

2

Desenvolvimento das Atividades de Construção de Poços

O desenvolvimento de um projeto de poços segue o mesmo processo de implantação de um projeto. Nas fases iniciais o nível de detalhamento é mais baixo, atingindo o seu maior grau na fase de definição e execução. Durante a etapa de planejamento é definido o projeto dos poços que farão parte do projeto, ou seja, é realizado o detalhamento das fases de perfuração e completação. Esse detalhamento é feito com base em diversas análises e definições, como por exemplo, análise de geopressões, definição do fluido de perfuração, quantidade de fases do poço, tipo de revestimento e cimentação adequados, tipo de broca, entre outros (Rocha e Azevedo, 2009).

Uma vez finalizado o projeto de poço e endereçadas as questões de aquisição de materiais e de logística das embarcações necessárias para realizar o serviço, sendo o projeto como um todo viável economicamente, inicia-se a execução do mesmo.

Para entender melhor como são executadas as atividades planejadas de poços em projetos marítimos de desenvolvimento de campos de petróleo e gás, esse capítulo foi organizado da seguinte forma: As Seções 2.1 e 2.2 apresentarão os conceitos das atividades de perfuração e completação de poços, respectivamente. A Seção 2.3 detalhará os recursos de materiais, sondas e embarcações necessários para a construção dos poços e explicará algumas questões sobre a logística inerente a esse trabalho. Por fim, a Seção 2.4 introduzirá alguns conceitos sobre incerteza e sua ocorrência na indústria de petróleo.

2.1.

Atividades de Perfuração

Com base no projeto de poço definido para um projeto em específico é iniciada a perfuração dos poços através de uma sonda.

O poço é dividido em fases, onde cada uma delas é determinada pelo diâmetro da broca ou do alargador que está sendo utilizado na perfuração (Rocha e Azevedo, 2009).

A definição da quantidade de fases em um poço depende das características das zonas a serem perfuradas e da profundidade final prevista. Em geral, para execução de cada fase são necessárias três atividades, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 1 – Etapas de Perfuração de Poços (Fonte: Elaborado pela Autora, 2014)

Os sistemas de perfuração são classificados quanto à maneira de quebrar o solo, a rocha ou a formação, podendo ser por percussão (as rochas são quebradas por percussão de um trado, causando a sua fragmentação por esmagamento e os cascalhos são retirados por elevação hidráulica) ou por rotação (Silva, 2013).

Atualmente é muito comum na indústria a perfuração dos poços por rotação, que consiste na perfuração das rochas através da rotação e peso aplicados à broca existente na extremidade da coluna de perfuração. Os fragmentos da rocha perfurada são removidos continuamente através de um fluido de perfuração, ou como também denominado, lama. Esse fluido é injetado por bombas para o interior da coluna de perfuração e retorna à superfície através do espaço anular formado pelas paredes do poço e a coluna (Thomas, 2001), vide Figura 3. Ao atingir a profundidade desejada, a coluna de perfuração é retirada do poço.

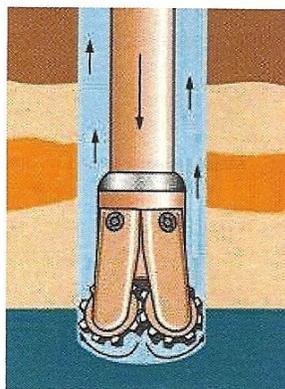


Figura 2 – Ilustração do Fluxo do Fluido de Perfuração (Fonte: Silva, 2013)

A descida do revestimento ocorre logo após a coluna de perfuração ser retirada do poço, com diâmetro inferior ao da broca que realizou a perfuração da fase. O revestimento de um poço é um tubo de aço e representa uma parcela significativa do custo de um poço, variando de 15% a 20% em projetos marítimos (Rocha e Azevedo, 2009). Seu objetivo geral é proteger as paredes do poço e isolar zonas com diferentes pressões e fluidos.

Os revestimentos possuem diversas funções e geralmente são classificados da seguinte forma (Thomas, 2001):

- **Revestimento Condutor:** é o primeiro revestimento do poço, assentado a uma pequena profundidade (10 a 50 m) e é considerado estrutural, com o objetivo de isolar o poço das zonas superficiais pouco consolidadas. Alguns métodos de assentamento desse revestimento são cravação e jateamento. Costuma ser cimentado em toda sua extensão.
- **Revestimento de Superfície:** seu comprimento varia na faixa de 100 a 600 m. Também é considerado um revestimento estrutural e possui três grandes objetivos: prevenir desmoronamento de formações inconsolidadas, proteger reservatórios de água e servir como base de apoio para os equipamentos de segurança de cabeça de poço e para os demais revestimentos. Costuma ser cimentado em toda sua extensão.
- **Revestimento Intermediário:** visa isolar e proteger zonas de perda de circulação, zonas de alta ou baixa pressão, formações desmoronáveis, formações portadoras de fluidos corrosivos ou contaminantes de lama. É cimentado somente na parte inferior.
- **Revestimento de Produção:** tem a finalidade de abrigar a coluna de produção, possibilitando que seja iniciada a produção de forma segura.
- **Liner:** é uma coluna curta de revestimento, ficando ancorada um pouco acima da extremidade inferior do último revestimento. O *liner* visa cobrir a parte inferior do poço. Em determinados casos o *liner* substitui um revestimento intermediário (*liner* de perfuração) ou um revestimento de produção (*liner* de produção).

A Figura 4 apresenta um exemplo de um poço típico com cinco fases, com diâmetros sendo de 36", 26", 17 1/2", 12 1/4" e 8 1/2" e revestimentos de 30", 20", 13 3/8", 9 5/8" e 7", respectivamente.

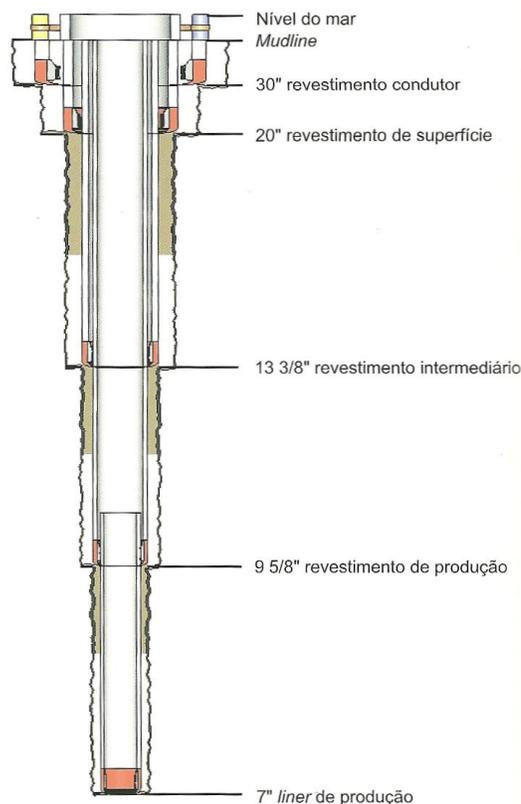


Figura 3 – Ilustração de Poço Típico e seus Revestimentos (Fonte: Rocha e Azevedo, 2009)

Uma vez que o revestimento está assentado, é realizada a cimentação do poço. Essa cimentação preenche com cimento o espaço anular entre a tubulação de revestimento e as paredes do poço, com o objetivo de fixar a tubulação, evitando que haja migração de fluidos atrás do revestimento (Rocha e Azevedo, 2009).

Após a perfuração de cada fase podem ser realizadas perfilagens, com o objetivo de avaliar a formação, através de ferramentas que permitam a medição de algumas propriedades das formações.

Essas operações se repetem até todas as fases do poço estarem concluídas.

Vale ressaltar que a instalação do condutor pode ser feita pelo método convencional, ou seja, o revestimento é descido e cimentado após a perfuração do poço com broca, porém também existem outros métodos de perfuração do início do poço que têm se tornado comuns atualmente, são eles jateamento,

neste caso o condutor é posicionado simultaneamente à perfuração, ou base torpedo, que é um conjunto pesado que é solto promovendo sua cravação no solo (Rocha e Azevedo, 2009).

Além disso, a perfuração do início do poço é caracterizada pela perfuração sem retorno do fluido de perfuração para a superfície (geralmente é a própria água do mar), seguindo com a descida dos revestimentos estruturais. Ou seja, nesses casos ainda não houve a descida e instalação do *blowout preventer* (BOP) através do *riser* de perfuração, que permite que a lama retorne para a superfície. Esse conjunto *riser* e BOP é que estabelece a ligação entre o poço e a unidade de perfuração, sendo instalado somente após o assentamento do revestimento de superfície (Rocha e Azevedo, 2009).

O BOP é um conjunto de válvulas instaladas na cabeça do poço que podem ser fechadas em caso de um influxo dos fluidos provenientes da formação para dentro do poço, denominado *kick*. Geralmente essas válvulas são operadas hidráulicamente por meio remoto e uma vez fechadas, permite que a equipe de sonda tenha condições de recuperar o controle do poço.

A Figura 5 ilustra dois exemplos, um com uma plataforma semi-submersível (esquerda) e outro com navio sonda (direita), apresentando o *riser* de perfuração conectado ao BOP e este conectado a cabeça de poço.

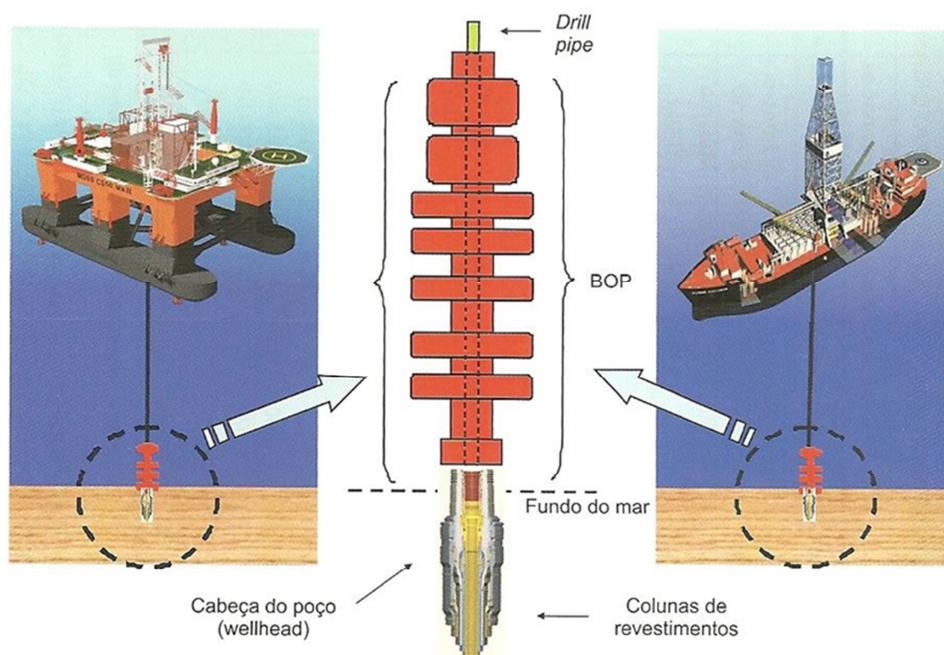


Figura 4 – Exemplo de Plataformas conectadas a *Riser*, BOP e Cabeça do Poço no Fundo do Mar (Fonte: Rocha e Azevedo, 2009)

A atividade de perfuração de poços envolve diversas etapas e operações. Para um bom planejamento e de forma a garantir que as operações sejam realizadas conforme o esperado é importante mapear os problemas inerentes à atividade e tentar quantificar e inserir o impacto desses problemas no projeto através de uma gestão de riscos. Alguns exemplos de problemas típicos encontram-se no Apêndice I.

2.2. Atividades de Completação

Após a finalização da perfuração do poço, a próxima etapa é a completção, que é a interface entre o reservatório e a superfície, tendo como objetivo deixá-lo em condições de operar de forma segura e econômica (Bellarby, 2009).

A completção consiste em equipar o poço permitindo que ele produza o fluido desejado (óleo ou gás), ou injete fluidos no reservatório. Ela ocorre através da instalação de equipamentos dentro e fora do poço, sendo estes responsáveis pelo controle da vazão dos fluidos, aquisição de dados, elevação artificial, entre outros (Silva, 2013).

A atividade de completção pode ser classificada de algumas formas, sendo elas (Thomas, 2001):

- Quanto ao posicionamento da cabeça do poço, podendo ser na superfície (completção seca) ou no fundo do mar (completção molhada).
- Quanto ao revestimento de produção, podendo ser a poço aberto (a perfuração é concluída até a profundidade final sem descida de revestimento e cimentação, então o poço é colocado em produção com a zona produtora totalmente aberta), com *liner* canhoneado¹ e com revestimento canhoneado.
- Quanto ao número de zona exploradas. A completção pode ser simples (uma única coluna de produção é descida no interior do revestimento de produção), seletiva (somente uma coluna é descida, mas ela é equipada de forma a produzir em mais de uma

¹ Canhoneio é uma operação em que, por meio de cargas explosivas, são realizadas perfurações de orifícios no revestimento, cimento e formação adjacente de forma a estabelecer um canal de fluxo entre a formação e o interior do poço (Fernández, Pedrosa Junior e Pinho, 2009).

zona por vez) ou múltipla (permite produzir simultaneamente duas ou mais zonas através de duas colunas de produção), conforme apresentado na Figura 6.

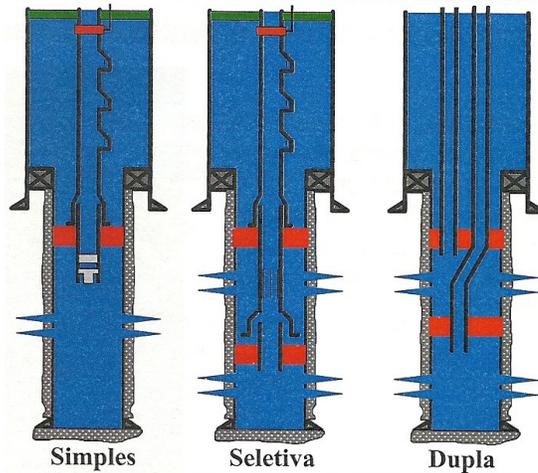


Figura 5 – Completação Quanto ao Número de Zonas Explotadas (Fonte: Frydman, 2013)

A completção de um poço envolve diversas operações, podendo destacar cinco etapas (Thomas, 2001), conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 6 – Etapas de Perfuração de Poços (Fonte: Elaborado pela Autora, 2014)

A primeira etapa é o condicionamento do revestimento de produção, que consiste nas seguintes atividades: retirar a capa de abandono (caso o poço tenha sido abandonado após sua perfuração), limpar a cabeça de poço e instalar o BOP conectando-o diretamente à cabeça de poço, conforme ilustrado na Figura 8. Assim o poço estará em condições de receber os equipamentos necessários. Após o condicionamento, o revestimento de produção passa por testes de estanqueidade e o fluido que se encontra no interior do poço é substituído pelo fluido de completção.

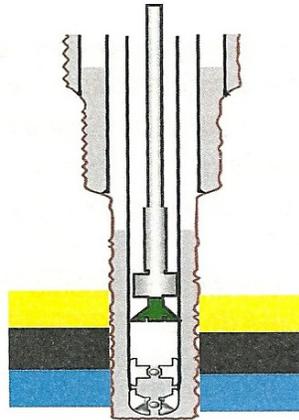


Figura 7 – Descida de Coluna com Broca e Raspador para Condicionar Revestimento de Produção (Fonte: Frydman, 2013)

A etapa seguinte consiste na avaliação da qualidade da cimentação de forma a se comprovar sua vedação. Para avaliação da qualidade da cimentação, são utilizados perfis acústicos, que medem se o cimento está aderente ao revestimento e a formação.

Concluída essa etapa, segue-se para o canhoneio da zona de interesse, que permite a comunicação do interior do poço com a formação produtora, perfurando o revestimento utilizando cargas explosivas. Essas cargas descem no poço através de canhões, que são cilindros de aço com furos, conforme ilustrado pela Figura 9. Esta etapa só ocorre nos poços revestidos, pois se a completação for a poço aberto, não há canhoneio. Nos poços abertos, em geral, se utiliza a técnica de *gravel pack* (*Open Hole Gravel Packing – OHGP*), que consiste na descida de um conjunto de telas no poço, depositando areia ou cerâmica de granulometria conhecida (gravel) entre a tela e a formação, de forma a obter um pacote compacto que funciona como um filtro de areia, não permitindo sua entrada para dentro do poço (Barreto *et al.*, 2007). O gravel tem a função de reter a areia da formação, e a tela de reter o gravel.

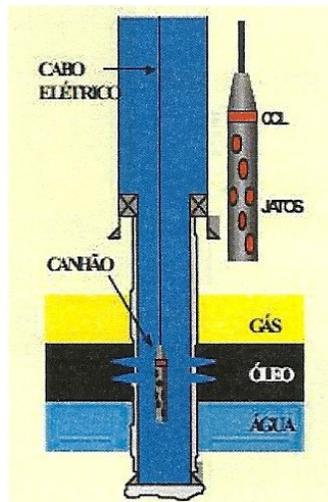


Figura 8 – Canhoneio (Fonte: Frydman, 2013)

Com o poço canhoneado, instala-se a coluna de produção. Ela constitui de tubos metálicos, onde são conectados os demais componentes, e desce pelo interior do revestimento de produção. É através da coluna de produção que os fluidos produzidos são conduzidos até a superfície.

Por fim, coloca-se o poço em produção através da redução hidrostática do fluido de completação a uma pressão menor do que a da formação, podendo ser feitas de algumas formas, como por exemplo, indução por válvulas de gás-lift, substituição do fluido da coluna por outro fluido mais leve, entre outros.

Finalizada a completação, instala-se a árvore de natal molhada (ANM)² suportada pela cabeça do poço, realizando a barreira no topo da coluna de produção através do controle do fluxo de fluidos na superfície.

2.3. Recursos e Logística

Esta seção destacará duas questões fundamentais para as atividades de construção de poços, sendo elas: a sonda que realizará a construção propriamente dita e a logística por trás das atividades de perfuração e completação.

² Árvore de Natal Molhada é um equipamento submarino composto por um conjunto de válvulas operadas remotamente por acionadores hidráulicos, sensores de pressão e temperatura. É instalado na cabeça do poço de completação molhada, no leito marinho (Fernández, Pedrosa Junior e Pinho, 2009).

2.3.1. Sonda Marítima

A perfuração de poços marítimos é realizada através de sondas de perfuração. Estas podem ser de vários tipos, como por exemplo, plataformas fixas, plataformas auto-eleváveis (PA) e sondas flutuantes (sonda semi-submersível – SS e navios sonda – NS), vide Figura 10.

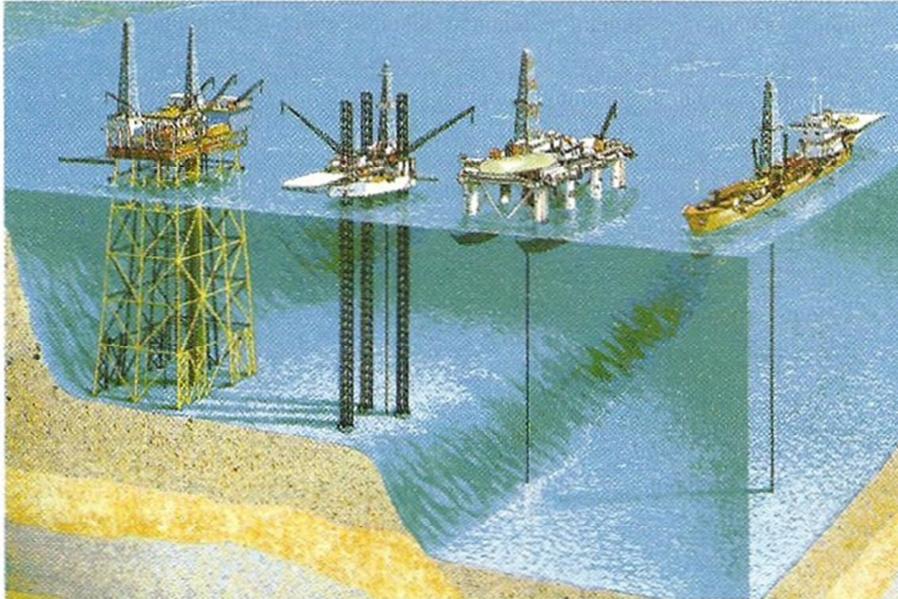


Figura 9 – Tipos de Sondas Marítimas (Fonte: Thomas, 2001)

Em termos de perfuração, essas sondas possuem um aspecto diferente com relação ao posicionamento do BOP. Para as plataformas fixas e PAs, o BOP é posicionado na superfície, enquanto nas SS e NS fica no fundo do mar. Já com relação à ancoragem das colunas de revestimento, ela é sempre realizada no fundo do mar para qualquer um dos sistemas, de forma a evitar sobrecarga na sonda.

Para identificação do tipo de sonda mais adequado ao projeto algumas condições devem ser analisadas, como lâmina d'água, condições de mar, relevo do fundo do mar, finalidade dos poços, disponibilidade de apoio logístico, entre outras (Thomas, 2001).

Essas sondas possuem diversos sistemas, sendo um conjunto de equipamentos e acessórios utilizados para permitir a perfuração dos poços. De acordo com Thomas (2001) e Silva (2013), em geral os sistemas são de:

elevação de cargas (sistema utilizado para descer e retirar as tubulações do poço); geração e transmissão de energia para funcionamento da sonda; rotação da coluna de perfuração (conjunto de equipamentos que permitem a rotação da coluna de perfuração, a injeção do fluido de perfuração na coluna e a rotação da broca); circulação de fluidos (equipamentos que permitem a circulação e o tratamento do fluido de perfuração); posicionamento (ancoragem ou posicionamento dinâmico); segurança do poço (serve para garantir que o poço não entre em fluxo possuindo duas barreiras, sendo a primeira o fluido de perfuração ou de completação e a segunda o sistema de segurança de cabeça de poço); monitoração (controle das operações e equipamentos através de painel que visualiza os diversos parâmetros operacionais).

2.3.2. Logística

Um projeto de desenvolvimento da produção geralmente engloba mais de um poço, então deve prever a movimentação da sonda tanto da base terrestre até o primeiro poço quanto a movimentação entre os poços.

No mar, essa mudança da sonda para a nova locação é conhecida como DMM (desmobilização, movimentação e mobilização) e consiste na preparação da sonda para que possa se locomover por intermédio de rebocadores ou por propulsão própria, seguida de sua movimentação para nova locação (Thomas, 2001).

As sondas devem ter capacidade para estocagem dos revestimentos, bem como para suportar o peso e o volume dos equipamentos e dos fluidos de perfuração ou completação (Okstad, 2006).

Durante as operações de perfuração e completação esses consumíveis vão sendo utilizados, necessitando, portanto de embarcações de apoio para repor os materiais e fluidos em mar. As embarcações de apoio evitam que a sonda tenha que se deslocar para a base em terra para reposição desses materiais.

Em vários casos mais de uma sonda é alocada para execução das atividades de poços do projeto, necessitando de um maior controle no dia a dia das operações para não ter interferências entre sondas (Rovina e Borin, 2005).

Portanto, logística é uma questão fundamental que, não sendo bem planejada, traz complicações, impactando severamente as durações e conseqüentemente os custos dos projetos.

2.4. Incertezas e Riscos no Contexto de Construção de Poços Marítimos

As atividades de perfuração e completação de poços marítimos cada vez mais ocorrem em cenários complexos e dependentes de diversos fatores para obter sucesso. Então, analisar e desenvolver essas atividades sem pensar nas incertezas inerentes a essa indústria é um risco alto para as companhias de petróleo.

Desta forma, esta seção tem como objetivo explicitar a importância da análise de risco no contexto de construção de poços (Subseção 2.5.2). Primeiramente serão explicados alguns conceitos gerais sobre incertezas e riscos em gestão de projetos (Subseção 2.5.1).

2.4.1. Conceitos Gerais de Incertezas e Riscos

Como há diversas definições na literatura sobre os significados de incerteza e risco e algumas delas são até divergentes, é pertinente destacar as definições que serão adotadas no decorrer desta dissertação.

Foi adotada a definição do Instituto de Gerenciamento de Projetos (*Project Management Institute* - PMI), que é uma das maiores associações para profissionais de gerenciamento de projeto existentes atualmente.

Segundo a definição do PMI (2013), risco em um projeto é um evento ou condição de incerteza que, se ocorrer, terá um efeito positivo (oportunidade) ou negativo (ameaça) em pelo menos um objetivo do projeto, tal como escopo, tempo, custo e qualidade. Esse risco pode ter uma ou mais causas e, se ocorrer, pode ter mais de um impacto.

Reforçando a definição acima, para Rollim (2012) existem três tipos de situações, conforme pode ser visto na Figura 11. No lado esquerdo do espectro, encontra-se a situação de total incerteza. Neste ambiente o gerente de projeto não tem qualquer informação sobre o evento em questão (*unknown-unknowns*), seja por não ter histórico ou porque não há a menor indicação de ocorrência daquele evento. Já no lado direito é a situação oposta, de total certeza, onde o gerente se encontra em um ambiente que contém a informação completa do evento (*knowns*).

O caso mais comum é o posicionamento do gerente de projeto na situação em que ele tem a informação parcial do evento, ou seja, um ambiente com a

presença de riscos que ele consegue estimar, com certa precisão, suas consequências e sua probabilidade de ocorrência (*known-unknowns*).



Figura 10 – Espectro de Incertezas (Fonte: Rollim, 2012)

Por natureza, projetos são sujeitos a incertezas. Essas incertezas estão presentes em todo o ciclo de vida do projeto, porém maior destaque se dá nas fases antes do início da execução.

Se o sucesso de um projeto é medido em termos de atingimento do custo prometido, ou do prazo estimado, ou de qualquer outra meta, então os riscos devem ser definidos e estudados com base nas ameaças ao sucesso desse planejamento e em suas oportunidades de alavancar o negócio, considerando o tamanho esperado dos desvios (negativo ou positivo) e de sua probabilidade de ocorrência (Chapman e Ward, 2003).

Ainda segundo Chapman e Ward (2003), a maioria das atividades de gerenciamento de projetos está preocupada em gerenciar incertezas desde o início do ciclo de vida de um projeto. Eles entendem que incerteza se dá em parte devido à variabilidade das medidas de desempenho, como custos, duração ou qualidade, além também de ambiguidade associada a diversos fatores, como falta de dados, detalhes, estrutura para tratar problemas, entre outros motivos.

Para entender melhor como esses riscos impactam determinados processos, a realização da gestão de riscos (e incertezas) tem se tornado fundamental. Esse gerenciamento de risco permite a identificação das consequências indesejáveis ou desejáveis de um evento, permitindo minimizar os resultados negativos e maximizar os positivos, dando suporte ao processo de decisão.

Segundo o PMI (2013), são seis os processos de gerenciamento de riscos em projetos, conforme apresentados na Figura 12.

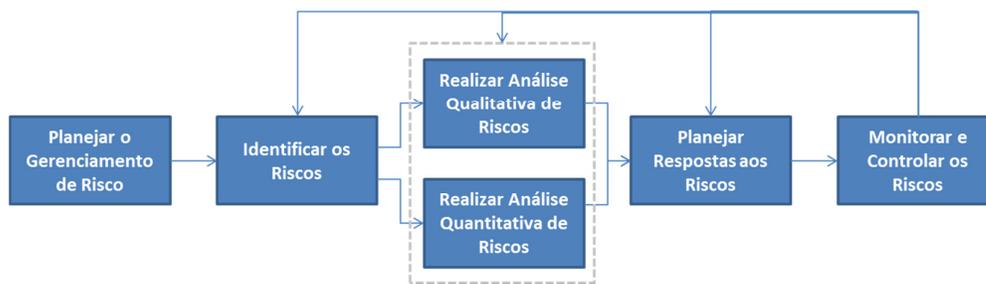


Figura 11 – Processos de Gerenciamento de Riscos de Projetos
(Fonte: Adaptado de PMI, 2013)

O objetivo principal do processo de **planejamento do gerenciamento de riscos** é definir como será o gerenciamento de riscos durante toda a vida útil do projeto. É neste momento que se decide como os demais processos irão acontecer.

Já o processo de **identificação dos riscos** consiste na determinação dos riscos que irão afetar o projeto, sejam eles oportunidades ou ameaças. Cada risco identificado deve ter documentado suas características.

A etapa de **análise de riscos** contempla tanto a realização da **análise qualitativa** quanto a **quantitativa**. O objetivo da análise qualitativa é priorizar os riscos identificados na etapa anterior, através das combinações de suas probabilidades e impactos. Já a análise quantitativa visa avaliar os efeitos dos riscos priorizados em todos os objetivos do projeto, atribuindo números a essa análise. Essa análise pode ser determinística ou estocástica.

A etapa de **planejar respostas aos riscos** envolve identificar e estabelecer ações para alavancar as oportunidades e reduzir as ameaças ao projeto. No caso de ameaças, essas ações podem ser estabelecidas de forma a evitar (eliminar) que o evento aconteça, de mitigar, ou seja, diminuir o impacto de um evento de risco e/ou a sua probabilidade ou até mesmo de aceitar o risco, aceitando assim suas consequências.

Por último, o processo de **monitorar e controlar os riscos** visa garantir que as três etapas anteriores ocorram conforme o planejado, implementando planos de resposta a riscos, monitorando os riscos identificados e residuais, identificando novos riscos e avaliando a efetividade do processo em todo o projeto.

Não é objetivo desta dissertação detalhar todo o processo de gerenciamento de risco e aplicá-lo ao estudo de caso. O foco será dado somente nas etapas de identificação e análise quantitativa dos riscos, a serem detalhadas no Capítulo 4.

2.4.2.

Análise de Incertezas e Riscos em Construção de Poços

O desenvolvimento de um campo de petróleo e gás, e, especificamente a área de construção de poços, requer altos investimentos. Em alguns casos, o tempo associado às atividades de perfuração e completação representa 70 a 80% do custo total de um poço, devido ao alto custo diário das sondas (Coelho *et al.*, 2005). Apesar da importância dos custos de poços para a indústria de petróleo, suas estimativas têm sido um processo impreciso (Leamon, 2006).

Leamon (2006) acredita que essas dificuldades são provenientes da unicidade de cada perfuração, uma vez que equipamentos, pessoas, condições meteorológicas, geologia, falhas, taxas de mercado, lições aprendidas, entre outros, variam e impactam de diferentes formas os custos dessas atividades.

Todas essas questões constituem incertezas que muitas vezes são ignoradas ao se planejar um desenvolvimento da produção. Ainda é muito comum na indústria a utilização de uma abordagem determinística, onde se pressupõe um conhecimento exato dos valores que irão compor seu projeto.

Porém, com a realidade atual, onde os projetos cada vez mais se encontram em um cenário complexo, em águas profundas e ultras profundas, analisar as incertezas inerentes aquele tipo de atividade torna-se fundamental para o planejamento das empresas e para o sucesso do projeto.

Não é de se espantar que nas últimas décadas, a área de Exploração e Produção de petróleo vem se preocupando cada vez mais em avaliar e quantificar as incertezas dos projetos (Accioly, 2005). Afinal de contas, eventos inesperados vão ocorrer durante as atividades de poços.

Essas incertezas podem ser provenientes de diversas fontes. Na indústria de petróleo, elas costumam ser técnicas ou operacionais (tempo de perfuração, produtividade dos poços, volume das reservas, etc), econômicas (preço do óleo, taxa diária de sondas, entre outros), estratégicas (comportamento do concorrente) e, ainda, socioambientais (Petrobras, 2013).

Para entender melhor como essas incertezas impactam determinados processos, é imprescindível a realização de uma análise de risco. Segundo

Cunha (2004) e Cunha, Demirdal e Gui (2005), diversos artigos relacionados às operações de perfuração já foram escritos, onde diferentes aspectos do processo foram estudados utilizando análise de risco como uma ferramenta auxiliar no processo de tomada de decisão. A metodologia a ser considerada para realização de uma análise de risco será abordada no Capítulo 4, adiante.

Apesar de Chapman e Ward (2003) terem ressaltado que, para avaliar incertezas de um projeto de forma completa, deve-se considerar tanto as ameaças quanto às oportunidades existentes. No contexto dessa dissertação serão consideradas somente aquelas de caráter negativo e de natureza técnica/operacional.