais antigo), de imã permanente, eletro-imã e motorizada. A leitura feita pela ferramenta da movimentação entre as âncoras é na forma de tensão, compressão, torque anti-horário e as mais modernas medem torque horário também.

5.6. Ferramentas para desacoplar o peixe e a coluna

Uma vez determinado o ponto onde a coluna está presa, se utilizam ferramentas para desacoplar a coluna livre da presa, não é foco do estudo analisar diversas ferramentas deste tipo, mas é importante mencionar os principais mecanismos aplicados.

Dois são os tipos de mecanismos mais usados para fazer a separação, corte e explosão. O corte pode ser realizado internamente ao tubo ou externamente em conjunto com uma coroa de moagem. O acionamento da ferramenta de corte é feito ou por pressão (bombeia-se um fluido pressurizado que aciona a ferramenta) ou mecanicamente ao se chegar ao local. Utilizando explosão, simplesmente se desce uma carga explosiva até o ponto de desengate e aplicando torque no sentido de desenroscamento à coluna, se explode a carga liberando energia suficiente para desconectar o peixe do tubo livre.

6. Proposta de programação para a operação de pescaria

Com base nos mecanismos e ferramentas anteriormente discutidas e apresentadas, pode-se montar um roteiro ótimo padrão para se realizar pescaria com maior probabilidade de sucesso, ou seja, menor prejuízo, em relação a uma pesca sem critérios.

Vale lembrar que é imprescindível em todas as etapas de operação, se priorizar a segurança, evitando sempre influxos indesejados ou desmoronamento das paredes do poço, impedindo o surgimento de situações que possam pôr a operação e/ou os operadores em risco, mantendo sempre a atenção mais alta para a manutenção de condições seguras nas operações em execução.

Partimos do princípio que a melhor pescaria é não precisar da pescaria, então ouvir o poço é importante. Não deixar brocas desgastar em excesso, ao ponto de se perder partes dela no poço, perfurar formações inadequadas ao tipo de broca, caso detecte-se substâncias corrosivas não previstas, passar a tratar o material que vai ao poço com a proteção adequada ao meio corrosivo em questão, etc. Manter a operação em acordo com os padrões do projeto é o passo principal.

Havendo um incidente onde a coluna ficou aparentemente presa, ou detecta-se que o comportamento não está normal, deve-se verificar as condições do poço para localizar qual dos problemas apresentados que podem levar a necessidade de pescaria estão presentes e seguir as soluções indicadas para tentar solucionar o problema, evitando assim que haja aprisionamento ou danos maiores aos equipamentos do poço e no poço, ou seja, evitando a necessidade da pesca.

Uma vez necessário realizar operação de pescaria, analisar as possíveis causas que trouxeram a necessidade de pesca para assim entender melhor o estado do peixe, a posição e os passos a serem seguidos. Podem-se resumir os passos seguintes do resgate de modo que se em determinado caso não houver necessidade de algum passo é porque implicitamente ele foi feito.

6.1. Estudo da viabilidade da pesca

Análise do risco, em caso da pescaria ser optativa e não compulsória. Cálculo do tempo a ser empregado em pescaria e não em solução alternativa.

6.2. Análise do peixe

Determinação do ponto de prisão ou localização da peça, determinação do peixe (qual o obstáculo que está impedindo o prosseguimento da operação interrompida), da geometria do peixe e do tamanho do peixe, verificando, em seguida, se há necessidade de operações corretivas de geometria e de desacoplamento de coluna.

6.3. Seleção das ferramentas necessárias no caso

Em posse das informações do estado do peixe, deve-se analisar qual a melhor maneira de se retirar ou moer (no caso de sucata), escolhendo então quais as correções (se necessário) devem ser realizadas e as ferramentas adequadas para tal trabalho, escolhendo também as

ferramentas adequadas para pesca, averiguando se as correções podem ser feitas na mesma manobra que a pesca, a ordem das operações etc.

6.5. Adequação do peixe às ferramentas de pescaria

Havendo necessidade de correção de geometria ou de desacoplamento, devem-se aplicar as ações corretivas adequadas ao caso, deixando o peixe pronto para ser pescado.

6.6. Tentativa de pesca

Aplicação da solução previamente escolhida e tentativa de pesca. Em caso de falha, se ainda houver tempo disponível dentro o determinando na análise de viabilidade (caso contrário se parte para a solução alternativa), se analisa a falha na operação pra determinar se há necessidade de novas correções no peixe e se é aconselhável a troca da ferramenta de pesca empregada.

7. Discussão

O programa levantado no capítulo anterior é seguido de maneira básica pelas empresas que realizam pescaria, podendo haver pequenas alterações de ordem ou simplesmente pela forma com que são realizados os trabalhos, podendo haver etapas realizadas simultaneamente. Outra diferenciação possível em alguns casos, é que determinada empresa pode ter desenvolvido alguma ferramenta que realiza mais de uma etapa numa única manobra, ou que não demande preparação. Mas os passos determinados são necessários, mesmo que se faça de alguma maneira não convencional. Em suma, sempre haverá esses quatro passos (exceto quando a pesca for compulsória, pois não há estudo de viabilidade de pescaria): Detecção de problema no poço, tentativa de correção do problema, estudo de viabilidade de pesca e pesca.

O procedimento de pesca segue também os itens mostrados, mas como dito no parágrafo anterior, pode haver alterações de empresa pra empresa, só que essas alterações não excluem a realização de cada uma das tarefas sugeridas. Todas as etapas são realizadas, mesmo que, por exemplo, seja feita correção do peixe simultaneamente com a pesca, ou que se pesque sem correções, ou que as condições de operação anteriores à necessidade de pescaria desse conhecimento suficiente para se dispensar a análise do peixe, mas é certo: para pescar tem que se saber se é rentável e válido, para escolher as ferramentas tem que se saber com o que está se trabalhando, para pescar têm que ser utilizadas ferramentas compatíveis com o peixe.

7.1 Outras análises

Visto que as operações de pescaria demandam tempo, e esse tempo é considerado perdido diante da interrupção da operação normal, algumas empresas têm diversificado alguns procedimentos para ganhar tempo nesse tempo desperdiçado. Não se tem como pular etapas, mas mecanismos de acelerá-las sempre são bem vindos, e aproveitar o poço parado para conhecê-lo melhor enquanto se pesca também tem se mostrado positivo.

A substituição quando possível dos comandos de perfuração e equipamentos padrão de pesca por versões adaptadas para flexitubo tem se mostrado válidas ao passo que o tempo de manobra do flexitubo é muito menor que o tempo de operação convencional, assim, muitas empresas quando se mostra possível, vêm utilizando ferramentas adaptadas as capacidades do flexitubo para realizar a pesca e ganhar um tempo muito valioso. A limitação do flexitubo é que ele é menos resistente comparado aos comandos normais de perfuração, podendo ser empregado apenas em situações onde as condições realmente se adéqüem aos limites de seu uso.

Uma nova vertente que vem se desenvolvendo é a adição de sensores de perfilagem junto à coluna durante as operações de pescaria. Os sensores obviamente têm que ser resistentes às tensões que surgirão durante as operações, mas mesmo sendo mais limitados que os de uma perfilagem tradicional, o uso desses sensores mostrou ganho de produtividade no projeto como um todo, pois traz mais informações a respeito do poço e da geologia local e ainda utilizando um tempo considerado improdutivo. A obtenção de informações adicionais podem ajudar a prever situações complicadas ou permitir flexibilização de variáveis de projeto reduzindo custos e ganhando-se tempo.

8. Conclusão

Com a criação deste trabalho crítico a respeito das operações de pescaria em poços de petróleo e gás natural, conseguiu se criar uma fonte bibliográfica de qualidade e conteúdo para servir como referência em estudos que visem aprofundar os conhecimentos na área, desenvolver novos conceitos relacionados ao tema ou até que simplesmente demandem mais informações a respeito do assunto, suprimindo assim, uma lacuna presente nas obras em língua portuguesa relacionadas ao tema que estão disponíveis nas bibliotecas e base de dados oferecidas aos universitários e demais membros do mundo acadêmico.

Referências

- 1- AMORIM JR., D.S.; **Brocas**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 25 set. 2006. /Palestra proferida complementando o conteúdo da disciplina Engenharia de Perfuração PMI1841/
- 2- AMORIM JR, D.S.; **Metodologia para a redução de custos na perfuração de poços de petróleo e gás**. 2008. 102p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- 3- ARRESTAD, T.V.; KYLLINGSTAD, A. Loads on Drillpipe During Jarring Operations. In: SPE European Petroleum Conference, Cannes, 1992. **SPE 24970**. Richardson: SPE, 1994. p.271-275.
- 4- BAKER Hughes Baker Oil Tools, Coiled Tubing Handbook, Houston: Baker Hughes Incorporated, 2003. 78p.
- 5- BAROID fluids handbook. Rev Aug 1, 1997. [S.I]: [s.n.], 1997.
- 6- BRASIL. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Curso de informação sobre perfuração de petróleo**. Volume 1. Rio de Janeiro: [s.n.], 1988. 157p.
- 7- CEARLEY, J. D.; Fishing Techniques for Drilling Operations. In: Southwest Section AAPG, 1999. Graham, 1999.
- 8- CONAWAY, C.F. **The Petroleum Industry: A Nontechnical Guide**. Oklahoma: PennWell, 1999. 289p.
- 9- D'ALMEIDA, A.L.; SILVA, L.M.; RAMOS, J.S. A Fishing Operations Expert System. In: SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, 1997. **SPE/IADC 37590**. Amsterdam: SPE, 1997. p.185-188.
- 10- DEVEREUX, S. **Practical Well Planning and Drilling Manual**. Oklahoma: PennWell Corporation, 1998. 517p
- 11- DRILLING Engineering workbook: A distributed learning course. Rev. B. Houston: Baker Hughes INTEQ Training & development, 1995. 391p.
- 12- ENI S.P.A. Agip division STAP department, Drilling Procedures Manual, [S.I]: [s.n.], 1999.
- 13- ESTON, S.M.; **Análise de Risco**. São Paulo, Universidade de São Paulo, maio 2007. /Anotações de aula da disciplina Engenharia Ambiental em Minas PMI2961/
- 14- Flexitubo – Apresenta informações a respeito dos equipamentos para uso com flexitubo da empresa. Disponível em: <<http://www.surco.com.br>>. Acesso em 26 de nov. 2008.

- 15- GORDON, L.; MCDANIEL. A Theoretical and Experimental Study of Jarring, 1982. In: SPE, Richardson, 1982. **SPE 10549**. Richardson: SPE, 1982.
- 16- HARTLEY, J.S. **DRILLING: tools and programme management**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1994. 150p
- 17- HYNE, N.J. **Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling, and Production**. 2ed. Oklahoma: PennWell Corporation, 2001. 598p
- 18- IADC Drilling Manual. Ebook version (V.11), Houston: Technical Toolboxes, inc., 2000. 1451p.
- 19- IRAMINA, W. S.; **Pescaria**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 18 nov. 2008 /Anotações de aula da disciplina Engenharia avançada de perfuração PMI1042/
- 20- JANH, F.; COOK, M.; GRAHAM, M. **Hydrocarbon Exploration and Production**. Amsterdam: Elsevier B.V., 2005. 384p.
- 21- LYONS, W.C. **Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering VOLUME 1**. Houston: Gulf Professional Publishing Company, 1996. 1431p.
- 22- LYONS, W.C.; PLISGA, G.J. **Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering**. 2ed. Burlington: Elsevier, 2005. 1557p
- 23- Oilfield Technologies and Services - Halliburton – Apresenta diversas informações a respeito das atividades da empresa e seus equipamentos. Disponível em: <<http://www.halliburton.com>>. Acesso em 8 de set. 2008.
- 24- Schlumberger Oilfield Glossary – Apresenta um glossário de termos da indústria do petróleo. Disponível em: <<http://www.glossary.oilfield.slb.com>>. Acesso em 30 de jan. 2007.
- 25- SCHOLFIELD, T.R.; WHELEHAN, O.P.; BARUYA, A. A New Fishing Equation. In: SPE International Meeting on Petroleum Engineering, Pequim, 1992. **SPE 22380**. Pequim: SPE, 1992. p.507-517.
- 26- SEVERINO, A. J.; **Metodologia do Trabalho Científico**. 20ed. São Paulo: Cortez Editora, 1999. 161p.
- 27- SUGUIO, K.; **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: BCD união de editoras S.A., 1998. 1222p
- 28- THOMAS, J.E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2004. 271p.
- 29- TOLLEFESSEN, E.; FLORES, B.; MOHAMED, N.H. Logging While Fishing: An Alternate Method to Cut and Thread Fishing. In: SPE annual Technical Conference and Exhibition, Denver, 1996. **SPE 36487**. Denver: SPE, 1996. p.739-744.

- 30- TOMASI, I.V.; **Aspectos importantes a serem considerados nos projetos de perfuração de poços de petróleo.** Macaé, Universidade Corporativa da Petrobras, set. 2005. /Trabalho escrito para o curso “Projeto de Poço para Engenheiros Fiscais”/
- 31- WALKER, G. Fishing. In: SPE Eastern Regional Meeting, Charleston, 1984. **SPE 13360.** Charleston: SPE, 1984. p.93-96.
- 32- Weatherford International Oil Field Services – Apresenta diversas informações a respeito das atividades da empresa e seus equipamentos. Disponível em: <<http://www.weatherford.com>>. Acesso em 30 de ago. 2008.