

CAIO VÍTOR QUEIROZ MIGNOLI

**TÓPICOS DE SEGURANÇA APLICADOS A ENGENHARIA DE
POÇO**

São Paulo

2013

CAIO VÍTOR QUEIROZ MIGNOLI

TÓPICOS DE SEGURANÇA APLICADOS A ENGENHARIA DE POÇO

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

Orientação: Prof. Dr. Wilson Siguemasa Iramina

São Paulo

2013

RESUMO

A engenharia de segurança é um campo de estudo muito abrangente, que contribui para que objetivos de qualidade e eficiência, em uma produção segura, sejam alcançados. Por isso atua em diferentes frentes, visando garantir o sucesso dos processos, o correto funcionamento dos sistemas e a preservação das condições que favoreçam o bem estar e a saúde ocupacional dos trabalhadores, assim como a proteção ao meio ambiente. Para aplicar os conceitos de segurança na perfuração e completação de poços tubulares, tanto *onshore* como *offshore*, é preciso conhecer as terminologias mais importantes e empregadas em gerenciamento de risco e segurança. É necessário também saber que há ferramentas e metodologias que podem ser usadas na promoção de uma jornada segura de trabalhos, sendo que o uso delas promove uma visão mais crítica nos trabalhadores da engenharia de poço, o que elevará a qualidade dos serviços realizados. Há preocupações especiais com a eficiência de sistemas e operações na indústria de óleo e gás. Todavia a compreensão da influência da natureza humana sobre operações de engenharia de poço merece uma reflexão, por trazer aspectos determinantes nos estudos de segurança nessa especialidade da engenharia de petróleo. Avaliar as perdas causadas pelas falhas de segurança fornece subsídios que justificam investimentos em boas práticas de gestão e aquisição de equipamentos especificados para a engenharia de poços de petróleo.

Palavras-chave: Segurança, gerenciamento de risco, perfuração e completação, engenharia de poço.

ABSTRACT

Safety engineering is a very broad field of study, which contributes so that the goals on quality and efficiency, in a safe production, are achieved. So it acts on different fronts, aiming to ensure the success of the processes, the correct functioning of the systems and the preservation of conditions conducive to the welfare and occupational health of workers, as well as, environmental protection. To apply the concepts of safety in drilling and completion of wells, both *onshore* and *offshore*, one must know the most important terminologies used in risk management and safety. One must also know that there are tools and methodologies which can be used to promote a safe journey in work, and their use also promotes a more critical view from workers in well engineering, it will raise the quality on services performed. There are special concerns with the efficiency of systems and operations in the oil and gas industry. However, the understanding of the influence of human nature on well engineering operations is noteworthy to bring key aspects in safety studies of this specialty of the petroleum engineering. Evaluating losses caused by security breaches provides subsidies that justify investments in good management practices and acquisition of equipment specified for the petroleum well engineering.

Keywords: Safety, risk management, drilling and completion, well engineering.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Exemplo de matriz de riscos. | 6 |
| Figura 2: Barreiras..... | 7 |
| Figura 3: BOP..... | 8 |
| Figura 4: Kick..... | 9 |
| Figura 5: Gaveta Cega..... | 10 |
| Figura 6: Gaveta cega em perfil de Funcionamento..... | 10 |
| Figura 7: Nuvem de gás inflamável sobe da cabeça de poço para plataforma..... | 11 |
| Figura 8: Roda de Nertney..... | 13 |
| Figura 9: <i>Plan-Do-Check-Act</i> (PDCA)..... | 17 |
| Figura 10: Fator de Utilização Pessoal..... | 21 |
| Figura 11: Índice de Ausentismo..... | 22 |
| Figura 12: Prejuízo no exemplo feito..... | 23 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Introdução..... | 1 |
| 1.1 | Introdução..... | 1 |
| 1.2 | Objetivos..... | 1 |
| 1.3 | Justificativa..... | 1 |
| 1.4 | Metodologia..... | 2 |
| 2 | Revisão Bibliográfica..... | 3 |
| 2.1 | Principais terminologias e conceitos..... | 3 |
| 2.1.1 | Desvio..... | 3 |
| 2.1.2 | Condição Perigosa..... | 3 |
| 2.1.3 | Perigo..... | 4 |
| 2.1.4 | Risco..... | 4 |
| 2.1.5 | Dano..... | 4 |
| 2.1.6 | Dano Físico Pessoal/Ambiental..... | 4 |
| 2.1.7 | Barreiras..... | 4 |
| 2.1.8 | Incidente..... | 5 |
| 2.1.9 | Acidente..... | 5 |
| 2.1.10 | Segurança..... | 5 |
| 2.2 | Gerenciamento de risco e segurança em completação e perfuração de poços..... | 5 |
| 2.2.1 | Identificação de Condições Perigosas..... | 5 |
| 2.2.2 | Matriz de Riscos..... | 6 |
| 2.2.3 | Medidas de controle..... | 6 |
| 2.2.4 | Decisões na Engenharia de Poço..... | 11 |
| 2.2.4.1 | Quanto ao Tempo..... | 11 |
| 2.2.4.2 | Quanto ao Nível e abrangência..... | 12 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.2.5 | Trabalho seguro em sonda..... | 12 |
| 2.3 | Ferramentas usadas para segurança..... | 13 |
| 2.3.1 | HAZOP..... | 14 |
| 2.3.2 | FMECA..... | 15 |
| 2.3.3 | <i>What if</i> | 15 |
| 3 | Boas Práticas de Gestão e Impactos da Natureza Humana..... | 16 |
| 3.1 | PDCA em trabalhos de engenharia de poço..... | 17 |
| 3.1.1 | Planejar (<i>Plan</i>)..... | 17 |
| 3.1.2 | Executar (<i>Do</i>)..... | 18 |
| 3.1.3 | Verificar (<i>Check</i>)..... | 18 |
| 3.1.4 | Agir (<i>Act</i>)..... | 19 |
| 3.2 | Impacto de características humanas sobre as falhas..... | 19 |
| 3.2.1 | Comportamento..... | 20 |
| 3.2.2 | Motivação..... | 20 |
| 3.2.3 | Atitudes..... | 20 |
| 4 | Avaliando Perdas Ocasionadas por Falhas De Segurança..... | 21 |
| 4.1.1 | Ausentismo..... | 21 |
| 4.1.2 | Exemplo Prático..... | 22 |
| 5 | Considerações Finais..... | 24 |
| 6 | Conclusão..... | 25 |
| 7 | Referências Bibliográficas..... | 26 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A segurança é um campo de estudo em que se trabalha para evitar perdas e minimizar a magnitude destas ocorrências nos processos. Por isso é necessário o desenvolvimento de estudos, metodologias e tecnologias que objetivem um maior conhecimento dos eventos indesejados, como preveni-los e quais técnicas ou ferramentas são mais adequadas para evitar possíveis perdas de recursos.

A engenharia de poço é um campo de estudos da engenharia de petróleo. Tal especialidade se subdivide em engenharia de perfuração e engenharia de completação.

A engenharia de perfuração de poços de petróleo envolve todas as atividades necessárias para a abertura de um caminho que permita a comunicação da formação acumuladora de hidrocarbonetos (petróleo ou gás) até a superfície. Essas operações frequentemente envolvem uma logística muito robusta, aliada a equipamentos caros e de alto desempenho que necessitam de operadores altamente qualificados para perfurar quilômetros de rochas durante meses.

A engenharia de completação de poços envolve a cimentação e instalação dos revestimentos e equipamentos de poço para que a produção de petróleo e gás se inicie. No caso de poços de injeção, garante a injeção de fluidos de maneira geoestruturalmente mais segura.

Recentemente o mundo testemunhou acidentes de alta magnitude, como o da sonda Deepwater Horizon no Golfo do México em 2010, e uma série de acidentes e incidentes menores ocorrem frequentemente nas operações de perfuração e completação em todo o mundo.

1.2 Objetivos

Visa-se, com o presente estudo dar uma contribuição sobre o gerenciamento de riscos e elementos de segurança aplicados no contexto da engenharia de poço. Serão adaptadas as terminologias e exemplos para as atividades típicas da engenharia de poço com uma abordagem baseada em práticas de boa engenharia para lidar com possíveis desafios dessa área.

Após uma revisão bibliográfica, será feita uma análises e reflexões de importantes temas para o gerenciamento de risco e segurança, mas no contexto da engenharia de poço.

1.3 Justificativa

O tema foi escolhido, vez que não encontra, facilmente, bibliografia tão específica, em língua portuguesa, que seja pertinente. O trabalho também foi motivado por importantes disciplinas que estão no currículo do curso de engenharia de petróleo da Escola Politécnica.

Sabendo que a demanda por profissionais que dominem os conhecimentos de segurança aplicados à própria realidade de trabalho está crescendo a cada dia, buscou-se dar uma contribuição nesse sentido, visto que o trabalho será disponibilizado para consultas.

1.4 Metodologia

O trabalho baseou-se em pesquisas bibliográficas para reunir informações que abordassem os principais assuntos do tema escolhido. Para se aprofundar a análise acadêmica, procedeu-se à consulta de diversos livros, além de buscar subsídios na orientação de profissionais e professores de engenharia de segurança.

A partir do conhecimento adquirido nas pesquisas e leituras, foi possível desenvolver exemplos dos assuntos de gerenciamento de riscos e de segurança no contexto da engenharia de poço.

Como as disciplinas Gerenciamento de Risco e Segurança (PMI 2966), Engenharia de Perfuração (PMI 1841), Completação e Estimulação de Poços de Petróleo (PMI 1932) e Engenharia Avançada de Perfuração (PMI 1042) estão presentes no currículo de engenharia de petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, foi possível buscar fontes de informação que permitissem reflexões sobre pontos relevantes do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Principais terminologias e conceitos

Antes de estudar metodologias e ferramentas do gerenciamento de risco e segurança, é imprescindível a introdução de uma linguagem adequada às traduções para os demais idiomas, concisa e devidamente sistematizada para uma correta comunicação.

Será usado o Núcleo Conceitual (NC) empregado pelo Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração (LACASEMIN) da Escola Politécnica da USP, o qual está presente nas notas de aula de Gerenciamento de Risco e Segurança (PMI2966) do professor Sérgio Médici de Eston, em 2011.

O NC possui um conjunto homogêneo e padronizado de conceitos e definições, o que foi atingido mediante vasta avaliação e revisão de textos normativos que, não raro, continham inúmeras imprecisões ou uma redação confusa quanto ao emprego dos termos de segurança. Sendo assim, serão pormenorizados dez dos principais termos do NC, acompanhados de traduções para o inglês. São eles:

- Desvio (Deviation)
- Condição Perigosa (Hazard)
- Perigo (Danger)
- Risco (Risk)
- Dano (Damage)
- Dano físico pessoal/ambiental (Harm)
- Barreiras (barrier)
- Incidente (Incident)
- Acidente (Accident)
- Segurança (Safety)

2.1.1 Desvio

É uma condição de não conformidade em relação aos padrões, normas, uniformidades e especificações em diversas situações, as quais por apresentarem uma natureza inesperada, podem levar a ocorrência de eventos indesejados¹.

Ex: Bomba de fluido inadequada, mas improvisada à função de perfuração.

2.1.2 Condição Perigosa

Situação ou conjunto de elementos que criam um potencial de dano ou perda¹.

Ex: Transporte da tubulação de completação (carga suspensa de aproximadamente 400kg) do depósito de tubos até o eixo do poço.

¹ ESTON, S.M. PMI2966 - Gerenciamento de Risco e Segurança: Notas de aula. São Paulo: EPUSP, 2011.

2.1.3 Perigo

Exposição ou contato com a condição perigosa de forma a aumentar a probabilidade de ocorrência de fenômenos prejudiciais, o que pode promover consequências graves se houver perdas materializadas¹.

Ex: Sondador debaixo das colunas de completação durante o transporte dessas do depósito até o eixo do poço.

2.1.4 Risco

É preciso enfatizar que o risco é um número que vincula a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado, associado ou não à magnitude das consequências. Ou seja, é um fator não nulo sempre que houver alguma condição perigosa¹.

Ex: A probabilidade de ocorrência de “kicks” durante a perfuração de um poço por uma empresa é de 30%. Caso ocorra, haverá parada da operação por 6 horas para correção das pressões que evitem o “blowout”. Portanto o risco de interrupção associado (R) é de $R = 0,3 \times 6 = 1,8$ horas.

2.1.5 Dano

Perda física, econômica, ambiental, social ou condição desfavorável resultante de algum evento causado pela exposição ao perigo ou perda de controle da condição perigosa.¹

Ex: *Blowout* dos poços de petróleo.

2.1.6 Dano Físico Pessoal/Ambiental

Caso particular de dano, quando ocorre com uma pessoa no ambiente de trabalho, causando lesão ou doença¹.

Ex1: O sondador pode cortar-se ao utilizar as chaves flutuantes em perfuração com mesa rotativa.

Ex2: Derramamentos de óleos no mar ou na terra em “blowouts”.

2.1.7 Barreiras

Conjunto de elementos projetados para evitar contato com a condição perigosa ou a concretização de um evento indesejado e prejudicial¹.

Ex: Uso do *Blowout Preventer (BOP)* para evitar fluxos descontrolados de hidrocarbonetos, como será melhor discutido adiante neste trabalho.

2.1.8 Incidente

Evento indesejado e inesperado que possa causar resultados negativos. No caso de evento fisicamente indesejado, envolve-se uma liberação descontrolada de energia em sua forma, velocidade ou quantidade¹.

Ex: Ocorrência de um *kick* que não evoluiu para um *blowout*.

2.1.9 Acidente

É um incidente com dano ou perda, isto é, a materialização da condição perigosa de modo acentuado, podendo levar a perdas econômicas, sociais, além de lesão ou doença, se houver pessoas envolvidas¹.

Ex: Explosão e vazamento de óleo na plataforma da *British Petroleum* em 20 de abril de 2010.

2.1.10 Segurança

Uma observação deve ser feita quanto aos termos em inglês, *safety* e *security*, ambos são traduzidos para o português como segurança. Todavia o primeiro implica em segurança de pessoas, processos e sistemas contra eventos indesejados, enquanto o segundo em segurança patrimonial¹. O sentido de segurança no presente trabalho assumirá o significado equivalente a palavra *safety* do inglês.

2.2 Gerenciamento de risco e segurança em completação e perfuração de poços

Há um conjunto de conhecimentos importantes para o gerenciamento de risco e segurança, sendo que neste item serão estudados tais tópicos.

2.2.1 Identificação de Condições Perigosas

A identificação pode ocorrer por meio de conhecimento das energias envolvidas¹.

Na construção do poço, os trabalhadores estão frequentemente expostos a altas energias potenciais gravitacionais, seja pela movimentação de colunas de perfuração (aproximadamente 400 kg) e equipamentos, seja pelo desnível da sonda com o terreno, quando em solo, ou com o nível da água, quando em lagos e mares. Há, ainda, exposição a ruídos (energia sonora) de bombas e motores., bem como a vibração dos equipamentos (energia mecânica). Por fim, observam-se, principalmente, altas pressões (energia potencial) que envolvem a injeção de fluidos, cuja composição pode variar (energia química).

Outra maneira de localizar condições perigosas pode ser a partir da identificação dos desvios existentes. É preciso estudar a possibilidade de dano, observando as energias existentes. Por isso há relevância no conhecimento tecnológico¹.

2.2.2 Matriz de Riscos

Nos processos de identificação de condições perigosas, pode-se chegar a grandes quantidades detectadas, sendo que é preciso ranquear as várias condições perigosas de modo a concentrar os esforços em uma ordem: das mais importantes para as menos urgentes. A escolha das categorias, assim como a classificação de cada caso deve considerar tanto a frequência dos eventos como os estudos feitos pelas análises de risco e dos impactos da concretização em acidentes dessas falhas (SPOUGE, 1999).

Para prosseguir nessa qualificação, um método muito utilizado é a formulação de um gráfico na forma de matriz, conhecido como matriz de segurança, que leva em conta a classificação das condições perigosas segundo uma escala de frequências e uma escala de consequências ou danos, sendo que essas escalas são arbitrárias. É imprescindível o profundo conhecimento de campo e auxílio de profissionais especialistas para que se monte uma avaliação eficiente, especialmente na engenharia de poço, atividade na qual há muitas particularidades técnicas inerentes ao trabalho com o meio ambiente e formações geológicas diferentes.

Na figura abaixo segue um exemplo de matriz de riscos:

| | Frequente | Provável | Remota | Pouco Provável | Improvável |
|--------------|-----------|----------|--------|----------------|------------|
| Catastrófico | | | | | |
| Muito sério | | | | | |
| Sério | | | | | |
| Moderado | | | | | |

Figura 1 - Exemplo de matriz de riscos (SPOUGE, 1999).

Na figura acima poderíamos, por exemplo, montar uma escala na qual frequente corresponderia a mais de 80% das ocorrências; provável seria entre 50% e 80% das ocorrências; remota entre 40% e 50% das ocorrências; pouco provável entre 10% e 40% das ocorrências e improvável menos de 10% das ocorrências. A escala para a gravidade da falha deve levar em conta a quantidade de perdas e a severidade de cada uma delas, sendo construída similarmente à escala de frequências. Como já foi dito, essas escalas são arbitrárias. Por conseguinte devem ser estipuladas por técnicos experientes em parceria com especialistas em análise de risco e segurança.

2.2.3 Medidas de controle

Os controles envolvem, especialmente, o projeto de equipamentos e atividades para a construção de barreiras a eventos indesejados ou condições perigosas. Contudo mesmo os mais avançados sistemas estão sujeitos a falhas.

Como há barreiras que não cumprem a sua função adequadamente e, conseqüentemente, ocasionam perdas, um acidente deve-se a um conjunto de fatores e falhas. Por isso percebe-se a importância de um conceito de engenharia de segurança de

sistemas, qual seja, o de redundância, isto é, quanto maior o número de barreiras para impedir e prevenir falhas, mais segura será a operação.

A eficiência ou ineficiência de barreiras está ilustrada esquematicamente na figura a seguir:

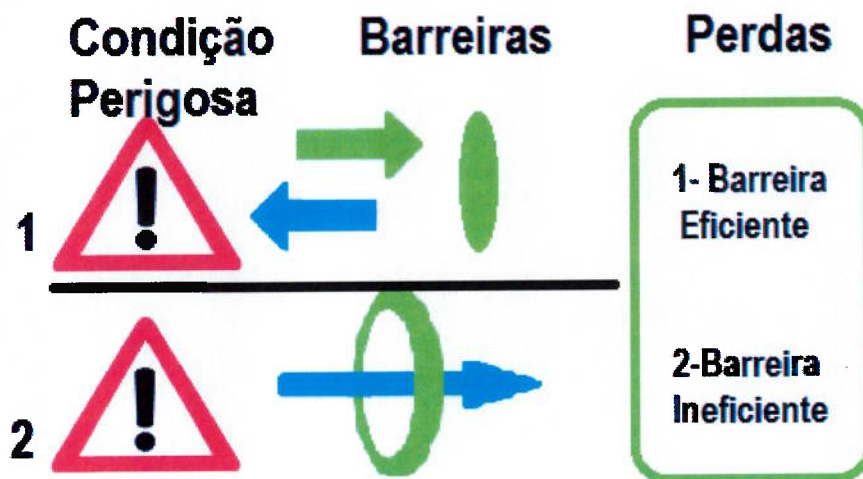


Figura 2 – Barreiras (ESTON, 2010)¹.

Um tipo de barreira usada na fase de perfuração do poço e que vale descrever melhor devido à importância que tem é o *Blow Out Preventer* (BOP). Ele está representado na figura abaixo:

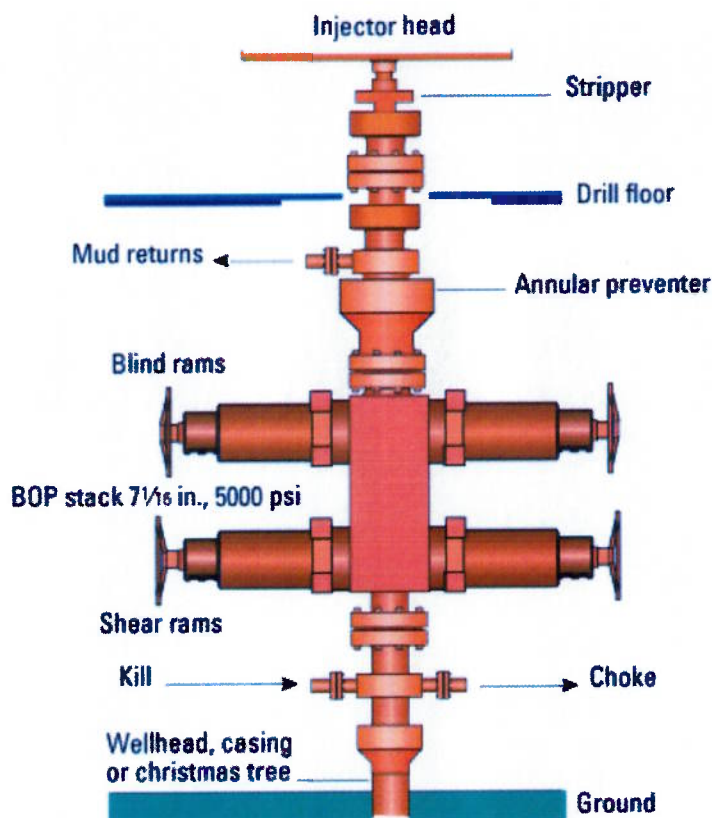


Figura 3 – BOP (SCLHUMBERGER, 2010?)

O BOP impede fluxos descontrolados para fora do poço; é composto por um conjunto de válvulas e dispositivos para esse fim. Acionado quando é perdido o controle sobre a relação das pressões da formação com a pressão no poço, serve para o procedimento de emergência, que pode evitar *Kicks*, um fluxo indesejado, mas controlável, para dentro do poço (BOURGOYNE, 1986).

Quando os *Kicks* evoluem para fluxos descontrolados maiores, há vazamentos e graves acidentes da indústria de petróleo na fase de upstream.

Os BOP's são equipamentos caros, pesados e que precisam resistir a condições de campo severas, altas pressões. No caso *offshore*, esses equipamentos tem grande porte podendo atingir de 4 a 6 metros de altura. Para que seu funcionamento seja suficientemente eficiente é preciso que os fluídos hidráulicos que acionam as gavetas, estejam devidamente pressurizados por equipamentos de superfície.

Na figura abaixo, um *kick* está ilustrado:

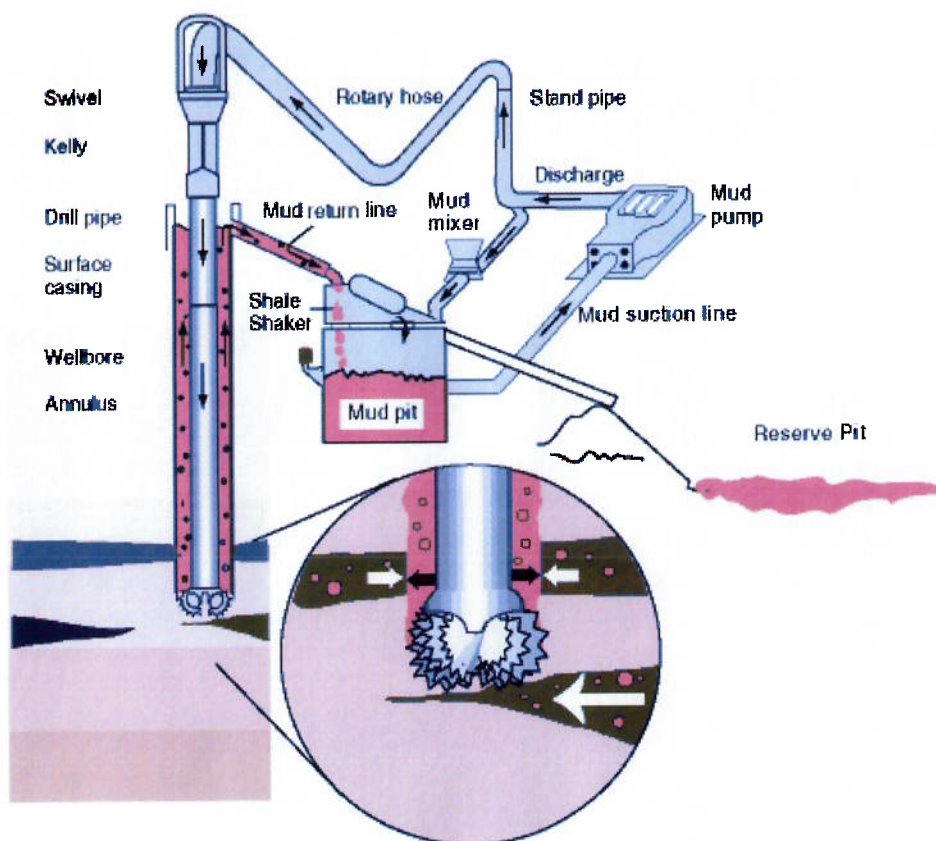


Figura 4 – Kick (U. S. DEPARTMENT OF LABOR, 200?)

Há três importantes elementos do BOP que serão descritos nos parágrafos a seguir.

O Preventor Anular, quando acionado comprime uma borracha sobre a coluna, vedando o anular, é capaz de fechar sobre qualquer diâmetro devido ao coeficiente elástico do material; porém ao se aliviar a pressão, ele não permanece fechado (BOURGOYNE, 1986).

A gaveta de tubos tem o diâmetro do tubo sobre o qual é fechada e por consequência também fecha o anular. Contudo não corta os tubos sobre os quais é fechada, permanecendo acionada, mesmo com o alívio da pressão de acionamento.

A gaveta cega ou gaveta de cisalhamento é capaz de cortar o tubo de perfuração (GRÖNDAHL, 2010), sendo que o funcionamento está esquematizado nas figuras a seguir:

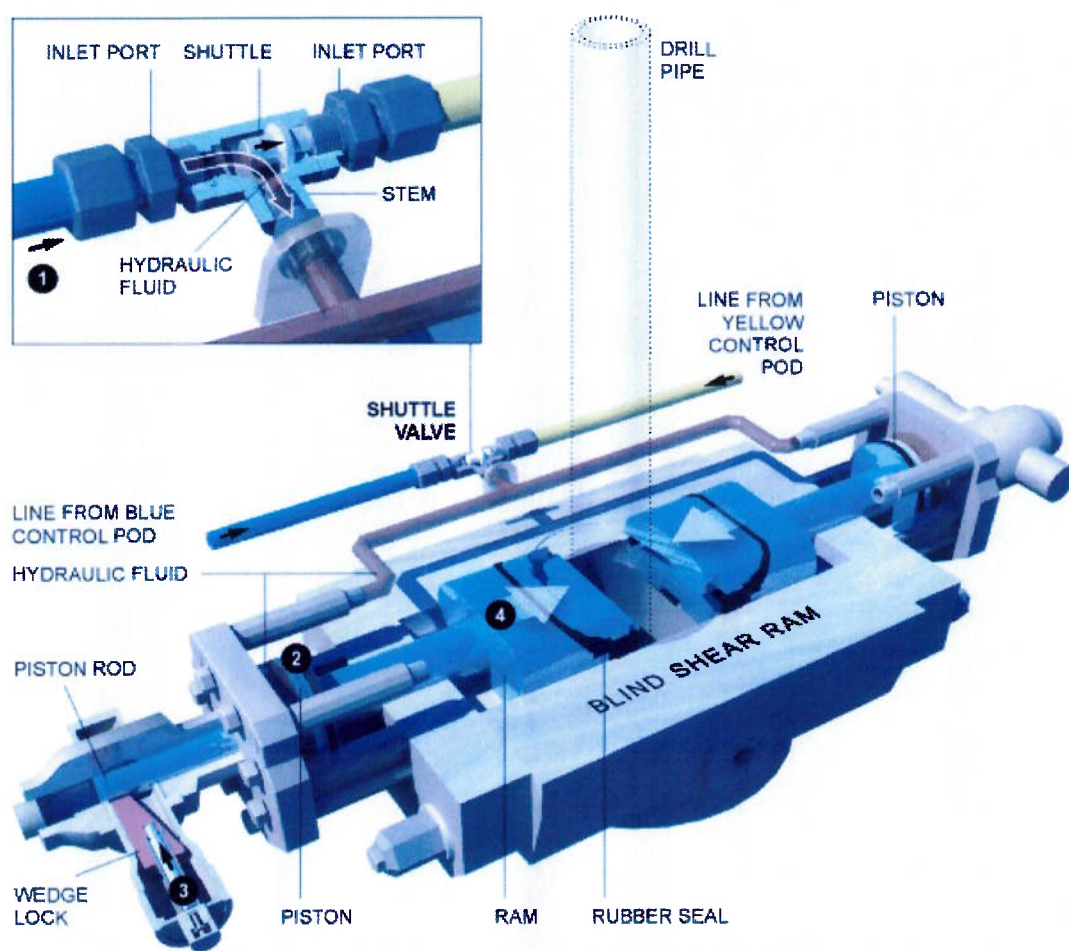


Figura 5 - Gaveta Cega (GRÖNDAHL, 2010)

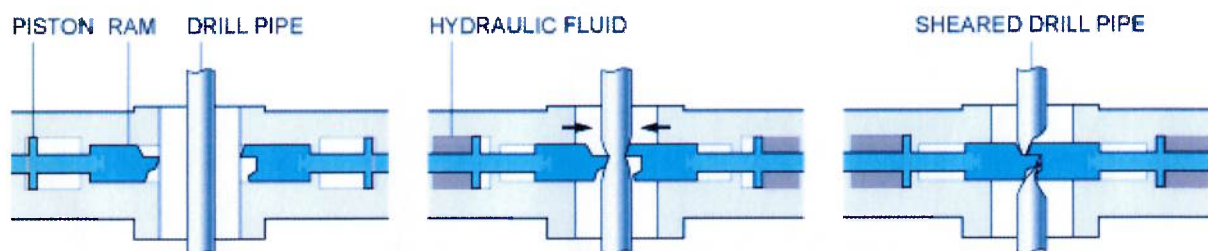


Figura 6 - Gaveta cega em perfil de Funcionamento (GRÖNDAHL, 2010)

Na figura 5, para acionar a gaveta de cisalhamento, a válvula de serviço, indicada pelo índice um (1), abre caminho para a injeção de fluido, que entra pela válvula em T e comprime os pistões indicados pelo índice dois (2), até que a gaveta cisalhante se feche, quando é travada a fechadura em cunha indicada pelo índice três (3), sendo que isso impede o retorno dos pistões. Na região indicada pelo índice quatro (4), adicionalmente à gaveta fechada, uma borracha de vedação impede o fluxo e tem a própria vedação facilitada pela pressão que vem da formação, a qual a comprime. Tudo isso fecha permanentemente o poço e impede fluxos ascendentes (GRÖNDAHL, 2010)

A título de exemplo da relevância desses equipamentos, deve-se mencionar o recente e catastrófico acidente da sonda Deepwater Horizon que explodiu no Golfo do México, o que levou imediatamente 11 pessoas a óbito e 17 ficaram feridas. Além da

falha na cimentação, a coluna estava mal posicionada no BOP e, por isso, quando as gavetas foram acionadas, não houve a interrupção da linha de fluxo, pois a gaveta cisalhante não foi capaz de cortar o tubo. Houve vazamento de uma nuvem de gás natural altamente inflamável, a qual entrou em ignição. A plataforma foi consumida pela explosão e afundou. É considerado o maior desastre ambiental da história da indústria de petróleo por ter derramado, por 85 dias, aproximadamente cinco (5) milhões de barris de petróleo (DISCOVERY CHANNELL, 2011?).

Segue abaixo uma figura ilustrativa semelhante ao caso da Deepwater Horizon, quando o gás atingiu a plataforma:

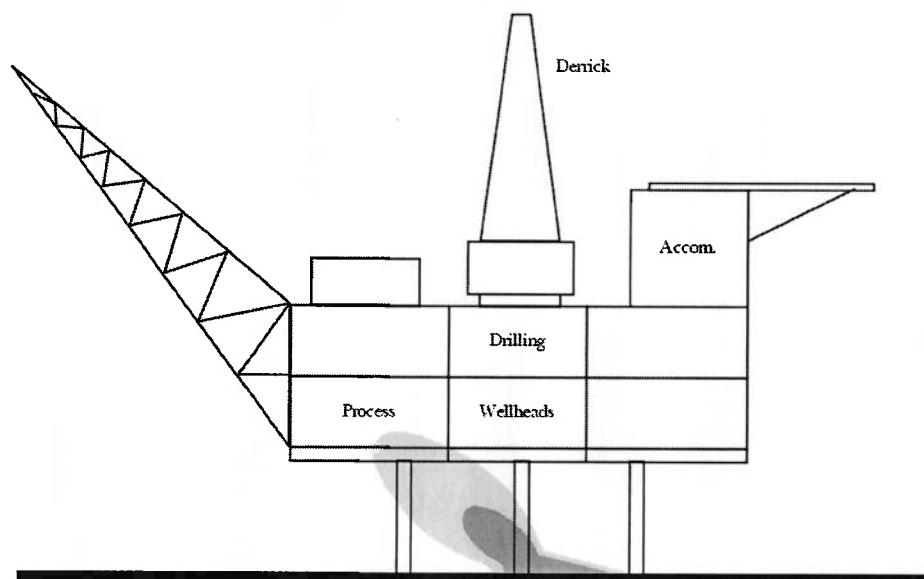


Figura 7 - Nuvem de gás inflamável sobe da cabeça de poço para plataforma (SPOUGE, 1999).

2.2.4 Decisões na Engenharia de Poço

As escolhas e decisões são imprescindíveis à conclusão segura das atividades de construção e até operação de um poço de petróleo. Nos subitens a seguir, iremos revisar os tipos de decisões quanto ao tempo e ao nível de abrangência.

2.2.4.1 Quanto ao Tempo

Os processos decisórios podem ser classificados em Pró-ativos e Reativos.¹

Pró-atividade, nesse caso, não deve ser confundida com vontade, ímpeto e velocidade em fazer as coisas; deve ser entendida como a visão prévia e o planejamento das ações necessárias e suficientes para executar o projeto com segurança e eficiência operacional. É preciso ter conhecimento da frequência de cada evento chave para a segurança, bem como prever possíveis casos que jamais ocorreram, mas que possam acontecer.¹

Reatividade, como é compreensível ao senso comum, pressupõe que os eventos integrantes das operações já ganharam proporção ou forma indesejável, necessitando uma imediata ação em contrapartida¹.

Como em qualquer atividade de engenharia, a essência da perfuração e completação seguras iniciam-se com um bom projeto, antevendo os aspectos carentes de atenção e vitais à execução. Por isso o projeto de poço assume papel tão importante na prevenção de incidentes e acidentes; para realiza-lo, todas as informações disponíveis pela estratigrafia e mapeamento geofísico do campo devem ser consideradas, o que consequentemente trará resultados mais econômicos e eficientes.

2.2.4.2 Quanto ao Nível e abrangência

As escolhas podem ser estratégicas, táticas e operacionais¹.

A estratégia é conceitualmente intrínseca ao projeto, sendo uma maneira de formalizar os conhecimentos em um planejamento¹. Por exemplo, o plano de poço como uma sequência de operações e montagem de estruturas.

A tática envolve rapidez baseada em regras¹, portanto tem importante relação com o trabalho permanente dos gerentes e engenheiros fiscais de sonda no sentido de prevenir danos por meio da orientação prévia dos procedimentos operacionais. Por exemplo, acionar válvula de emergência em caso de vazamentos do fluido de perfuração ou de completação.

As atitudes essencialmente operacionais não envolvem qualquer premeditação, estão voltadas para o inconsciente ou para ações condicionadas pela repetição ou hábitos¹. Por exemplo, conectar colunas rapidamente com chaves flutuantes na perfuração.

Durante as atividades de construção do poço, as pessoas que executam os trabalhos estão a todo instante oscilando entre atos táticos e operacionais, derivando daí a relevância da estratégica do projeto para a prevenção de fatores geradores de condições perigosas. Não é prudente que se saia do planejamento inicial sem a correta avaliação e revisão das mudanças por parte do engenheiro responsável pelo projeto original.

2.2.5 Trabalho seguro em sonda

O trabalho seguro em uma sonda exige três itens principais, segundo a Roda de Nertney, quais sejam, pessoas competentes, equipamentos adequados e práticas seguras. As três interfaces entre os três itens supracitados são tripés conceituais para mitigar o surgimento de condições perigosas¹.

A figura a seguir representa a roda de Nertney:



Figura 8 - Roda de Nertney (ESTON, 2010)¹.

Na interface de pessoas competentes com práticas de trabalho seguras, fica clara a necessidade de técnicos bem capacitados e engenheiros devidamente qualificados para a construção do poço, juntamente a uma programação de poço clara e coerente, com procedimentos descritos de maneira simples e precisa para serem perfeitamente entendidos. A conclusão do poço deve estar no prazo, sem incidentes ou acidentes que ocasionem paradas, o que é importante tanto para os resultados financeiros da empresa, quanto para a saúde ocupacional de trabalhadores e interferências mais breves no meio ambiente.

Na interface de práticas de trabalho seguras com os equipamentos adequados, nota-se que as orientações da programação do poço devem sempre ser acompanhadas de reuniões de segurança, aliadas ao trabalho do engenheiro fiscal de sonda, no sentido de promover e supervisionar o uso adequado das práticas e equipamentos corretos para cada função, evitando adaptações e improvisos. O uso dos Equipamentos de Proteção Individual por todos é mais um elemento que reforça essa interface.

Na interface de equipamentos adequados com pessoas competentes, os trabalhadores em campo, quando devidamente capacitados, somados a equipamentos de trabalho adequados e bem conservados, promovem as condições para que os objetivos de qualidade e segurança tenham maior probabilidade de serem alcançados. Por isso é fundamental a não improvisação de recursos humanos desqualificados ou equipamentos inadequados, diminuindo sensivelmente a geração dos riscos associados.

2.3 Ferramentas usadas para segurança

Nesse item revisaremos a aplicação de três tradicionais ferramentas rotineiramente aplicadas na valoração ou análise dos riscos; HAZOP, FMECA e *What IF*. Há muitas outras ferramentas, não iremos abordá-las no presente estudo; entre elas estão, apenas para fins de registro, árvore de falhas, árvore de causas, bow tie, etc.

2.3.1 HAZOP

É o estudo da operação e suas condições perigosas, mediante uma revisão crítica do fluxograma ou planta de um processo como foi projetado. Normalmente produz recomendações para melhorias na segurança das operações ainda na fase de projeto, tratando-se, essencialmente, de um método de identificação prévia das possíveis condições perigosas.

A abordagem para aplicação do método envolve a formação de um grupo de trabalho que tenha muita experiência no tipo de projeto ou planta em estudo. Esse grupo possui um líder que o organiza e gerencia tudo, direcionando o trabalho a conclusões que ficarão gravadas, à medida que se avança nas etapas da avaliação (SPOUGE, 1999).

Como o exame dos desvios é estruturado a partir de termos-chave, de modo a cobrir todos os problemas de maneira imaginativa e inovadora. Então nas atividades de engenharia de poço, as recomendações poderão ser produzidas, assim como pontos mal compreendidos serão elucidados.

O processo é uma sequencia repetitiva dos seguintes passos (SPOUGE, 1999):

1-Selecionar um trecho do fluxograma ou programação do projeto

2-Estabelecer os requisitos de projeto que deveriam ser cumpridos e as condições normais de operação para esse trecho.

3-Identificar os desvios inerentes ao projeto e a operação nesse trecho, através do uso das palavras chave (nenhum, pouco, muito, em parte, assim como, oposto, além de).

4-Identificar possíveis causas e consequências dos desvios encontrados. Um desvio crítico deverá ser destacado se suas possíveis consequências ocasionarem perdas graves.

5-Para os desvios críticos encontrados, decida quais ações são necessárias.

6-Revise todo o processo de discussão e as ações propostas.

Na tabela abaixo, introduziremos um exemplo típico de um HAZOP usado em perfuração, conforme estaria em folha de trabalho:

| Procedimento: Manobrar para fora | | | |
|--|-----------------------------------|--|--|
| Operação: Retirar e guardar o <i>Kelly</i> | | | |
| Desvios | Possíveis causas | Consequências | Recomendações |
| Não movimentada | Válvula do <i>Kelly</i> não fecha | Lama sobre o piso da sonda | Considere colocar nova válvula acumuladora de lama |
| Movimento é reverso | Elevar o <i>Kelly</i> muito acima | Danificar tubulações, machucar operadores. | Considere colocar sensor com alarme nos equipamentos acima do <i>Kelly</i> |

Tabela 1 - Exemplo de HAZOP na perfuração (SPOUGE, 1999).

2.3.2 FMECA

É a revisão sistemática de um sistema mecânico. FMECA significa *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*. A avaliação feita examina cada componente em uma etapa e subjetivamente emite uma avaliação quantitativa, no caso de cálculo estatístico de falha, ou qualitativa, no caso de qualificar a importância de uma falha nesse elemento. É uma ferramenta de gerenciamento de riscos, mas inerentemente ao método há a identificação das condições perigosas (SPOUGE, 1999).

A abordagem começa com uma lista de todos os componentes do sistema da sonda, o que deve incluir nome do componente, função do componente, modos possíveis de falha, causas de falha, como as falhas são detectadas, efeitos da falha sobre a operação principal do sistema, efeitos da falha em outros componentes, ações necessárias para prevenir ou reparar, taxa de frequência de falha, classificação quanto a gravidade da falha baseada nas consequências (SPOUGE, 1999).

2.3.3 What if

Pode ser aplicada em qualquer instalação e consiste em uma técnica que exige criatividade para exercitar a geração de ideias. Originalmente o método consistia no levantamento de perguntas de *What if*, ou em português, “Mas e se”, por uma equipe revisora da instalação do processo e da operação. Todavia isso pode ser complementado com uma lista de pontos a serem checados. Para que não haja esquecimentos, há casos em que uma lista pré-definida para discussão de questões de *What if* é feita, o que é chamado de *SWITF* (SPOUGE, 1999).

Na prática, a aplicação do método requer um especialista nessa técnica e uma equipe da operação, que seriam engenheiros e gerentes de perfuração ou completação no nosso caso.

Na figura que segue abaixo, há um exemplo de uso prático do “What if” aplicado a perfuração de poços tubulares:

| SISTEMA: Linhas de circulação da lama de perfuração | | | |
|---|---|---|---|
| Perguntas | Consequências | Prevenção | Recomendações |
| Mas e se a linha entupir? | Sobre pressão ou subpressão podendo causar tanto kicks como vazamentos. | Monitoramento das vazões das bombas e variações no volume do tanque de lama. | Manter equipamentos para a manutenção das linhas. |
| Mas e se não for detectado o kick imediatamente? | Atraso da perfuração/completação e possível blowout (situação mais catastrófica). | Inspeção e medição permanente das pressões registradas no tubo bengala (SIDPP) e no revestimento (SICP) | Ataque imediato ao poço após constatação de kick |

Tabela 2 - Exemplo do uso da técnica *What if*

3 BOAS PRÁTICAS DE GESTÃO E IMPACTOS DA NATUREZA HUMANA

3.1 PDCA em trabalhos de engenharia de poço

Criado por Walter A. Shewhart, - mas foi William Edward Deming quem disseminou a técnica - consiste em um método onde uma cadeia cíclica de práticas é executada, a fim de melhorar a qualidade de um produto ou serviço (PACHECO, 2005?). O significado da sigla PDCA vem das palavras em inglês *Plan, Do, Check, Act*.

No caso da segurança de sistemas, o objetivo é minimizar a ocorrência de acidentes, prevenindo-os através da identificação de condições perigosas e diminuição delas. Apesar de ser uma metodologia simples, pode ser muito eficaz se bem aplicada na rotina de uma sonda de perfuração e/ou completação.

O método está representado na figura a seguir:

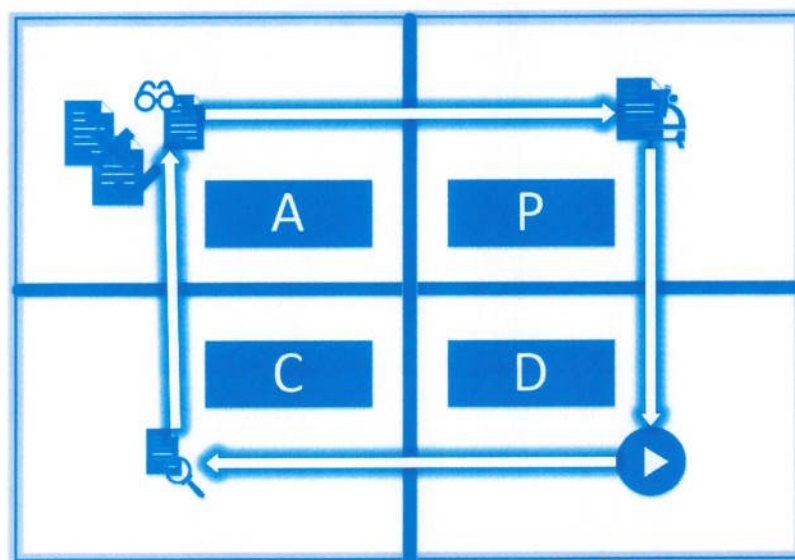


Figura 9 - Plan-Do-Check-Act (PDCA)

3.1.1 Planejar (*Plan*)

Tudo se inicia com a identificação de problemas ou pontos críticos. Portanto da perfuração de um poço até a sua completação, deverá ser planejado todo o conjunto de ações que possam tornar as operações não só viáveis, mas também seguras. Devem-se evitar as falhas potenciais ainda na etapa de projeto, ou seja, é importante prever perda de dias trabalhados, pagamentos em atraso, fornecedores impontuais, gravidade de incidentes, taxa de frequência de cada incidente na indústria e na companhia que realiza as atividades no poço.

Também é necessário saber o histórico de problemas dos equipamentos para análise estatística e de probabilidades, juntamente com laudos técnicos de como eles ocorrem. Fica evidente, pelo histórico de desastres ambientais ocorridos na indústria do petróleo, que o investimento na fase de projeto é compensado com benefícios na fase de execução.

É preciso definir as metas da engenharia de poço, o que envolve atingir os potenciais reservatórios de petróleo ou gás em uma área. Para isso o projeto precisa estar abastecido com o maior número de informações possíveis da fase de exploração, na qual dados geofísicos e estratigráficos fornecerão aos engenheiros de poço os parâmetros para o projeto de poço, visando a uma produção otimizada e com maiores fatores de produção, maximizando ganhos econômicos.

Portanto os projetistas devem definir o método para alcançar as metas de extração propostas para o campo. Deve-se analisar a escolha do pessoal, equipamentos, componentes e empresas contratadas, juntamente com a observação de possíveis problemas inerentemente típicos de projetos de poços.

Observar ou estudar é imprescindível, pois é isso que fornecerá uma maior compreensão das tecnologias necessariamente empregáveis e pessoas-chaves para o cumprimento da meta dentro do cronograma, considerando o menor orçamento possível.

3.1.2 Executar (*Do*)

Com o projeto em mãos, é necessário executar as tarefas como foi previsto na etapa de planejamento; todavia é intrínseco de ciências naturais como a geologia, a ocorrência de imprevistos. Engenheiros de petróleo devem ter consciência dessa peculiaridade e combiná-la adequadamente aos seus conhecimentos formais de modo a elaborar uma estratégia para a ação, coletando dados que serão utilizados na próxima etapa (verificação) do método.

Nessa etapa de execução das manobras de perfuração e completação, o conhecimento técnico para a tarefa, aliado a uma forte cultura de segurança, é importante, para que engenheiros e sondadores trabalhem sobre condições devidamente controladas, garantindo maior efetividade na realização das tarefas, o que permitirá futuramente uma revisão crítica do cronograma e do orçamento.

Por isso toda a equipe precisa estar ciente das etapas de construção do poço e, participativamente, unida na verificação de todas as ações juntamente com os riscos.

3.1.3 Verificar (*Check*)

A verificação é elo importante do método PDCA para saber se o executado está conforme o planejado, ou seja, se a meta foi alcançada dentro do método definido. Assim pode-se identificar eventuais problemas na meta ou no método, além de novos desvios e incidentes que tenham ocorrido na execução e que não haviam sido contemplados na fase de planejamento.

Também é importante o trabalho da perfilagem de poço nessa fase, pois os dados gerados do perfil possibilitarão a verificação das condições estruturais do poço e produtivas da formação.

Também é importante verificar se as barreiras de segurança foram eficientes quando foram acionadas, além de registrar problemas que ocorreram, qual a continuidade deles e qual a frequência.

Por exemplo, em uma perfuração, se a lama não atingir a densidade esperada e isso for detectado após alguns *kicks*, deve-se verificar em quais trechos da sequência de perfuração os mesmos ocorreram e se o BOP anular ou outros equipamentos funcionaram adequadamente.

3.1.4 Agir (*Act*)

Caso sejam identificados imprevistos, é necessário definir e implementar soluções que eliminem as causas. Imprevistos causam mudanças. Em segurança, frequentemente, as mudanças levam a acidentes².

Mesmo quando não são identificados imprevistos, é possível realizar um trabalho preventivo, identificando quais os incidentes são passíveis de ocorrer no futuro e quais seriam causas e soluções. Por exemplo, a análise litológica do perfil perfurado correlacionado à quantidade de lama, aos fluidos de perfuração e cimento perdidos para as formações perfuradas, gera dados sobre quais condições são potenciais fontes problemas, como falhas da cimentação. Esse tipo de desvios causa perdas econômicas, os quais devem ser corrigidos, a fim de evitar novos incidentes ou acidentes.

É apropriada a verificação dos sucessos nos processos, investigando se as atividades nos poços cumpriram o cronograma esperado. Podem ser produzidos indicadores de eficiência, os quais ajudam na sugestão de procedimentos operacionais padrão (POP), que evitem prejuízos.

Além desses pontos cruciais, os gestores e técnicos precisam realizar uma análise mais profunda de resultados, buscando melhorar o que já é bom no programa de segurança das sondas, por meio de medidas simples e fáceis de implementar, que otimizem o ambiente de trabalho.

3.2 Impacto de características humanas sobre as falhas

Muito embora haja uma grande preocupação em garantir a segurança de sistemas e de operações nas perfurações e completações de poços de petróleo, deve-se sempre ter uma visão especial sobre as pessoas, porque essencialmente são elas que sofrem com danos sociais ou ambientais advindos de acidentes, sem se esquecer das complicações que surgem com os incidentes. Por tudo isso é importante estudar e propor a melhor atuação sobre características humanas.

Há três elementos humanos que abordaremos aqui para uma análise crítica: o comportamento, que seria a forma como uma pessoa age; a motivação, as razões que impulsionam as ações de um ser; a atitude, que seria um conjunto de crenças e valores que determinam um *modus operandi* ou o jeito de agir de uma pessoa².

3.2.1 Comportamento

Como os estudos baseados na psicologia apontam que é ineficiente tentar mudar as pessoas diretamente, é preciso mudar o ambiente de trabalho². Nas sondas *onshore* ou

² ESTON, S.M. PMI2966 - Gerenciamento de Risco e Segurança: Notas de aula. São Paulo: EPUSP, 2011

offshore, deve-se influenciar o comportamento de toda equipe responsável pelo programa de poço, no sentido de aplicar constantemente as metodologias de avaliação de riscos para prevenção de incidentes e acidentes. Motivar a equipe com premiações e benefícios por uma produção segura é uma forma de incentivar mudança nas pessoas, isto é, conseguir-se-á alcançar uma alteração sistêmica das atitudes corporativamente difundidas entre os trabalhadores naqueles ambientes.

3.2.2 Motivação

A motivação visando à segurança precisa ser constante e em todos os níveis, sendo que só assim se promove as práticas de prevenção de acidentes e incidentes. Como dito no item anterior, uma forma de motivar é a constante avaliação e divulgação dos resultados positivos obtidos, premiando, no caso das sondas, de acordo com os méritos dos sondadores que mais tenham contribuído para a segurança da equipe. Também é necessário executar ações estimuladoras e de apoio técnico aos que tenham dificuldade em executar as práticas de segurança como definidas pela equipe de engenharia.

3.2.3 Atitudes

Todas as empresas possuem um conjunto de valores principais que norteiam sua atuação no mercado em que competem ou em uma específica área de atividades. Por conseguinte é notável a relevância da aplicação da engenharia de segurança, a fim de garantir menores impactos ambientais e redução de problemas de saúde ocupacional. Para a engenharia de poço isso não é diferente, visto que é uma atividade na qual é possível quantificar diversos riscos de impacto ambiental, prejuízo social e lesão de sondadores. Observa-se que qualquer empresa de serviços para óleo e gás que trabalhe na engenharia de poço deve ter entre seus valores a segurança, valorizando-a como uma essência que caracteriza sua forma de operar. O perfil dos funcionários deve estar alinhado com valores típicos de segurança, pois assim além formar uma cultura e postura a ser cobrada de todos, surgirá uma marca que caracteriza a atuação no setor.

4 AVALIANDO PERDAS OCASIONADAS POR FALHAS DE SEGURANÇA

Muitos custos impactam a atividade de engenharia de poço, especialmente na indústria *offshore* com aluguéis de sondas que utilizam sofisticados sistemas de posicionamento dinâmico e de automatização, que devem ser operados por técnicos altamente especializados e capacitados; adicionalmente há complicações logísticas, o que eleva o aluguel desse tipo de equipamento à casa do meio milhão de dólares por dia ou mais.

Perder investimentos pode impactar severamente a contabilidade das operadoras e empresas de serviços. Avaliar as perdas é importante para evitá-las futuramente ou minimizar os impactos. Nesse item trabalharemos introduzindo conceitos e dando um exemplo hipotético de cálculo de prejuízos.

4.1.1 Ausentismo

O ausentismo em princípio é definido como a ausência dos trabalhadores em dias de serviço, porém essa ausência pode ser devida desde a fatores como cansaço ou impedimento logístico, até, em casos mais graves, lesões causadas pelo trabalho. Para avaliar as perdas pela ausência de pessoal, pode ser empregado o fator de utilização pessoal (FUP), conhecido como a relação entre o tempo médio efetivamente trabalhado por um funcionário e o tempo médio inicialmente programado para se executar a tarefa para cada homem inicialmente previsto (FANTAZZINI e CICCIO, 1988). O FUP pode ser calculado pela fórmula da figura a seguir:

$$\text{FUP} = \frac{\text{Horas efetivamente trabalhadas/homens presentes}}{\text{Horas programadas/homens previstos}}$$

Figura 10 - Fator de Utilização Pessoal (FANTAZZINI e CICCIO, 1988).

O FUP representa a eficiência na aplicação efetiva dos recursos humanos. A porcentagem que faltar para atingir o nível de produção desejada inicialmente (1- FUP) pode ter sido originada de falhas de segurança (FANTAZZINI e CICCIO, 1988). Isso demonstra a importância do trabalho seguro para o aumento de produtividade. Dessa forma iremos determinar um índice de ausentismo segundo a expressão na figura a seguir:



$$\text{lap} = \text{PP} (1 - \text{FUP})$$

Figura 11 - Índice de Ausentismo (FANTAZZINI e CICCIO, 1988).

Na figura anterior, o lap representa o impacto do ausentismo sobre a produção; PP é a produção programada (FANTAZZINI e CICCIO, 1988). O lap poderia ser utilizado para calcular os prejuízos financeiros das paradas de produção e, de maneira indireta, é um dos indicadores que no caso de perfurações em regiões *offshore* ou *onshore* isoladas, indica problemas logísticos e, principalmente, no que interessa a esse trabalho indica possíveis problemas sistêmicos de segurança nas operações de campo ou na saúde ocupacional dos sondadores, engenheiros de poço e pessoal de apoio.

4.1.2 Exemplo Prático

Em uma perfuração *onshore* com mesa rotativa, o poço é construído em fases, sendo que cada qual deve ser perfurada, aplicando-se peso sobre a broca e removendo-se os cascalhos com um fluido, o fluido de perfuração, para que na etapa posterior de construção de cada trecho seja colocado o revestimento juntamente com a cimentação.

Imaginando que enquanto se perfura o segundo trecho de um determinado poço, haja um acidente com as chaves flutuantes que lesione um sondador e, além disso, poucos segundos após o ocorrido, a bomba que injetava fluido de perfuração para de funcionar por falha de um dos pistões, qual seria o prejuízo financeiro resultante? Assumindo as hipóteses de que, nesse dia, houvesse um FUP de 0,8 e que a quebra da bomba atrasasse a perfuração em 3 horas.

O índice de ausentismo, segundo a fórmula acima, será:

$$\text{lap} = 24 \times (1 - 0,8) = 4,8 \text{ horas}$$

O custo por hora da sonda (CS), considerando que seu aluguel é de 70 mil reais por dia será:

$$\text{CS} = 70\,000/24 \text{ reais} \approx 2\,916,67 \text{ reais}$$

Portanto somando-se às 3 horas de atraso para reparo da bomba com 4,8 horas de índice de ausentismo, devido à falta de uma maior produtividade, que havia sido planejada, ter-se-á um índice de atraso total de 7,8 horas, o que configurará um prejuízo (Pr), que pode ser calculado usando a fórmula da figura abaixo:

$$\text{Pr} = \text{CS} \times \text{Índice de Atraso Total}$$

Figura 12 - Prejuízo no exemplo feito

Então fazendo a operação:

$$\text{Pr} = 2\,916,67 \times 7,8 = 22\,750 \text{ reais}$$

Como se observa, o prejuízo foi relativamente alto nesse exemplo hipotético. Ele aumentou em aproximadamente 32,5% os custos no dia em que ocorreu.

Apesar desse alto custo, a situação é perfeitamente possível, dependendo das condições ambientais do local e da falta de apoio logístico, sinalizando que a prevenção de acidentes e as práticas de segurança levam a um trabalho muito mais eficiente e rentável para a perfuração e completação de poços, pois literalmente tempo é dinheiro. Por esse motivo, garantir tanto a segurança dos sistemas, quanto das operações e uma boa saúde ocupacional dos engenheiros e sondadores, é uma meta que deve inserir-se nos valores da empresa, juntamente com as boas práticas de engenharia e métodos de organização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O engenheiro de poço deve sempre implantar soluções para a produção segura que, mesmo gradativas, impactem a redução dos desvios, já que o ambiente de trabalho em plataformas e sondas pode oferecer uma série de desvios. Embora as normas existam, a presença de muitas empresas terceirizadas, possíveis auditorias e fiscalizações ineficientes, além de manutenção inadequada, muitas vezes geram condições com altos valores de riscos associados.

As companhias de óleo e gás ainda não atingiram o patamar desejado de eficiência em termos de gestão da segurança, haja vista os acidentes e incidentes que ainda ocorrem nas atividades de perfuração e completação. Por conseguinte faz-se necessário avaliar, rotineiramente, parâmetros de qualidade e quando houver situações diferentes dos resultados esperados. Não se devem definir padrões em casos nos quais não se domine profundamente os conhecimentos de construção de poços tubulares. Em caso de dúvidas, especialistas devem ser convocados a estudar o assunto.

As preocupações com o tema são crescentes, o que demandará profissionais capacitados para atuar em engenharia de segurança, não só na engenharia de poço como foi o foco do trabalho, mas também nos demais segmentos da engenharia de petróleo como serviços de exploração, reservatórios, produção e manutenção dos equipamentos, especialmente no caso de sistemas submarinos, devido à complexidade das intervenções.

São muitos os temas da engenharia de segurança. Ela é imprescindível e aplicável em todas as etapas de um programa de poço, de modo que não se objetivaria esgotar o assunto no presente trabalho. O aperfeiçoamento deve ser constante para quem se propõe especializar no assunto.

É imprescindível a evolução dos trabalhos de engenharia de poço com um forte investimento em recursos humanos capacitados para atuar dedicadamente no setor de segurança. Os demais profissionais devem se alinhar a práticas e culturas da engenharia de segurança, a fim de que toda equipe empregue de maneira holística e coesa os conhecimentos necessários à eliminação das condições perigosas, mitigação dos riscos e minimização dos danos. Os gestores precisam investir na inovação tecnológica das barreiras necessárias, mas também otimizar equipamentos, processos e sistemas para que não haja desvios.

6 CONCLUSÃO

A importância dos aspectos de segurança na tomada de decisões, realização de projetos e práticas de qualquer companhia de exploração e produção de óleo e gás ganha, a cada dia, maior proeminência e ganhará ainda mais.

A indústria pode evoluir mais no sentido de reforçar a responsabilidade social e ambiental, porque é assim que se conquista o respaldo das comunidades afetadas e beneficiadas pela produção de hidrocarbonetos. Por isso será tão determinante assegurar a confiabilidade dos serviços para extração de petróleo.

Os princípios de segurança aplicados nas atividades de construção dos poços tubulares da indústria de óleo e gás contribuem para garantir projetos mais previsíveis e sucesso nas operações. Com isso maiores resultados financeiros e de produção serão alcançados.

No trabalho, a revisão bibliográfica possibilitou fazer uma reflexão a cerca dos principais assuntos e termos que devem ser conhecidos pelos futuros engenheiros de petróleo para formar um ponto de partida nos estudos e pesquisas da área de segurança no contexto da engenharia de poço. Pelo estudo dos princípios abordados, foi possível fazer análises e reflexões das implicações de boas práticas de gestão, além das perdas financeiras advindas de por falhas de segurança.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Deep well design and construction**. Washington, 2012. 178 p.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Isolating potential flow zones during well construction**. Washington, 2010. 96 p.

BOURGOYNE, A. T. et al. **Applied drilling engineering**. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers, 1986. 502 p.

BRITISH PETROLEUM. Gulf of Mexico Restoration. **Deepwater horizon accident and response**. Uckfield, U.K, 2010. Disponível em:
<<http://www.bp.com/en/global/corporate/gulf-of-mexico-restoration/deepwater-horizon-accident-and-response.html>> Acesso em: 13 nov. 2013

DISCOVERY CHANNELL. **O desafio do pré-sal**. 2011?. Disponível em:
<<http://www.youtube.com/watch?v=VlaayEDIB8A>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

BRAUER, R. L. **Safety and health for engineers**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994. 651 p.

ECONOMIDES, M. J.; HILL, A. D.; ECONOMIDES, C. E. **Petroleum production systems**. Nova Jersey: Prentice Hall, 1994. 609 p.

ESTON, S.M. **PMI 2966 - Gerenciamento de Risco e Segurança**: Notas de aula. São Paulo: EPUSP, 2011.

FANTAZZINI, M. L.; CICCIO, F. M. G. A. F. **Introdução à engenharia de segurança de sistemas**. 3. ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 1988. 109 p.

GRACE, R. D. **Blowout and well control handbook**. Amsterdam: Gulf Professional Pub, 2003. 469 p.

GRÖNDAHL, M. et al. Investigating the cause of the deepwater horizon blowout. **The New York Times**, June 21, 2010. Disponível em:
<<http://www.nytimes.com/interactive/2010/06/21/us/20100621-bop.html>>. Acesso em: 03 set. 2013.

HOLAND, P. **Offshore blowouts, causes and control**. Houston, TX: Gulf Pub, 1997. 163 p.

LAKE. L.W. (Ed.). **Petroleum engineering handbook**. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers, 2006. v. 2 (763 p.).

LAPA, R. P.; GOES, M. L. S. **Investigação e análise de incidentes**. São Paulo: EDICON, 2011. 367 p.

MANCHA de petróleo no golfo do México já triplicou de tamanho. Associated Press, Louisiana, May 01, 2010. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 14 nov. 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u728877.shtml>>. Acesso em: 14 nov. 2013.

NORSOK STANDARD. **D-010 - Well integrity in drilling and well operations**. Rev. 4, draft version, 20.12.12. Lysaker, 2012.

PACHECO, A. P. R. et al.. **O ciclo pdca na gestão do conhecimento: uma abordagem sistêmica**. Florianópolis, SC: PPGECC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2005?. 10p. Disponível em: <<http://www.issbrasil.usp.br/issbrasil/pdfs2/ana.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2013.

ROCHA, A. S. et al. **Perfuração direcional**. 3.ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 341p.

SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary. **Blowout Preventer**. Houston, 2010?. Disponível em: <<http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=blowout%20preventer>>. Acesso em: 03 set. 2013.

SPOUGE, J. **A guide to quantitative risk assessment for offshore installations**. s. L.: Centre for Marine and Petroleum Technology, 1999. 744 p.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Data from deepwater horizon**. Washington, 2010?. Disponível em: <<http://energy.gov/about-us/open-government/data-deepwater-horizon>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

U.S. DEPARTMENT OF LABOR. Occupational Safety and Health Administration. **Oil and gas well drilling and servicing etool**. Washington, 200?. Disponível em: https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/drilling/kickback_final.html. Acesso em: 03 set. 2013.