



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO DOS CUSTOS DA PERFURAÇÃO DIRECIONAL E DA PERFURAÇÃO  
VERTICAL**

Luiza Gevaerd Floriani

**Orientador:** Prof. MSc. Gustavo Arruda Ramalho Lira

NATAL/RN

NOVEMBRO DE 2014

**LUIZA GEVAERD FLORIANI**

**ESTUDO DOS CUSTOS DA PERFURAÇÃO DIRECIONAL E DA PERFURAÇÃO  
VERTICAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação do curso de  
Engenharia de Petróleo da Universidade  
Federal do Rio Grande do Norte como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Engenheira de Petróleo.

**Orientador:** Prof. MSc. Gustavo Arruda Ramalho Lira

**NATAL/RN**

**NOVEMBRO DE 2014**

**LUIZA GEVAERD FLORIANI**

**ESTUDO DOS CUSTOS DA PERFURAÇÃO DIRECIONAL E DA PERFURAÇÃO  
VERTICAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e considerado adequado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Natal, 28 de novembro de 2014.

---

Prof. MSc. Gustavo Arruda Ramalho Lira

Orientador – UFRN

---

Prof. Dr. Rutácio de Oliveira Costa

Membro Examinador – UFRN

---

Prof. MSc Sérgio José Gonçalves e Silva

Membro Examinador – UFRN

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Mirela e Wilson, e ao meu  
namorado, Arthur.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua presença em todos os momentos da minha vida, fazendo-me acreditar no meu potencial, dando coragem e determinação para seguir em frente.

Aos meus pais, Mirela e Vilson, por sempre estarem do meu lado, dando-me força para prosseguir e lutar pelos meus objetivos, e, principalmente, pela confiança e exemplo de vida.

Ao meu namorado Arthur, pelo auxílio dado durante toda a minha trajetória acadêmica, além de todo amor, carinho, compreensão e palavras de apoio dados.

À toda minha família, avós e tios, que mesmo distante estava me incentivando.

Ao Prof. MSc. Gustavo Arruda Ramalho Lira pela orientação e paciência.

A todo corpo docente do Departamento de Engenharia de Petróleo por toda dedicação e ensinamentos passados para os seus alunos durante a graduação.

Aos meus amigos da graduação que fizeram parte dessa caminhada e que de forma direta ou indireta me ajudaram na conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela infraestrutura cedida durante a formação acadêmica, facilitando o aprendizado.

À empresa Petrobras pelos dados disponibilizados para o desenvolvimento do programa computacional.

## RESUMO

---

A perfuração de poços no Brasil vem se destacando ao longo do tempo devido aos inúmeros desafios que têm sido vencidos. Entretanto, essa operação atrai constantemente a atenção da indústria petrolífera, uma vez que os seus custos consomem grande parte do orçamento de exploração. Ao surgir o interesse por um novo objetivo de perfuração, é necessário analisar quais são as possibilidades disponíveis para construção do poço e avaliar os diferentes parâmetros de cada uma delas, para que seja possível escolher a melhor opção. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo dos custos da perfuração vertical e da perfuração direcional, através de informações da distribuição desses custos. Para isso, é considerada a possibilidade de se realizar esses dois tipos de perfuração, além da existência de uma base já construída, que permite o aprimoramento para construção de um poço direcional. Dessa forma, são avaliadas em que condições seria vantajoso realizar o aprimoramento e se isso ocorre em algum caso analisado. Além disso, são estudados parâmetros como tempo de perfuração, profundidade vertical e medida, revestimento e cimentação, custo com serviços de direcional, custo e apropriação da sonda (própria da empresa ou contratada), e custo total do poço. A partir deste trabalho, é possível perceber a importância do estudo de custos para escolha da melhor alternativa de perfuração. Considerando-se a possibilidade de realizar a perfuração vertical e a perfuração direcional, pode-se perceber que, para os dados disponíveis, um poço direcional custa mais que um poço vertical. Entretanto, deve-se levar em consideração parâmetros como a apropriação da sonda, o tempo de perfuração e a profundidade medida.

---

**Palavras-chave:** Perfuração; Perfuração Direcional; Perfuração Vertical; Estudo de Custos.

## ABSTRACT

---

Well drilling in Brazil has been outstanding over time due to the numerous challenges that have been overcome. However, this operation continuously attracts the attention of the oil industry, since their costs consume most part of the exploration budget. When interest by drilling a new goal arises, it is necessary to analyze what are the opportunities available for the well construction and evaluate the different parameters of each of them, so that it is possible to choose the best option. Accordingly, this paper aims to conduct an economic study of the vertical drilling and directional drilling using the costs distribution. Therefore, it is considered the possibility of performing these two types of drilling and the existence of an already constructed base that allows the improvement to the construction of a directional well. Thus, it is assessed in which conditions it would be beneficial to perform the improvement and if this occurs in any case of study. In addition, parameters such as drilling time, true vertical and measured depth, casing and cementing, directional services cost, drilling rig cost and appropriation (the company itself or a contracted one) and the total well cost are analyzed. Based on this study, it is possible to realize the importance of economic study to choose the best drilling alternative. Considering the possibility of performing vertical drilling and directional drilling, it can be seen that a directional well costs more than a vertical well. However, it should take into consideration the drilling rig appropriation, the drilling time and the measured depth.

---

**Keywords:** Drilling; Directional Drilling; Vertical Drilling; Economic Study.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de uma sonda rotativa. ....	18
Figura 2 – Esquema de revestimento de poços. ....	22
Figura 3 – Aplicações dos poços direcionais. ....	28
Figura 4 - Esquema de um poço direcional – demonstração do afastamento. ....	29
Figura 5 – Pontos básicos de uma trajetória direcional.....	30
Figura 6 - Trajetória de raio curto, intermediário, médio e longo.....	32
Figura 7 – Tipos de poços direcionais. ....	33
Figura 8 – Fluxo de trabalho para o projeto de um poço. ....	35
Figura 9 - Gráfico da profundidade vertical x profundidade medida para poços verticais e direcionais. ....	52
Figura 10 – Gráfico do tempo de perfuração dos poços verticais e direcionais. ....	53
Figura 11 - Gráfico da razão profundidade medida por hora para poços verticais e direcionais. ....	55
Figura 12 – Gráfico do custo total dos poços verticais e direcionais.....	57
Figura 13 - Gráfico do custo métrico para perfuração verticais e direcional.....	58
Figura 14 – Gráfico do custo de base e acesso para poços verticais e direcionais. ....	59
Figura 15 – Gráfico do custo de nova base x aprimoramento de base existente. ....	60
Figura 16 – Gráfico do custo de sonda para poços verticais e direcionais. ....	61
Figura 17 – Gráfico do custo diário da sonda para poços verticais e direcionais. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da trajetória quanto ao afastamento.....	32
Tabela 2 – Nomenclatura dos poços. ....	40
Tabela 3 - Principais características dos poços verticais. ....	41
Tabela 4 - Principais características dos poços direcionais. ....	41
Tabela 5 – Custo total relativo dos poços verticais e direcionais. ....	42
Tabela 6 – Custo total dos poços verticais e direcionais.....	43
Tabela 7 – Porcentagem do custo total para cada operação da perfuração vertical. ....	46
Tabela 8 – Porcentagem do custo total para cada operação da perfuração direcional. ....	47
Tabela 9 - Custos das operações realizadas nos poços verticais.....	48
Tabela 10 - Custos das operações realizadas nos poços direcionais.....	49
Tabela 11 – Porcentagem de custo de revestimento e cimentação. ....	63

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2.</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	15
2.1.	Objetivo Geral.....	15
2.2.	Objetivo Específico.....	15
<b>3.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
3.1.	<b>PERFURAÇÃO DE POÇOS</b> .....	17
3.1.1.	Coluna de Perfuração.....	19
3.1.2.	Fluido de Perfuração.....	20
3.1.3.	Revestimento.....	22
3.1.4.	Cimentação.....	23
3.2.	<b>CLASSIFICAÇÃO DOS POÇOS</b> .....	24
3.2.1.	Quanto a Finalidade.....	24
3.2.2.	Quanto a Geometria da Trajetória.....	25
3.2.3.	Quanto a Localização.....	26
3.3.	<b>PERFURAÇÃO DE POÇOS DIRECIONAIS</b> .....	27
3.3.1.	Aplicação de Poços Direcionais.....	27
3.3.2.	Definições Básicas.....	28
3.3.3.	Classificação de Poços Direcionais.....	31
3.3.4.	Tipos de Trajetória.....	33
3.4.	<b>PROJETO DE POÇOS</b> .....	34
3.5.	<b>ANÁLISE ECONÔMICA</b> .....	36
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	39
4.1.	<b>DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO PROPOSTA</b> .....	39
4.2.	<b>POÇOS UTILIZADOS</b> .....	39
4.3.	<b>DADOS DE CUSTOS DOS POÇOS</b> .....	42

4.3.1.	Custo Total dos Poços.....	42
4.3.2.	Distribuição do Custo .....	43
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>51</b>
5.1.	PROFUNDIDADE DE PERFURAÇÃO.....	51
5.2.	TEMPO DE PERFURAÇÃO.....	52
5.3.	CUSTO DOS POÇOS.....	55
5.3.1.	Base e Acesso .....	58
5.3.2.	Sonda.....	60
5.3.3.	Revestimento e Cimentação.....	62
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>

---

**CAPÍTULO 1**

**INTRODUÇÃO**

---

## **1. INTRODUÇÃO**

A perfuração de poços no Brasil vem se destacando ao longo do tempo devido aos inúmeros desafios que têm sido vencidos, sendo uma especialidade que evoluiu consideravelmente nos últimos anos. Entretanto, é necessário analisar a viabilidade da utilização dos métodos de perfuração disponíveis, uma vez que os custos com essa operação consomem grande parte do orçamento de exploração, atraindo atenção da indústria petrolífera.

Devido à grande quantidade de capital que as operações de perfuração exigem, a redução dos seus custos é um item prioritário nas empresas de petróleo. Nesse sentido, novos conceitos para redução dos custos são desenvolvidos a cada dia, o que juntamente com a evolução tecnológica de várias áreas, permite a melhoria do processo de perfuração. Além disso, com o investimento em novas ferramentas e o treinamento adequado dos profissionais contratados, é possível reduzir significativamente o custo das operações.

As trajetórias mais comuns de construção de poços são a vertical e a direcional. O poço vertical é aquele no qual o reservatório está abaixo da linha vertical que passa pela cabeça do poço, ou seja, não há ganho de ângulo durante a sua construção. Já o poço direcional é aquele no qual o reservatório a ser atingido está distanciado da linha vertical de localização da sonda. Essa distância é denominada afastamento, e obriga o poço a ganhar ângulo durante a sua construção para que o objetivo seja alcançado. Devido a isso, a perfuração direcional utiliza algumas técnicas e equipamentos específicos que não são utilizados na perfuração vertical e aumentam o seu custo.

Quando surge o interesse por um novo objetivo, deve-se avaliar qual tipo de perfuração é mais viável. Nesse sentido, levando-se em consideração a possibilidade de realizar as duas trajetórias, uma maneira de analisar a viabilidade da construção de poços direcionais é comparar os seus custos com os da perfuração vertical. Isso pode ser feito, por exemplo, utilizando as despesas com a construção de uma nova base e acesso para um poço vertical e confrontando esses dados com as despesas relacionadas ao aprimoramento de uma base, já existente, para realização da perfuração direcional.

Considerando as características mencionadas, este trabalho realiza um estudo dos custos dos dois tipos principais de trajetória, vertical e direcional, utilizando os valores de alguns poços já realizados, disponibilizados pela empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras). Para isso, são analisadas as características dos poços, como profundidade vertical, profundidade medida e tempo de perfuração, além do custo total do poço, e dos custos com sonda, base e acesso e revestimento e cimentação. Esses parâmetros, avaliados em conjunto, permitem a comparação da perfuração direcional e da perfuração vertical.

Dessa maneira, pode-se colocar em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia de Petróleo, e, em especial, ressaltar aqueles relacionados às disciplinas PTR0201 – Perfuração de Poços, PTR0204 – Poços Direcionais e Especiais e PTR0406 – Análise Econômica de Projetos.

---

## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVO**

---

## **2. OBJETIVO**

### 2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo dos custos da perfuração direcional e da perfuração vertical, através de informações dos custos de base e acesso, cravação, sonda, serviços e materiais de perfuração, serviços e materiais de fluido, direcional, perfilagem, revestimento, cimentação, projeto e acompanhamento, e transportes.

Para isso, é utilizado o programa Excel, versão 2013, do grupo Microsoft, para facilitar a análise de dados e a elaboração de tabelas e gráficos, além de um banco de dados reais disponibilizados pela empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras).

### 2.2. Objetivo Específico

- Analisar as características dos poços, como profundidade vertical, profundidade medida, e tempo de perfuração;
- Analisar os custos com base e acesso, sonda, e revestimento e cimentação;
- Analisar as diferenças de custo entre uma sonda contratada e uma sonda própria;
- Avaliar o impacto do tempo de perfuração nos custos dos poços;
- Elaborar gráficos e tabelas, com auxílio do programa Excel, para facilitar a análise dos dados;
- Realizar comparações dos custos de poços verticais com os custos de poços direcionais.

---

**CAPÍTULO 3**

**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

---

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1.PERFURAÇÃO DE POÇOS**

A perfuração é a atividade responsável pela construção de poços de petróleo. Ou seja, é a responsável pelo acesso da superfície até o reservatório, tendo o objetivo, direto ou indireto, de produzir petróleo de forma segura e econômica. A perfuração de poços pode ser realizada a fim de atender as solicitações das áreas de geologia e de reservatórios.

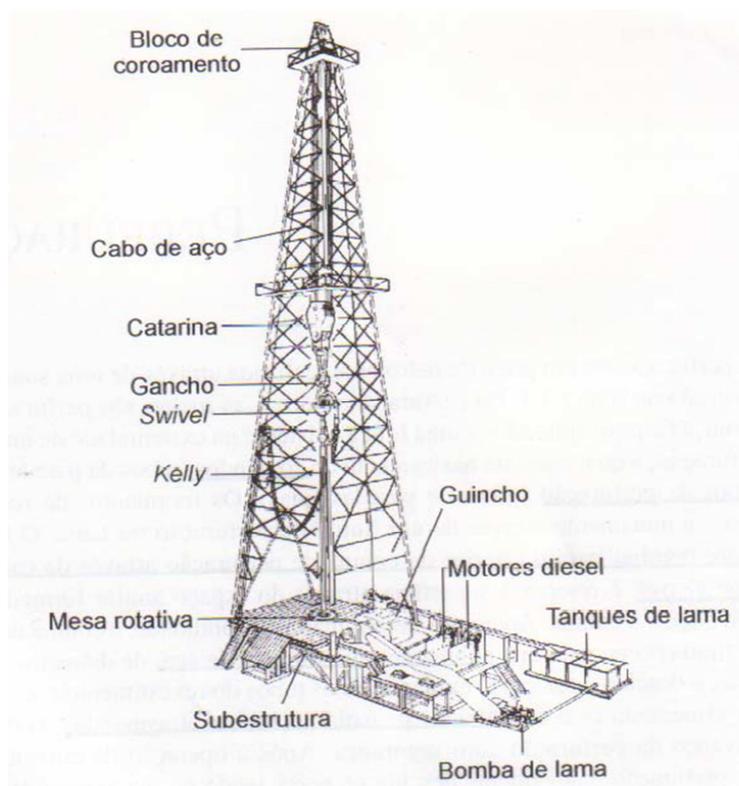
Um poço é perfurado para fins geológicos quando o seu objetivo principal é verificar, de forma direta, a ocorrência de hidrocarbonetos no subsolo, descobrindo novas reservas e aprimorando o conhecimento de reservas já existentes. Os poços perfurados com essa finalidade são denominados exploratórios.

Atendendo às solicitações da área de reservatórios, o poço é construído para promover a ligação entre a superfície e o reservatório, permitindo a produção continuada, econômica e segura do fluido existente. Os poços perfurados com esse objetivo são denominados explotatórios ou de desenvolvimento.

Para a construção de poços, utiliza-se uma sonda de perfuração e divide-se a operação em diversas fases. Cada fase é determinada pelo diâmetro da broca ou do alargador que está sendo utilizado na perfuração.

A sonda de perfuração (Figura 1) constitui um conjunto de equipamentos que, juntos, fornecem os recursos necessários para realizar a perfuração do poço de petróleo. Todos os equipamentos de uma sonda responsáveis por determinada função são agrupados, para fins acadêmicos, em sistemas. Dessa forma, os principais sistemas da sonda são: sustentação de cargas, de geração e transmissão de energia, de movimentação de carga, de rotação, de circulação, de segurança do poço e de monitoração.

Figura 1 – Esquema de uma sonda rotativa.



Fonte: Thomas, 2004.

Durante a operação de perfuração é utilizada uma coluna, formada por elementos tubulares e acessórios de finalidades específicas, com uma broca em sua extremidade. Com a ação da rotação e do peso aplicados a broca, as rochas são perfuradas.

Os fragmentos provenientes das rochas perfuradas devem ser removidos continuamente do poço. Isso é feito através de um fluido de perfuração, ou lama, que é bombeado para o interior da coluna de perfuração através do *swivel* (cabeça de injeção). O seu retorno para a superfície se dá através do espaço anular formado entre a parede do poço e da coluna.

Ao atingir determinada profundidade, a coluna de perfuração é retirada e uma coluna de revestimento, de diâmetro inferior ao da broca, é descida no poço. Após isso, o espaço anular formado entre os tubos do revestimento e as paredes do poço é cimentado com a finalidade de isolar as rochas atravessadas.

Ao finalizar a cimentação, a coluna de perfuração é descida no poço novamente, tendo em sua extremidade uma nova broca de diâmetro menor que a do revestimento, iniciando uma nova fase de perfuração e prosseguindo a perfuração.

### 3.1.1. Coluna de Perfuração

A perfuração de um poço exige uma grande quantidade de energia sobre a broca para que seja possível cortar as formações rochosas. Essa energia, transferida às rochas através da rotação e do peso aplicado sobre a broca, provoca a ruptura da formação e a sua consequente desagregação em forma de cascalhos, que são carregados pelo fluido de perfuração até a superfície. Neste processo, a coluna de perfuração possui grande responsabilidade.

Compor uma coluna de perfuração é uma das atividades mais importantes da perfuração de poços, pois esta é quem determinará se o poço irá ganhar, manter ou perder ângulo. A coluna de perfuração é composta, basicamente, de tubos de perfuração adicionados a um conjunto de ferramentas conhecido como composição de fundo, ou *Bottom Hole Assembly* (BHA).

Os *Drill Collars* (DC – Comandos) são elementos tubulares fabricados em aço forjado, usinados e que possuem alto peso linear devido à grande espessura de parede (THOMAS, 2004). Suas principais funções são prover peso sobre a broca e rigidez à coluna, permitindo um maior controle da trajetória do poço. A conexão entre esses elementos é feita por uniões enroscáveis e usinadas, diretamente no corpo do tubo.

Segundo Thomas (2004), os tubos de perfuração, ou *Drill Pipes* (DP), são tubos de aço sem costura. Eles possuem um tratamento interno, com aplicação de resinas, com objetivo de diminuir o desgaste interno e a corrosão. Nas extremidades, possui conexões cônicas, denominadas *tool joints*, soldadas ao seu corpo.

Os *Heavyweight Drillpipes* (HWDP – Tubos Pesados) são tubos de aço forjado e usinados que possuem, normalmente, o mesmo diâmetro externo dos *drillpipes* comuns, entretanto, têm uma parede mais espessa. Esses tubos possuem a função principal de

promover uma mudança gradual de rigidez da coluna, uma vez que, se há uma mudança de rigidez brusca a possibilidade de falha da coluna de perfuração por fadiga aumenta (THOMAS, 2004). Além disso, pode-se utilizar esses tubos pesados para dar peso a broca.

Os estabilizadores são ferramentas que dão maior rigidez à coluna e, por terem diâmetro igual ao da broca, ajudam a manter o diâmetro do poço. Suas principais funções são estabilizar a composição de fundo (BHA), controlar o desvio do poço, manter os comandos no centro do poço e reduzir a vibração lateral, e prevenir a prisão por diferencial de pressão e desgaste dos comandos (ROCHA *et al*, 2011).

A broca é um componente da coluna de perfuração que tem como objetivo promover a ruptura e a desagregação das rochas. A escolha da broca é um fator de grande importância para a perfuração de poços de petróleo. Com isso, para seleção do melhor equipamento são considerados vários fatores, que incluem o tipo da formação e a qualidade de limpeza do poço desejada.

### 3.1.2. Fluido de Perfuração

Os fluidos de perfuração possuem o objetivo de otimizar a perfuração através de suas misturas complexas de líquidos, sólidos, produtos químicos e, muitas vezes, gases. Segundo Rocha *et al* (2011), um programa adequado de fluidos, com dimensionamento de hidráulica, permite aumentar a taxa de penetração, prevenir contra problemas como prisões de coluna, instabilidade de poço, elevados torques e arraste, e ainda minimizar o dano ao reservatório corroborado para maximização da produtividade do campo.

Entre as principais funções do fluido de perfuração estão:

- Limpar o fundo do poço, removendo os cascalhos gerados pela broca durante a perfuração, e transportando para a superfície, evitando retrabalho da broca;
- Fornecer pressão hidrostática sobre as formações atravessadas pelo poço, evitando o influxo de fluidos indesejáveis (*kick*);
- Estabilizar as paredes do poço;

- Transmitir potência hidráulica à broca, turbinas e motores de fundo;
- Prover mínimo dano ao reservatório;
- Lubrificar a coluna de perfuração;
- Resfriar a broca;
- Permitir a transmissão de informações entre o fundo do poço e a superfície;

Ainda de acordo com Rocha *et al* (2011), é desejável que o fluido apresente as seguintes características:

- Ser estável quimicamente;
- Estabilizar as paredes do poço, mecânica e quimicamente;
- Facilitar a separação dos cascalhos na superfície;
- Manter os sólidos em suspensão quando estiver em repouso;
- Ser inerte em relação a danos às rochas produtoras;
- Aceitar qualquer tratamento físico e químico;
- Ser bombeável;
- Apresentar baixo grau de corrosão e de abrasão em relação à coluna de perfuração e demais equipamentos do sistema de circulação;
- Facilitar as interpretações geológicas do material retirado do poço;
- Apresentar custo compatível com a operação.

Os fluidos são classificados de acordo com a composição da fase contínua em fluidos de base aquosa e fluidos de base não aquosa. Os de base aquosa são formados pela combinação de meio aquoso, viscosificante, gelificante, alcalinizante, floculante, inibidor físico e químico, dispersante, redutor de filtrado e adensante. Já os de base não aquosa possuem a fase contínua composta por uma base orgânica.

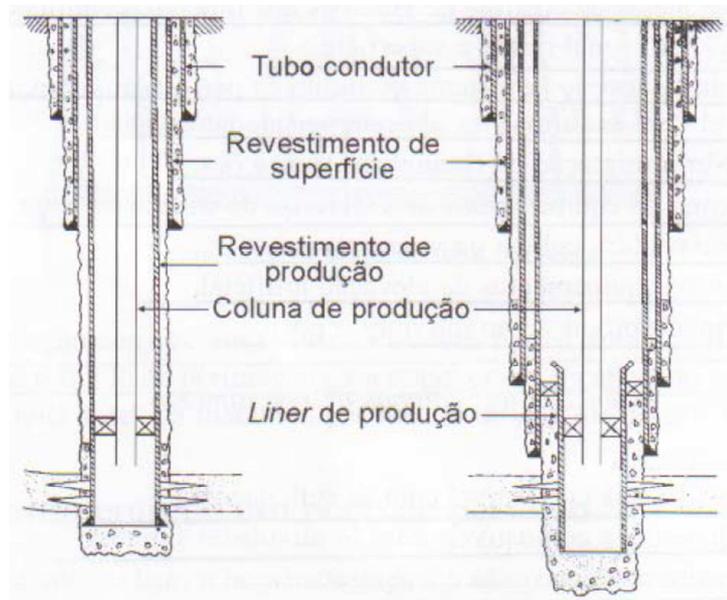
### 3.1.3. Revestimento

Um poço de petróleo é perfurado em fases. O número de fases depende das características das zonas perfuradas e da profundidade final do poço, sendo, normalmente, de três a quatro fases, podendo chegar a oito em alguns casos. Essas fases são concluídas com a descida de uma coluna de revestimento e a sua cimentação.

Segundo Rocha *et al* (2009), o revestimento de um poço de petróleo constitui uma das parcelas mais expressivas do custo do poço, variando de 15% a 20% em mar, e podendo chegar a até 50% em terra.

A Figura 2 demonstra um esquema do revestimento de poços.

Figura 2 – Esquema de revestimento de poços.



Fonte: Thomas, 2004.

Segundo Thomas (2004), as funções da coluna de revestimento são:

- Prevenir o desmoronamento das paredes do poço;

- Evitar a contaminação da água potável dos lençóis freáticos mais próximos à superfície;
- Permitir o retorno do fluido de perfuração à superfície;
- Prover meios de controle de pressões dos fluidos, permitindo aplicação de pressão adicional desde a superfície;
- Permitir a adoção de sistema de fluido de perfuração diferente, mais compatível com as formações a serem perfuradas adiante;
- Impedir a migração de fluidos das formações;
- Sustentar os equipamentos de segurança de cabeça de poço;
- Sustentar outra coluna de revestimento;
- Alojamento dos equipamentos de elevação artificial;
- Confinar a produção ao interior do poço.

A composição da coluna de revestimento depende das solicitações previstas para a descida no poço e para a sua vida útil. Entretanto, de acordo com Thomas (2004), as características essenciais das colunas de revestimento são:

- Ser estanque;
- Ter resistência compatível com as solicitações;
- Ter dimensões compatíveis com as atividades futuras;
- Ser resistente à corrosão e à abrasão;
- Apresentar facilidade de conexão;
- Ter a menor espessura possível.

#### 3.1.4. Cimentação

Após a descida do revestimento é necessário propiciar o suporte mecânico ao revestimento a vedação hidráulica entre os intervalos de formações permeáveis, evitando que os fluidos migrem por trás do revestimento. Para isso, o espaço anular entre a coluna de

revestimento e a parede do poço é preenchido com cimento, operação denominada cimentação.

A cimentação é realizada através do bombeio de pasta de cimento e água, deslocada até os intervalos previamente definidos através da tubulação de revestimento. Após o endurecimento da pasta, o cimento deve ficar seguramente aderido à parede externa do revestimento e à parede do poço.

Vale salientar que, tanto para os poços verticais quanto para direcionais, o revestimento deverá estar centralizado dentro do poço, para que o cimento o envolva de forma uniforme. Isso é feito com o uso de centralizadores na coluna de revestimento.

### 3.2.CLASSIFICAÇÃO DOS POÇOS

Os poços de petróleo podem ser classificados quanto a sua finalidade, quanto a geometria da trajetória e quanto a sua localização.

#### 3.2.1. Quanto a Finalidade

Como dito anteriormente, os poços são classificados quanto a finalidade, de forma geral, em exploratório, quando possui o objetivo de realizar estudos geológicos, e explotatório, quando são construídos para produzir. De forma mais específica, os poços são classificados, de acordo com a Resolução nº 49 da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), publicada em 2011, em:

- a) Poço Exploratório Pioneiro, identificado com o código 1, é o poço que visa testar a ocorrência de petróleo ou gás natural em um ou mais objetivos de um prospecto geológico;

- b) Poço Exploratório Estratigráfico, identificado com o código 2, é o poço perfurado com a finalidade de se conhecer a coluna estratigráfica de uma bacia e obter outras informações geológicas de subsuperfície;
- c) Poço Exploratório de Extensão, identificado com o código 3, é o poço que visa delimitar a acumulação de petróleo ou gás natural em um reservatório, podendo ser perfurado em qualquer Fase do Contrato de Concessão;
- d) Poço Exploratório Pioneiro Adjacente, identificado com o código 4, é o poço que visa testar a ocorrência de petróleo ou gás natural em área adjacente a uma descoberta;
- e) Poço Exploratório para Jazida Mais Rasa, identificado com o código 5, é o poço que visa testar a ocorrência de jazidas mais rasas em determinada área;
- f) Poço Exploratório para Jazida Mais Profunda, identificado com o código 6, é o poço que visa testar a ocorrência de jazidas mais profundas em determinada área;
- g) Poço Exploratório de Produção, identificado com o código 7, é o poço que visa drenar uma ou mais jazidas de um campo;
- h) Poço Exploratório de Injeção, identificado com o código 8, é o poço destinado à injeção de fluidos visando melhorar a recuperação de petróleo ou de gás natural ou manter a energia do reservatório; e
- i) Poço Especial, identificado com o código 9, é aquele que visa permitir uma operação específica que não se enquadra nas situações anteriormente definidas;

### 3.2.2. Quanto a Geometria da Trajetória

Quanto a geometria da trajetória, a Resolução nº 49 da ANP (2011) classifica os poços em:

- a) Poço Vertical é aquele projetado para atingir os objetivos colimados na vertical que passa pelo centro da mesa rotativa; esse Tipo não recebe identificação específica, a não ser quando é repetido;
- b) Poço Direcional, identificado com a letra D, é o poço propositalmente perfurado fora da vertical visando atingir objetivo(s) específico(s);

c) Poço Horizontal, identificado com a letra H, é o poço direcional perfurado com a finalidade de atingir e/ou penetrar no objetivo horizontalmente ou sub-horizontalmente;

d) Poço Repetido é o poço reperfurado em função da perda do poço original e visando aos mesmos objetivos ou alvos; os Poços Repetidos têm a sua identificação modificada acrescentando-se letras do alfabeto ao número do poço, de forma sequencial, evitando-se as letras D, H e P;

e) Poço Partilhado ou Poço Multilateral, identificado com a letra P, é aquele que aproveita um poço já perfurado, ou parte dele, ou então é perfurado a partir de um poço piloto e que tem objetivos ou alvos diferentes do poço aproveitado ou do poço piloto; e

f) Poço Desviado é o poço cuja perfuração ou avaliação foi impedida pela presença de um obstáculo intransponível, sendo necessário um desvio para continuar a perfuração ou para a avaliação, com o mesmo objetivo ou alvo;

g) Poço de Investigação, identificado com a letra "i", em minúsculo, é aquele perfurado especificamente visando a conhecer riscos geológicos rasos em relação aos objetivos do prospecto, a fim de se obter informações que tornem as operações de perfuração do poço definitivo mais seguras e otimizadas. Este poço terá o mesmo sequencial do poço definitivo.

### 3.2.3. Quanto a Localização

Quanto a localização, de acordo com a Resolução nº 49 da ANP (2011), os poços são classificados em terrestres, quando são perfurados em terra, e submarinos, quando perfurados no mar. Pode-se, ainda, realizar a identificação de acordo com a Unidade da Federação onde o poço foi perfurado. Para isso, são utilizadas as siglas oficiais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

No caso de poços localizados no mar, deve-se acrescentar a letra S, de submarino, à sigla da Unidade da Federação. Além disso, nos casos em que os limites interestaduais não são perfeitamente estabelecidos, pode-se utilizar a sigla da bacia sedimentar para identificação.

O poço 7-UB-13D-RNS, por exemplo, é um poço exploratório de produção (7), perfurado no campo de Ubarana (UB), com trajetória direcional (D), localizado no estado do Rio Grande do Norte (RN) e submarino (devido a letra S adicionada à RN).

### 3.3.PERFURAÇÃO DE POÇOS DIRECIONAIS

Prioritariamente, projetam-se poços verticais, pois, em geral, custam menos que os poços direcionais. Além disso, para fins exploratórios, existe a preferência por poços verticais, para facilitar a operação de testemunhagem. Entretanto, é importante saber que, na prática, não existem poços rigorosamente verticais. Isto porque o poço possui uma tendência natural de desvio da vertical. Estes desvios devem ser quantificados, pois se ultrapassarem certos limites de inclinação (normalmente 5°) deve-se aplicar ações corretivas para redução da inclinação.

Poços verticais que desviam muito da vertical são denominados poços tortuosos. Eles trazem problemas de mapeamento de subsuperfície e podem atingir a profundidade final em uma posição afastada do objetivo desejado.

A perfuração direcional é uma técnica utilizada na exploração de petróleo, na qual a trajetória do poço é intencionalmente desviada da vertical, permitindo que objetivos localizados em coordenadas diferentes daquelas da cabeça do poço sejam atingidos. Devido a isso, a perfuração direcional utiliza algumas técnicas e equipamentos específicos que não são utilizados na perfuração vertical.

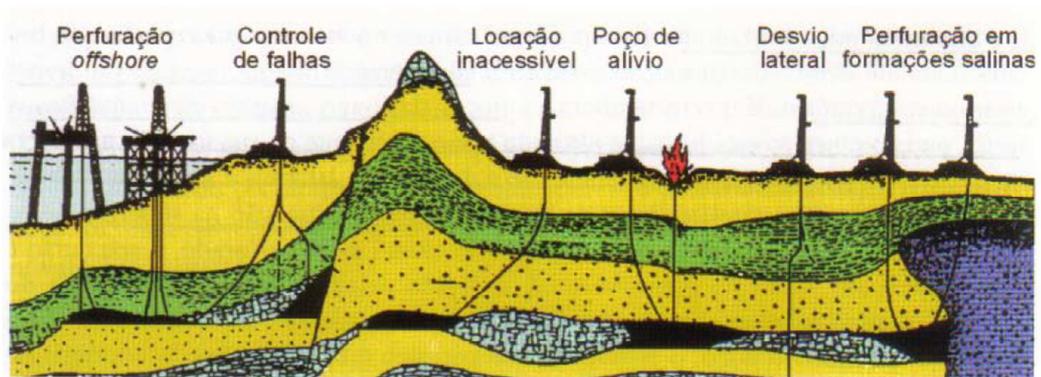
#### 3.3.1. Aplicação de Poços Direcionais

Os poços direcionais são perfurados para diversas finalidades. Entre elas, segundo Thomas (2004) estão:

- Controlar um poço em *blowout* através da perfuração de poços de alívio;
- Atingir formações produtoras que estejam abaixo de locais inacessíveis, como rios, lagos, cidades, entre outras;
- Desviar a trajetória do poço de acidentes geológicos, tais como domos salinos e falhas;
- Perfurar vários poços de um mesmo ponto, como é o caso da produção através de plataformas marítimas;
- Desviar poços que tiveram o trecho final perdido por problemas operacionais, como, por exemplo, a prisão da colina de perfuração.

A Figura 3 demonstra as principais aplicações dos poços direcionais.

Figura 3 – Aplicações dos poços direcionais.



Fonte: Thomas, 2004.

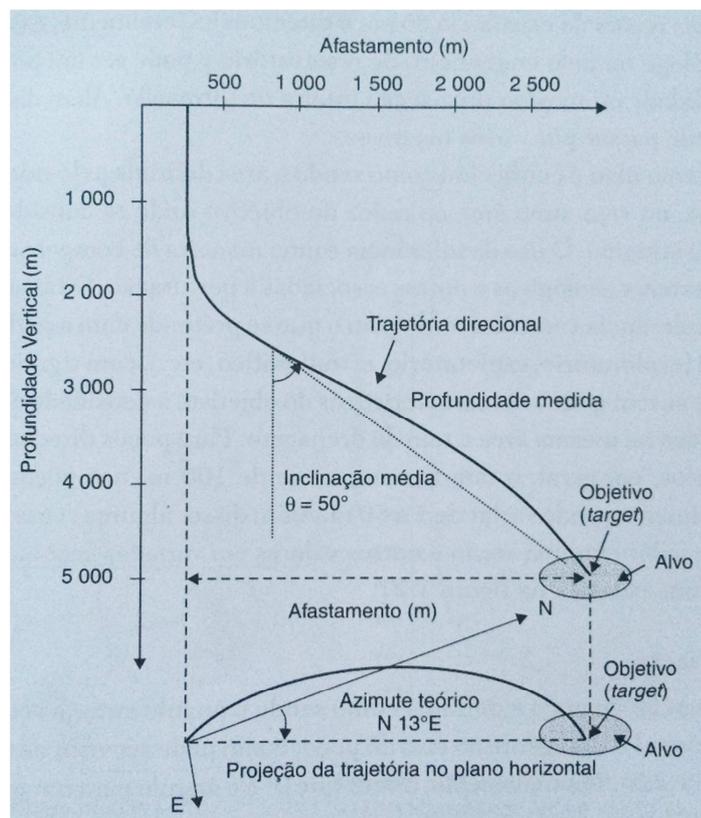
### 3.3.2. Definições Básicas

Devido às particularidades dos poços direcionais, é necessário o entendimento de algumas definições básicas, para melhor compreensão dos termos utilizados na perfuração direcional.

Durante a perfuração direcional, percorre-se um caminho até alcançar o objetivo. Este caminho é denominado trajetória direcional, que é o percurso percorrido pela broca desde a cabeça do poço até o final do poço, ou seja, é a distância da cabeça do poço ao objetivo.

O afastamento, como mostra a Figura 4, é a distância horizontal que representa a distância entre a linha vertical que passa pelo objetivo e a cabeça do poço. Sendo assim, cada profundidade terá um determinado afastamento com relação à sua cabeça.

Figura 4 - Esquema de um poço direcional – demonstração do afastamento.



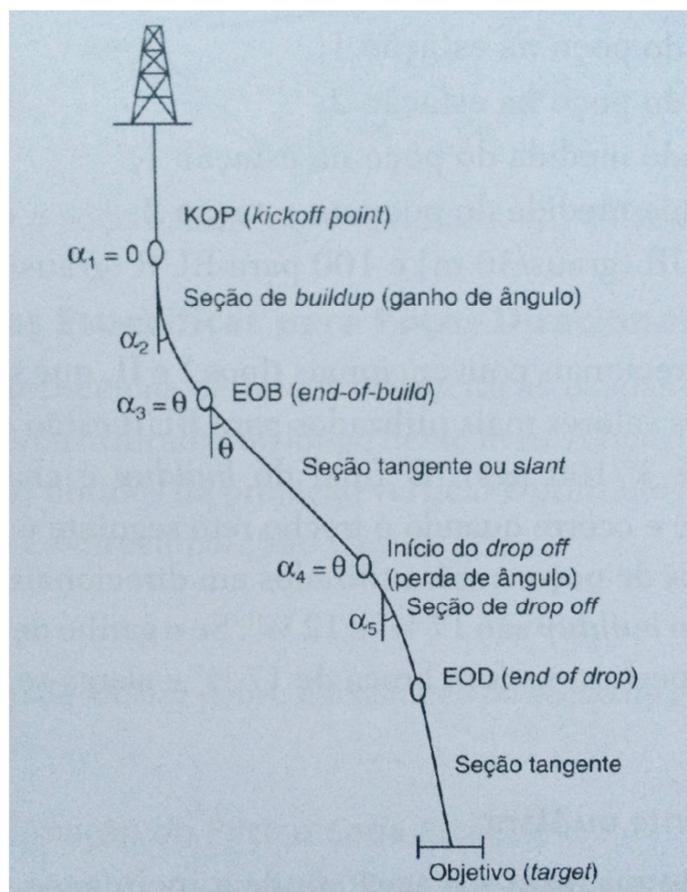
Fonte: Rocha *et al*, 2011.

Com isso, aparecem duas medidas de profundidade diferentes: a profundidade vertical e a profundidade medida. A profundidade vertical representa a distância vertical entre a mesa rotativa e um ponto de interesse do poço. Enquanto a profundidade medida é a distância percorrida pela broca até atingir este ponto de interesse.

Dessa forma, para poços verticais, a profundidade vertical é igual a profundidade medida, já que a trajetória da broca nesses poços é igual a linha vertical entre a mesa rotativa e o ponto de interesse. Para poços direcionais, entretanto, a profundidade vertical é menor que a profundidade medida, pois a broca percorre uma distância maior que a distância vertical entre a mesa rotativa e o objetivo.

Os poços direcionais podem ser classificados em bidimensionais (2D), que cortam um único plano, e tridimensionais (3D), que cortam vários planos. Para o caso de poços bidimensionais, é possível caracterizar alguns pontos e seções notáveis da trajetória direcional, demonstrados pela Figura 5, a seguir.

Figura 5 – Pontos básicos de uma trajetória direcional.



Fonte: Rocha *et al*, 2011.

A trajetória inicia com uma seção vertical, ou seja, sem inclinação. Sendo a inclinação definida como o ângulo entre o vetor local gravitacional e a tangente ao eixo da trajetória do poço no ponto considerado. Dessa forma, a inclinação de um poço vertical é  $0^\circ$  e de um poço horizontal é  $90^\circ$ .

O começo da seção de ganho de ângulo é determinado pelo ponto denominado *Kickoff Point* (KOP). Após isso, há a seção de *buildup*, onde acontece o ganho de ângulo do poço, ou seja, é a seção onde o ângulo do poço aumenta, a uma taxa constante, até atingir um valor previamente determinado. A essa taxa constante de ganho de ângulo dá-se o nome de *buildup rate*. A seção de *buildup* termina ao atingir o ponto denominado *End of Buildup* (EOB).

Na seção tangente (também denominada seção *slant*) a inclinação do poço será mantida até que o objetivo seja atingido, ou até que ocorra uma nova seção de ganho ou perda de ângulo.

A profundidade onde o poço começa a perder ângulo é denominada início do *drop off*. O trecho do poço onde ocorre a perda de ângulo recebe o nome de seção de *drop off*. Essa seção finaliza no ponto chamado *End of Drop* (EOD).

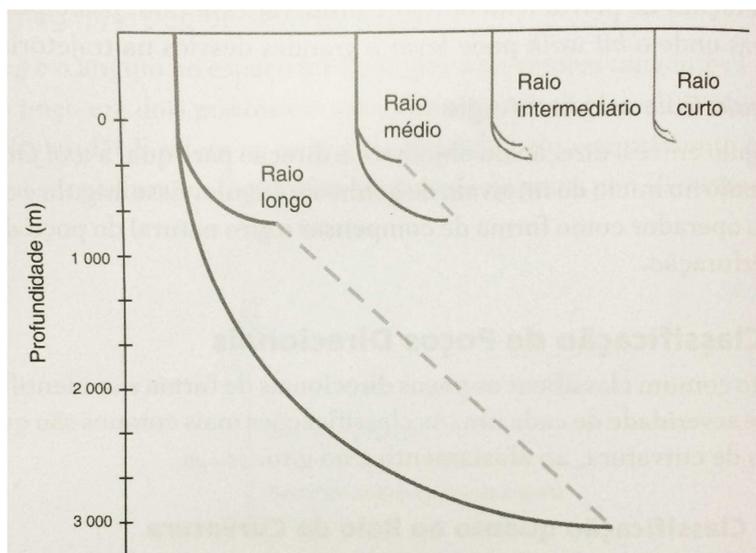
O raio de curvatura é o raio dos arcos de circunferência formado pelas seções de ganho (*buildup*) ou perda (*drop off*) de ângulo do poço.

### 3.3.3. Classificação de Poços Direcionais

A classificação dos poços direcionais é realizada de maneira a se identificar o grau de severidade desses poços. Sendo assim, as classificações mais comuns são quanto ao raio de curvatura, quanto ao afastamento do objetivo e quanto ao giro.

Quanto ao raio de curvatura, os poços podem ser classificados como de raio longo, médio, intermediário e curto. Como pode ser visto na Figura 6, a seguir.

Figura 6 - Trajetória de raio curto, intermediário, médio e longo.



Fonte: Rocha *et al*, 2011.

A classificação quanto ao afastamento é realizada pela razão entre o afastamento e a profundidade vertical (PV), descontando a lâmina d'água (LA) para poços marítimos. Essa razão é adimensional.

A Tabela 1 mostra a classificação quanto ao afastamento.

Tabela 1 - Classificação da trajetória quanto ao afastamento.

<b>Tipo de Poço</b>	<b>Afastamento / (PV-LA)</b>
Convencional	2 – 8
De grande afastamento	8 – 30
De afastamento severo	30 – 60

Fonte: Rocha *et al*, 2011.

Quanto ao giro, os poços podem ser classificados em bidimensionais (2D), que ficam em um único plano, e tridimensionais (3D), que cortam vários planos.

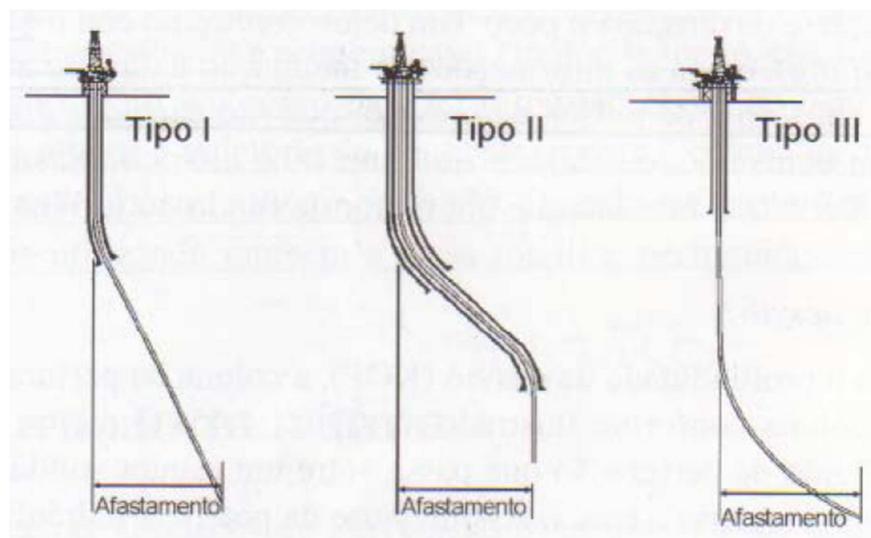
### 3.3.4. Tipos de Trajetória

As trajetórias direcionais podem ser classificadas em três tipos:

- Tipo I: a seção vertical é finalizada pelo KOP (*Kickoff Point*), há uma seção de ganho de ângulo e, em seguida, um trecho tangente opcional, que avança até atingir o objetivo;
- Tipo II: a seção vertical é finalizada pelo KOP, normalmente raso. Em seguida, há uma seção de *buildup*, um trecho tangente, uma seção de *drop off*, finalizando com uma seção tangente opcional;
- Tipo III: idêntico ao Tipo I, entretanto o objetivo é atingido na seção de *buildup*, ou seja, na fase de crescimento de inclinação.

A Figura 7 demonstra os três tipos principais de poços direcionais de acordo com a trajetória.

Figura 7 – Tipos de poços direcionais.



Fonte: Thomas, 2004.

### 3.4.PROJETO DE POÇOS

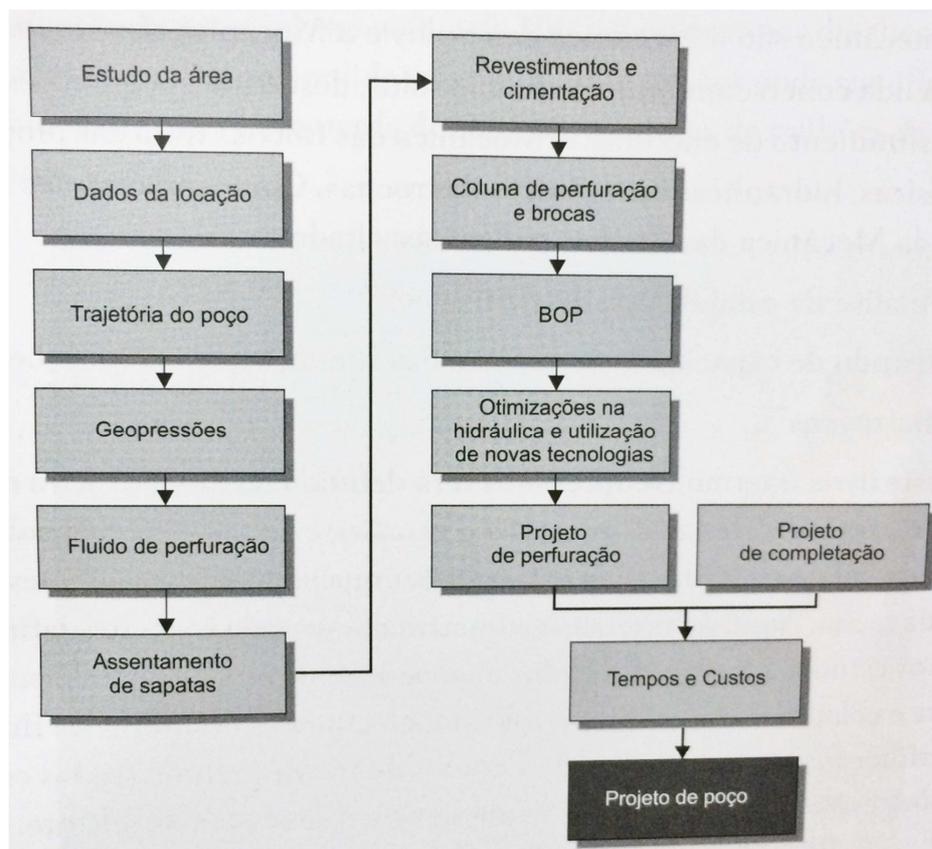
O projeto de um poço de petróleo é uma das etapas de planejamento para a sua construção e corresponde a um dos principais aspectos da engenharia de perfuração. Nesta etapa, é realizado o detalhamento das fases de perfuração e completação do poço. Independentemente da finalidade da perfuração (exploratória ou de desenvolvimento), este detalhamento é de grande importância para a determinação do tempo e do custo e, conseqüentemente, para a avaliação da viabilidade técnica e econômica.

Embora os métodos e práticas para o projeto do poço possam variar na indústria, o resultado final deve ser uma perfuração segura, economicamente viável e que satisfaça os requerimentos das áreas de geologia e de reservatórios. Quanto melhor o planejamento de um poço, maiores serão as chances de se obter sucesso na perfuração. Onde sucesso, nesse contexto, significa atingir os objetivos do projeto respeitando as normas de segurança vigentes e com custos compatíveis com os do mercado.

Vale ressaltar que o planejamento adequado da perfuração de um poço pode evitar problemas futuros, minimizando a possibilidade de gastos extras para solucioná-los. Entre esses problemas, pode-se citar acidentes de trabalho envolvendo profissionais da área e problemas com a segurança do poço, como a ocorrência de *blowouts*.

A Figura 8, a seguir, demonstra, de forma resumida, um esquema para elaboração do projeto de poço.

Figura 8 – Fluxo de trabalho para o projeto de um poço.



Fonte: Rocha *et al*, 2009.

O estudo da área onde o poço será perfurado é o primeiro passo de um projeto de poço. Nessa etapa é realizado um estudo do cenário geológico e um levantamento do histórico de poços já perfurados na região. Os registros de produção da área de interesse podem fornecer pistas importantes sobre o comportamento da formação e dos fluidos nela existentes, evitando problemas futuros durante a perfuração.

Após o estudo da área, são realizados o levantamento e a análise dos dados da locação, fase extremamente importante para o projeto do poço, pois quanto maior a quantidade de informações disponíveis, menores serão os riscos e maiores as chances de sucesso.

As informações geológicas e o conhecimento da profundidade do objetivo e da geometria esperada para o reservatório servem como base para a definição do posicionamento

da cabeça do poço e escolha da melhor trajetória para que o poço atinja a potencial zona produtora.

Com a trajetória do poço escolhida, é realizado o estudo das geopressões, que consiste no cálculo das pressões e tensões existentes no subsolo e daquelas que são impostas às formações, que podem, inclusive, levar à falha da rocha, sendo elas: pressão de sobrecarga, pressão de poros, pressão de colapso e pressão de fratura.

As pressões de poros, de colapso e de fratura, em conjunto, determinam a janela operacional do poço, ou seja, indicam o intervalo permitido para a variação da pressão exercida pelo fluido de perfuração para manter a integridade do poço. Além disso, a janela operacional define a profundidade de assentamento das sapatas, que define as profundidades dos revestimentos, estabelecendo as fases de perfuração do poço. Fazendo a escolha dos revestimentos e a posição das sapatas é possível fazer o projeto de cimentação do poço.

Estimando as propriedades da formação, como dureza, resistência e abrasão, é possível fazer a escolha do programa de brocas. A escolha correta das brocas utilizadas durante a perfuração é um fator determinante para um bom desempenho da operação e um fator de grande relevância no custo. Após a finalização do programa de brocas, é definida a composição da coluna de perfuração.

O projeto é finalizado com a determinação do programa de perfuração e do programa de completação do poço.

### 3.5. ANÁLISE ECONÔMICA

Quando existe mais de uma opção para a execução de um projeto, utiliza-se a engenharia econômica para decidir sobre as propostas possíveis e tecnicamente corretas. Os conceitos utilizados para a tomada de decisão pela engenharia econômica são baseados nos fundamentos da matemática financeira, e podem ser utilizados tanto para empresas privadas quanto para estatais.

Um estudo adequado de engenharia econômica inclui um problema a resolver ou uma função a executar, as diversas soluções possíveis, a avaliação de cada alternativa, com a

determinação de suas vantagens e desvantagens, e, por fim, a comparação e escolha da melhor alternativa.

Para realizar a análise, considera-se que o custo total de um projeto é dado pelo somatório dos diferentes custos incidentes. Estes custos precisam ser determinados e estudados separadamente, para que os resultados apresentados sejam satisfatórios. Dessa forma, a seguir, estão detalhados os tipos de custos que podem ser considerados na análise:

- Custos não recorrentes: são aqueles que incidem apenas uma vez no projeto e não variam com o tempo. Entretanto, estão presentes durante toda a operação. Entre eles, pode-se citar: custo com materiais (revestimento, brocas, cabeça de poço);
- Custos diários: são aqueles que variam com o tempo, ou seja, o valor varia de acordo com o tempo de perfuração. Pode-se considerar como custo diário: DTM (Desmontagem, Transporte e Montagem), pessoal de sondagem, amortização e seguro de equipamentos.

Na perfuração de poços, é de extrema importância a análise econômica de todos dos custos envolvidos, visando a redução do custo final do projeto. Para isso, é preciso que os métodos de perfuração utilizados sejam otimizados, sem que se comprometa os equipamentos utilizados na operação, cuja capacidade é limitada devido aos fatores de segurança, que não devem ser ultrapassados ou desconsiderados.

---

**CAPÍTULO 4**  
**METODOLOGIA**

---

## **4. METODOLOGIA**

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para elaboração deste trabalho a partir das características e dos custos da perfuração de poços de petróleo.

### **4.1.DESCRICÃO DA SITUAÇÃO PROPOSTA**

Durante a exploração ou desenvolvimento dos campos, são avaliadas as necessidades de perfurar poços de petróleo. Neste momento, deve-se avaliar as possibilidades de perfuração existentes e realizar uma análise econômica para escolha da melhor alternativa.

Dessa forma, para elaboração deste trabalho, é considerado o interesse em se perfurar um novo objetivo e a possibilidade de realizar a perfuração direcional ou a perfuração vertical. Sendo que, para a construção de um poço direcional, é utilizada uma base e acesso já existente, realizando apenas o seu aprimoramento para a perfuração direcional. Enquanto que, para a perfuração vertical, deve-se construir uma nova base e acesso no novo local de interesse.

Para avaliação dessas duas possibilidades é utilizado um banco de dados da empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), que disponibilizou dados de 18 poços de um mesmo campo de petróleo, sendo nove poços verticais e nove poços direcionais.

### **4.2.POÇOS UTILIZADOS**

Os nomes dos poços apresentados a seguir são fictícios, pois a nomenclatura real é preservada para que os poços não sejam identificados.

A Tabela 2 apresenta os nomes criados para diferenciação dos poços verticais e direcionais neste trabalho.

Tabela 2 – Nomenclatura dos poços.

<b>Poços Verticais</b>	<b>Poços Direcionais</b>
TCC-1V-RN	TCC-1D-RN
TCC-2V-RN	TCC-2D-RN
TCC-3V-RN	TCC-3D-RN
TCC-4V-RN	TCC-4D-RN
TCC-5V-RN	TCC-5D-RN
TCC-6V-RN	TCC-6D-RN
TCC-7V-RN	TCC-7D-RN
TCC-8V-RN	TCC-8D-RN
TCC-9V-RN	TCC-9D-RN

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Todos os poços utilizados para esta análise pertencem a um mesmo campo que, devido a privacidade de dados da Petrobras, não é identificado. Além disso, todas as perfurações ocorreram em um mesmo semestre do ano de 2013.

Os poços utilizados possuem uma única fase, com diâmetro de revestimento de 7” (sete polegadas). Além disso, o tipo de fluido utilizado é o mesmo para todos os poços, sendo do tipo aquoso de base catiônica.

A sondas podem ser contratadas ou próprias da empresa (Petrobras). A escolha entre a utilização de uma sonda própria ou contratada é realizada de acordo com a disponibilidade e conveniência para a empresa.

A Tabela 3, demonstra as principais características dos poços verticais utilizados. Entre essas características estão a apropriação da sonda, a profundidade vertical, a profundidade medida, o tempo de perfuração e a área da locação. Já a Tabela 4, mostra as mesmas características para os poços direcionais.

Tabela 3 - Principais características dos poços verticais.

<b>Poços Verticais</b>	<b>Apropriação da Sonda</b>	<b>Profundidade Vertical (m)</b>	<b>Profundidade de Medida (m)</b>	<b>Tempo de Perfuração (dias)</b>	<b>Área da Locação (m<sup>2</sup>)</b>
TCC-1V-RN	Contratada	256	256	3,6	1924
TCC-2V-RN	Contratada	257	257	3,6	1908
TCC-3V-RN	Contratada	244	244	3,6	3240
TCC-4V-RN	Própria	256	256	3,5	2940
TCC-5V-RN	Contratada	244	244	3,6	2067
TCC-6V-RN	Própria	262	262	3,5	2640
TCC-7V-RN	Própria	264	264	3,3	4465
TCC-8V-RN	Própria	260	260	3,6	2940
TCC-9V-RN	Própria	260	260	3,7	2891

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 4 - Principais características dos poços direcionais.

<b>Poços Direcionais</b>	<b>Apropriação da Sonda</b>	<b>Profundidade Vertical (m)</b>	<b>Profundidade de Medida (m)</b>	<b>Tempo de Perfuração (dias)</b>	<b>Área da Locação (m<sup>2</sup>)</b>
TCC-1D-RN	Própria	256	275	3,6	2295
TCC-2D-RN	Própria	250	252	3,7	3300
TCC-3D-RN	Própria	253	273	4,6	3500
TCC-4D-RN	Própria	262	263	3,7	2750
TCC-5D-RN	Contratada	247	267	5,2	2592
TCC-6D-RN	Contratada	245	275	4,9	2700
TCC-7D-RN	Contratada	241	270	4,5	2580
TCC-8D-RN	Contratada	243	268	4,0	2580
TCC-9D-RN	Contratada	248	279	4,8	2580

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 4.3.DADOS DE CUSTOS DOS POÇOS

#### 4.3.1. Custo Total dos Poços

Para preservação dos dados, os custos dos poços foram normalizados a partir do poço mais barato. Dessa maneira, o custo total dos poços foi calculado a partir de um custo total relativo. Ou seja, é considerado um valor para o poço com custo total relativo igual a 1,0 e, a partir disso, o custo total dos outros poços é calculado com relação a ele.

A Tabela 5 demonstra o custo total relativo para os poços verticais e direcionais.

Tabela 5 – Custo total relativo dos poços verticais e direcionais.

<b>Poços Verticais</b>	<b>Custo Total Relativo</b>	<b>Poços Direcionais</b>	<b>Custo Total Relativo</b>
TCC-1V-RN	1,185530	TCC-1D-RN	1,729458
TCC-2V-RN	1,275427	TCC-2D-RN	1,554373
TCC-3V-RN	1,000000	TCC-3D-RN	1,723514
TCC-4V-RN	1,391665	TCC-4D-RN	1,569098
TCC-5V-RN	1,016167	TCC-5D-RN	1,333224
TCC-6V-RN	1,448105	TCC-6D-RN	1,330690
TCC-7V-RN	1,405591	TCC-7D-RN	1,239460
TCC-8V-RN	1,280868	TCC-8D-RN	1,220081
TCC-9V-RN	1,309048	TCC-9D-RN	1,319615

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Dessa forma, arbitrando que o custo total do poço TCC-3V-RN, cujo custo total relativo igual a 1,0, seja de US\$ 200.000, calcula-se o custo total dos outros poços com base neste valor. A Tabela 6, exhibe os custos totais para cada poço (verticais e direcionais).

Tabela 6 – Custo total dos poços verticais e direcionais.

<b>Poços Verticais</b>	<b>Custo Total (US\$)</b>	<b>Poços Direcionais</b>	<b>Custo Total (US\$)</b>
TCC-1V-RN	237.106,00	TCC-1D-RN	345.891,60
TCC-2V-RN	255.085,40	TCC-2D-RN	310.874,60
TCC-3V-RN	200.000,00	TCC-3D-RN	344.702,80
TCC-4V-RN	278.333,00	TCC-4D-RN	313.819,60
TCC-5V-RN	203.233,40	TCC-5D-RN	266.644,80
TCC-6V-RN	289.621,00	TCC-6D-RN	266.138,00
TCC-7V-RN	281.118,20	TCC-7D-RN	247.892,00
TCC-8V-RN	256.173,60	TCC-8D-RN	244.016,20
TCC-9V-RN	261.809,60	TCC-9D-RN	263.923,00

Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 4.3.2. Distribuição do Custo

O custo total do poço é distribuído, em determinadas porcentagens, entre as atividades necessárias para a realização da perfuração. Neste caso, a distribuição é feita entre:

- Base e acesso;
- Cravação;
- Sonda;
- Serviços e materiais da perfuração;
- Serviços e materiais de fluido;
- Direcional;
- Perfilagem;
- Revestimento e cimentação;
- Projeto e acompanhamento; e
- Transporte.

Os custos com base e acesso são aqueles referentes à construção do local onde ficará a sonda de perfuração e o acesso à esta base. Neste custo, estão inclusos os equipamentos, os materiais e os profissionais necessários para essa operação, sendo que o principal fator para aumento dos gastos é o transporte do material utilizado e a sua compactação.

A cravação é a operação utilizada para assentar o primeiro revestimento no poço, o revestimento condutor, com a finalidade de sustentar sedimentos superficiais não consolidados. Sendo assim, os custos relacionados à cravação são referentes ao revestimento condutor e aos serviços prestados pela companhia contratada e seus profissionais.

Os custos com a sonda de perfuração são referentes aos serviços contratados, como profissionais para operar a sonda, e à locação da sonda de perfuração, que é paga por dia, sendo o custo proporcional à quantidade de dias que a sonda permanecerá em operação no poço.

Os materiais de perfuração são aqueles relacionados a operação de perfuração, no geral, como broca, diesel, ferramentas alugadas. Os custos relacionados aos serviços de perfuração são referentes aos profissionais necessários para realizar essa operação.

Os custos de serviços e materiais de fluido são aqueles relacionados a elaboração do fluido de perfuração, de acordo com as características planejadas, e às companhias que prestam serviços, como secador de cascalhos e sistema de tratamento especial, que possuem o custo proporcional à quantidade de dias que permanecem no poço.

O custo para serviços com direcional não existe para poços verticais, uma vez que este é um custo específico de poços direcionais, que necessitam serviços e equipamentos específicos para ganho de ângulo. Neste caso, estão os custos com as ferramentas necessárias para construção do direcional e acompanhamento da equipe específica de direcional, que é paga de acordo com a quantidade de dias que permanece no poço.

Segundo Thomas (2004), o perfil de um poço é a imagem visual, em relação à profundidade, de uma ou mais características ou propriedades das rochas perfuradas. Sendo assim, os custos relacionados a perfilagem são referentes aos equipamentos utilizados para elaboração do perfil do poço e aos profissionais necessários para leitura e interpretação desses perfis.

Os custos com revestimentos são relacionados às colunas de revestimento e ao assentamento das mesmas, e, também, aos profissionais necessários para realizar essa operação. Já os custos com cimentação são relacionados a elaboração e bombeio da pasta de cimento, e da contratação dos profissionais para realizar essa operação, que, em geral, são de uma companhia contratada.

O projeto de poço ocorre antes da realização da perfuração. Neste caso, os custos com o projeto são referentes ao estudo e pesquisa da área, levantamento de dados da locação, estudo da trajetória do poço, determinação das geopressões, elaboração do programa de fluido de perfuração e suas características, profundidade de assentamento das sapatas, especificação dos revestimentos, projeto de cimentação do poço, programa de brocas do poço, definição da coluna de perfuração, dimensionamento do BOP (*Blowout Preventer* – Preventor de Erupções), elaboração do programa de perfuração e completação e, por fim, estimativa de tempo e custo para execução do projeto.

O acompanhamento, por sua vez, consiste em acompanhar a execução das operações planejadas. Sendo os seus custos relacionados aos profissionais necessários para realizar este acompanhamento, como fiscais de campo ou suporte técnico no escritório.

O custo de transporte está relacionado a condução de materiais, equipamentos e profissionais necessários para realizar as operações.

As Tabelas 7 e 8, a seguir, demonstram a porcentagem do custo total destinada para cada operação realizada na perfuração vertical e perfuração direcional, respectivamente. As Tabelas 9 e 10, por sua vez, mostram os valores em dólares de cada operação dos poços verticais e direcionais, considerando o custo do poço TCC-3V-RN de US\$ 200.000,00.

É possível notar através das Tabelas 7 e 8 que, para alguns poços, não há custo com transporte. Ou seja, 0,0% do orçamento é destinado para esse fim. Isso pode ocorrer devido a alocação desses custos nas outras operações em questão. Além disso, para o poço TCC-2D-RN (Tabela 8), 0,0% do orçamento é destinado para cravação. Neste caso, essa operação pode ter sido realizada pela sonda.

Vale ressaltar a importância de saber mais detalhes sobre os poços em questão para poder realizar uma análise detalhada e precisa dos mesmos.

Tabela 7 – Porcentagem do custo total para cada operação da perfuração vertical.

Poços Verticais	Base e Acesso (%)	Cravação (%)	Sonda (%)	Serviços e Materiais de Perfuração (%)		Serviços e Materiais de Fluido (%)		Perfilagem (%)	Direcional (%)	Revestimento e Cimentação (%)	Projeto e Acompanhamento (%)	Transporte (%)
				Materiais de Perfuração (%)	Serviços e Materiais de Fluido (%)							
TCC-1V-RN	6,1	11,7	27,3	0,2	7,8	2,2	0,00	26,1	18,6	0,0		
TCC-2V-RN	4,7	9,3	22,2	1,5	3,4	3,1	0,00	26,5	26,8	2,5		
TCC-3V-RN	11,9	4,9	20,5	1,5	1,5	4,0	0,00	28,6	24,5	2,5		
TCC-4V-RN	9,2	4,2	34,6	2,9	3,0	2,9	0,00	21,3	17,7	4,2		
TCC-5V-RN	5,0	4,7	27,1	1,6	5,6	2,6	0,00	29,0	23,8	0,6		
TCC-6V-RN	9,7	3,8	30,9	7,1	6,0	2,6	0,00	17,8	17,0	5,2		
TCC-7V-RN	11,2	4,0	31,8	2,6	3,6	2,3	0,00	25,3	17,3	1,9		
TCC-8V-RN	7,4	4,4	38,6	2,3	4,4	1,9	0,00	22,1	16,5	2,4		
TCC-9V-RN	7,7	4,1	38,3	4,0	6,1	1,9	0,00	20,8	14,4	2,7		

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 8 – Porcentagem do custo total para cada operação da perfuração direcional.

Poços Direcionais	Base e		Serviços e			Serviços e			Revestimento e Cimentação (%)	Projeto e Acompanhamento (%)	Transporte (%)
	Acesso (%)	Cravação (%)	Sonda (%)	Materiais de Perfuração (%)	Materiais de Fluido (%)	Perfilagem (%)	Direcional (%)				
TCC-1D-RN	2,6	4,0	30,8	4,9	2,8	1,6	7,6	16,2	29,6	0,0	
TCC-2D-RN	3,2	0,0	33,2	0,5	3,2	2,6	7,6	17,7	28,3	3,8	
TCC-3D-RN	4,6	6,0	39,1	2,1	3,0	2,6	12,8	14,9	13,0	1,9	
TCC-4D-RN	5,3	3,9	33,0	3,5	0,8	2,7	11,6	21,1	17,2	0,7	
TCC-5D-RN	1,8	3,5	28,7	2,3	5,7	1,9	15,3	17,5	18,7	4,5	
TCC-6D-RN	1,4	0,2	26,4	2,6	4,4	5,3	12,5	22,1	25,1	0,0	
TCC-7D-RN	2,6	5,7	24,0	4,1	2,0	2,0	15,0	19,5	20,1	5,0	
TCC-8D-RN	5,4	5,9	21,3	8,9	6,6	4,1	12,8	16,0	15,6	3,5	
TCC-9D-RN	3,7	3,5	25,6	3,9	4,4	4,0	15,0	20,6	19,4	0,0	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 9 - Custos das operações realizadas nos poços verticais.

Poços Verticais	Base e Acesso (US\$)	Cravação (US\$)	Sonda (US\$)	Serviços e		Perfilagem (US\$)	Direcional (US\$)	Revestimento e Cimentação (US\$)	Projeto e Acompanhamento (US\$)	Transporte (US\$)	Total (US\$)
				Perfuração (US\$)	de Materiais de Fluido (US\$)						
TCC-1V-RN	14.463,47	27.741,40	64.729,94	474,21	18.494,27	5.216,33	0,00	61.884,67	44.101,72	0,00	237.106,00
TCC-2V-RN	11.989,01	23.722,94	56.628,96	3.826,28	8.672,90	7.907,65	0,00	67.597,63	68.362,89	6.377,14	255.085,40
TCC-3V-RN	23.800,00	9.800,00	41.000,00	3.000,00	3.000,00	8.000,00	0,00	57.200,00	49.000,00	5.000,00	200.000,00
TCC-4V-RN	25.606,64	11.689,99	96.303,22	8.071,66	8.349,99	8.071,66	0,00	59.284,93	49.264,94	11.689,99	278.333,00
TCC-5V-RN	10.161,67	9.551,97	55.076,25	3.251,73	11.381,07	5.284,07	0,00	58.937,69	48.369,55	1.219,40	203.233,40
TCC-6V-RN	28.093,24	11.005,60	89.492,89	20.563,09	17.377,26	7.530,15	0,00	51.552,54	49.235,57	15.060,29	289.621,00
TCC-7V-RN	31.485,24	11.244,73	89.393,59	7.309,07	10.120,26	6.465,72	0,00	71.122,90	48.633,45	5.341,25	281.118,20
TCC-8V-RN	18.956,85	11.271,64	98.883,01	5.891,99	11.271,64	4.867,30	0,00	56.614,37	42.268,64	6.148,17	256.173,60
TCC-9V-RN	20.159,34	10.734,19	100.273,08	10.472,38	15.970,39	4.974,38	0,00	54.456,40	37.700,58	7.068,86	261.809,60

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 10 - Custos das operações realizadas nos poços direcionais.

Poços Direcionais	Base e Acesso (US\$)	Cravação (US\$)	Sonda (US\$)	Serviços e Materiais		Perfilagem (US\$)	Direcional (US\$)	Revestimento e Cimentação (US\$)	Projeto e Acompanhamento (US\$)	Transporte (US\$)	Total (US\$)
				de Perfuração (US\$)	Serviços e Materiais de Fluido (US\$)						
TCC-1D-RN	8.993,18	13.835,66	106.534,61	16.948,69	9.684,96	5.534,27	26.287,76	56.034,44	102.383,91	0,00	345.891,60
TCC-2D-RN	9.947,99	0,00	103.210,37	1.554,37	9.947,99	8.082,74	23.626,47	55.024,80	87.977,51	11.813,23	310.874,60
TCC-3D-RN	15.856,33	20.682,17	134.778,79	7.238,76	10.341,08	8.962,27	44.121,96	51.360,72	44.811,36	6.549,35	344.702,80
TCC-4D-RN	16.632,44	12.238,96	103.560,47	10.983,69	2.510,56	8.473,13	36.403,07	66.215,94	53.976,97	2.196,74	313.819,60
TCC-5D-RN	4.799,61	9.332,57	76.527,06	6.132,83	15.198,75	5.066,25	40.796,65	46.662,84	49.862,58	11.999,02	266.644,80
TCC-6D-RN	3.725,93	532,28	70.260,43	6.919,59	11.710,07	14.105,31	33.267,25	58.816,30	66.800,64	0,00	266.138,00
TCC-7D-RN	6.445,19	14.129,84	59.494,08	10.163,57	4.957,84	4.957,84	37.183,80	48.338,94	49.826,29	12.394,60	247.892,00
TCC-8D-RN	13.176,87	14.396,96	51.975,45	21.717,44	16.105,07	10.004,66	31.234,07	39.042,59	38.066,53	8.540,57	244.016,20
TCC-9D-RN	9.765,15	9.237,31	67.564,29	10.293,00	11.612,61	10.556,92	39.588,45	54.368,14	51.201,06	0,00	263.923,00

Fonte: Elaborado pelo Autor.

---

**CAPÍTULO 5**

**RESULTADOS E DISCUSSÕES**

---

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos a partir da análise dos custos da perfuração.

### **5.1. PROFUNDIDADE DE PERFURAÇÃO**

Considerando-se as duas formas de medição da profundidade de perfuração, profundidade vertical e profundidade medida, sabe-se que para um poço vertical, essas profundidades são iguais. Já para poços direcionais, a profundidade vertical é menor que a profundidade medida, uma vez que a broca percorre uma distância maior para chegar até o seu objetivo.

De acordo com os dados de profundidade vertical e profundidade medida, pode-se inferir que a média total das profundidades medidas dos poços é 263 metros e a média total das profundidades verticais é 253 metros.

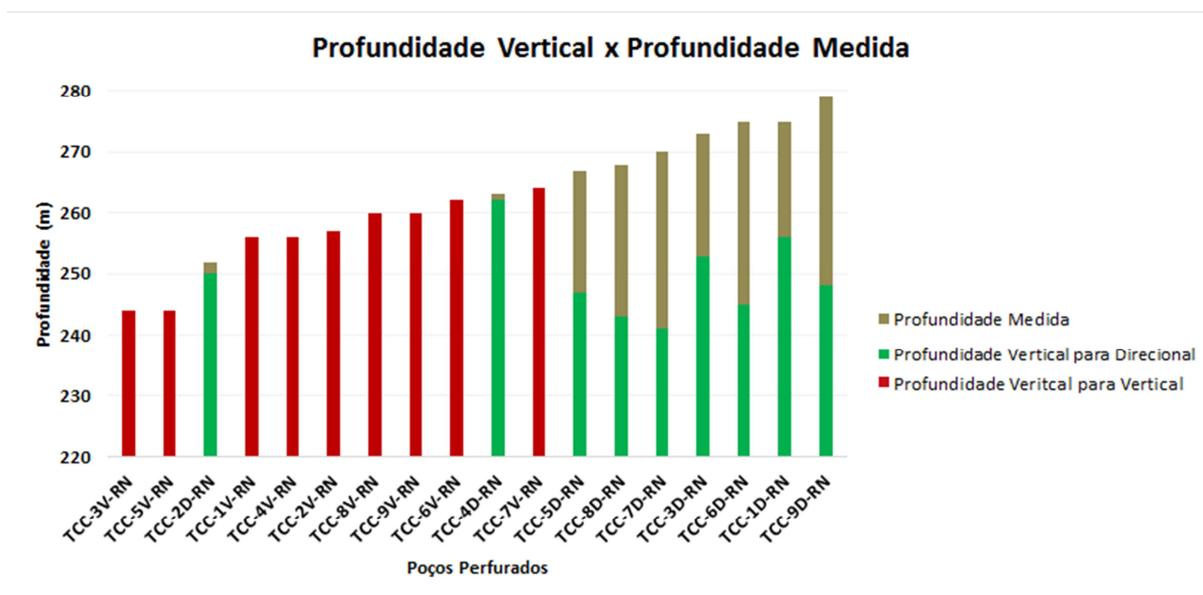
Ao considerar somente os poços verticais, a média de profundidade medida é 256 metros. Onde os poços TCC-3V-RN e TCC-5V-RN possuem a menor profundidade medida, equivalente a 244 metros. E, o poço TCC-7V-RN de maior profundidade medida, sendo igual a 264 metros.

Ao considerar somente os poços direcionais, a média de profundidade medida é 269 metros. Sendo o poço TCC-2D-RN de profundidade medida igual 252 metros, o menor poço. E o poço TCC-9D-RN de profundidade medida igual 279 metros, o maior.

Dessa forma, pode-se perceber que os poços direcionais, para o banco de dados em questão, possuem uma profundidade medida maior do que os poços verticais.

Isto pode ser visto na Figura 9, a seguir. Onde as colunas em vermelho representam a poços verticais e as colunas em verde os poços direcionais. Em verde escuro, está colocada a diferença entre a profundidade medida e a profundidade vertical.

Figura 9 - Gráfico da profundidade vertical x profundidade medida para poços verticais e direcionais.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 5.2. TEMPO DE PERFURAÇÃO

O tempo de perfuração é a quantidade de dias necessária para concluir a operação de perfuração. Considerando-se as mesmas condições da formação e profundidades verticais similares, esse tempo é, normalmente, maior para a perfuração direcional, que requer uma atenção especial para a mudança de ângulo.

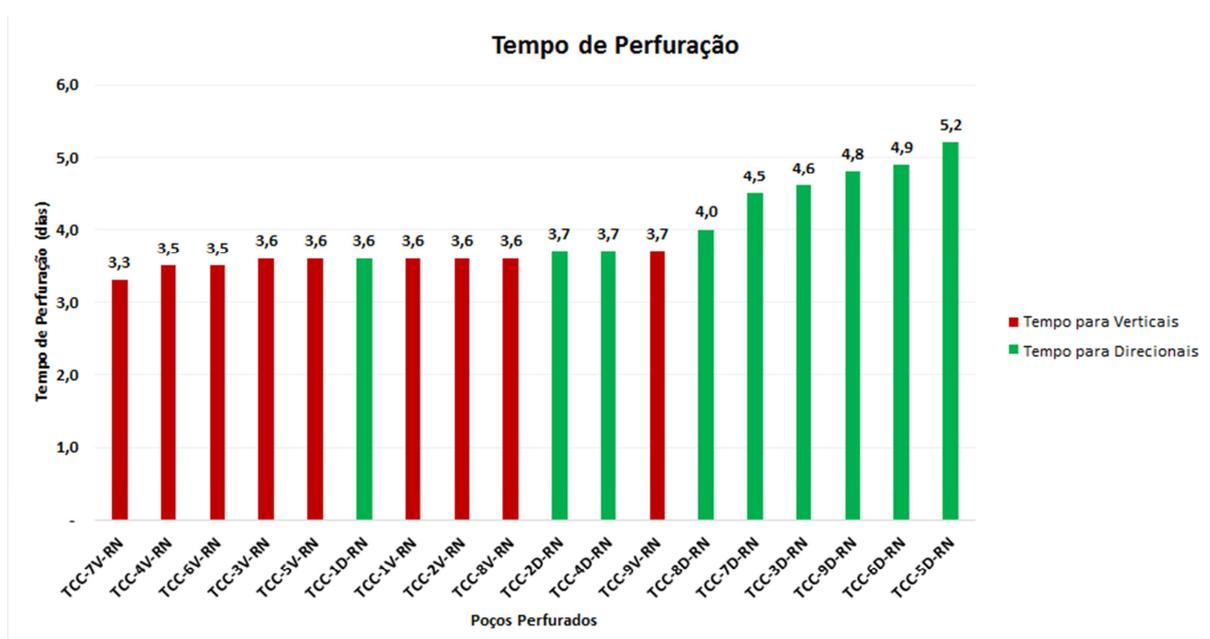
A média do tempo de perfuração dos poços em questão é igual a 3,9 dias, quando considerados os poços verticais e direcionais. Nesse caso, o poço com o menor tempo de perfuração é o TCC-7V-RN, que levou 3,3 dias para ser perfurado. Já o poço com maior tempo de perfuração é o TCC-5D-RN, com 5,2 dias de perfuração.

Ao considerar somente os poços verticais, obtém-se uma média de 3,6 dias para concluir a perfuração. Sendo o poço TCC-7V-RN, o que finalizou a perfuração mais rápido, em 3,3 dias, e o poço TCC-9V-RN, o que demorou mais para finalizar a perfuração, com 3,7 dias para concluir a operação.

Considerando somente os poços direcionais, a média do tempo de perfuração é igual a 4,3 dias. Onde o poço TCC-1D-RN, concluiu a operação em 3,6 dias, sendo o mais rápido. Já o poço TCC-5D-RN é o poço com maior tempo de perfuração, igual a 5,2 dias.

Dessa forma, pode-se perceber que os poços direcionais, em geral, possuem um tempo de perfuração maior que os poços verticais. Estas informações podem ser comprovadas pela Figura 10, onde as colunas em vermelho representam a perfuração vertical e as colunas em verde representam a perfuração direcional.

Figura 10 – Gráfico do tempo de perfuração dos poços verticais e direcionais.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

É importante ressaltar que, o tempo de perfuração considerado, inclui o tempo com DTM (Desmontagem, Transporte e Montagem), montagem do *blowout preventer* (BOP), e descida do revestimento. Dessa forma, este tempo não é igual ao tempo de penetração. Entretanto, para fins de comparação e análise entre os poços disponíveis, este tempo foi considerado.

A razão profundidade medida por hora é uma taxa importante, pois permite saber quantos metros foram perfurados a cada hora de operação.

Analisando os dados disponíveis, pode-se inferir que a média de metros perfurados a cada hora, para os poços verticais, é igual a 3,0 metros por hora. Sendo o poço TCC-3V-RN, o que demorou mais para avançar, perfurando 2,8 metros por hora, e o poço TCC-7V-RN, o que avançou mais rapidamente, 3,3 metros por hora.

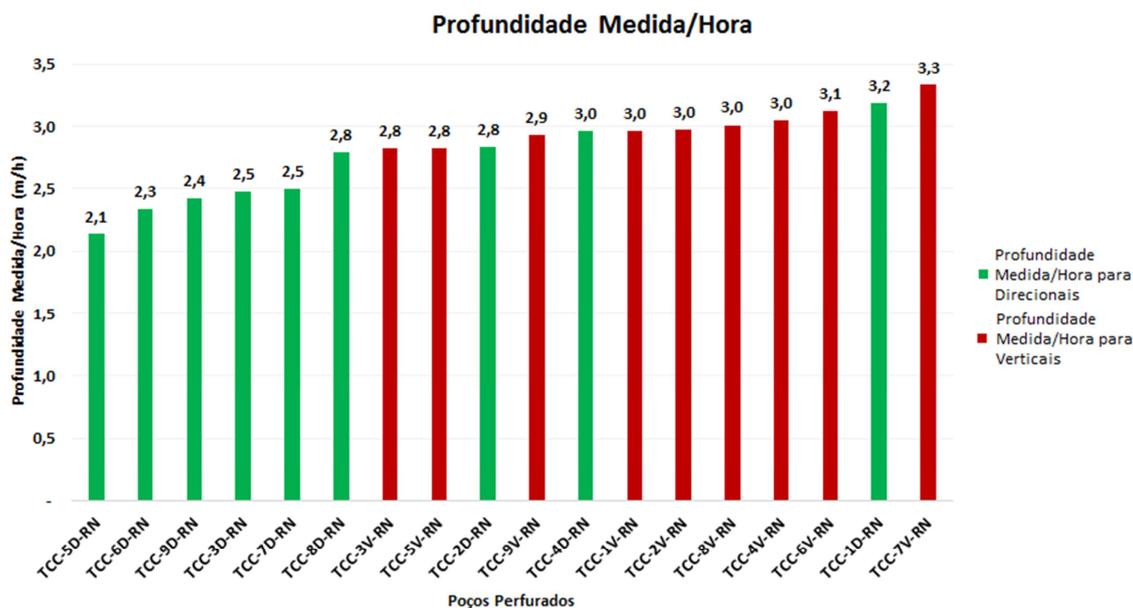
Já a média de metros perfurados a cada hora, para os poços direcionais, é 2,6 metros por hora. Sendo o poço TCC-5D-RN o que perfurou demorou mais para avançar, com 2,1 metros por hora, e o poço TCC-1D-RN, o que avançou mais rapidamente, perfurando a uma taxa de 3,2 metros por hora.

Com isso, pode-se inferir que os poços direcionais demoram mais para avançar na perfuração que os poços verticais. Entretanto, é importante ressaltar o bom desempenho do poço TCC-1D-RN na perfuração. Pois, apesar de ser o segundo em maior profundidade medida (275 metros), concluiu a perfuração em um tempo de 3,6 dias, o menor tempo entre os poços direcionais. Com isso, é o poço com maior razão de profundidade medida por hora, entre os direcionais, sendo igual a 3,2 metros por hora.

Vale salientar, neste caso, a importância de ter mais conhecimento do banco de dados. Como, por exemplo, o acesso aos boletins de perfuração, locações anteriores do poço, informações de DTM (Desmontagem, Transporte e Montagem) e forma de acompanhamento do poço. Essas informações, em conjunto, permitem maior eficácia na análise dos dados.

Essas informações podem ser confirmadas pela Figura 11, que apresenta as taxas de profundidade medida por hora. Onde as colunas em verde representam os poços direcionais e as colunas em vermelho representam os poços verticais.

Figura 11 - Gráfico da razão profundidade medida por hora para poços verticais e direcionais.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.3.CUSTO DOS POÇOS

O custo total de um poço inclui todos os recursos necessários para a perfuração. Sendo eles, neste caso, base e acesso, cravação, sonda, serviços e materiais de perfuração e de fluido, serviços de direcional (para poços direcionais), perfilagem, revestimento e cimentação, projeto e acompanhamento, e transporte.

A sonda de perfuração pode ser contratada de uma empresa terceirizada ou ser própria da empresa. A escolha entre essas duas possibilidades é importante, pois o custo com a sonda representa, em média, 29,6% do orçamento de perfuração, de acordo com os dados dos poços em questão.

A média do custo total dos poços, considerando os poços verticais e direcionais, é igual a US\$ 270.345,60. Sendo o poço TCC-3V-RN, o mais barato, pois o custo para este poço foi arbitrado, custando US\$ 200.000,00. Já o poço TCC-1D-RN, o mais caro, custando US\$ 345.891,61. Ao considerar somente os poços verticais, a média do custo total é US\$ 251.386,69. Onde o poço mais caro é o TCC-6V-RN, com custo total de US\$ 289.621,00. Considerando somente os poços direcionais, a média do custo total é US\$ 289.322,51. Sendo

o poço mais caro o TCC-1D-RN, com custo total igual a US\$ 345.891,00, e o poço mais barato o TCC-8D-RN, com custo total igual a US\$ 244.016,20.

É importante observar que o poço TCC-1D-RN, que obteve um bom desempenho na perfuração, sendo o que perfurou mais metros por hora, é, também, o poço mais caro. Isso pode ocorrer, por exemplo, devido a um melhor projeto de poço e acompanhamento da perfuração, uma vez que esse poço gastou US\$ 102.383,91 com projeto e acompanhamento do poço. Uma diferença de US\$ 47.837,01 para a média total, que é igual US\$ 54.546,90, e de US\$ 46.359,05 para a média dos poços direcionais, que é US\$ 60.545,21.

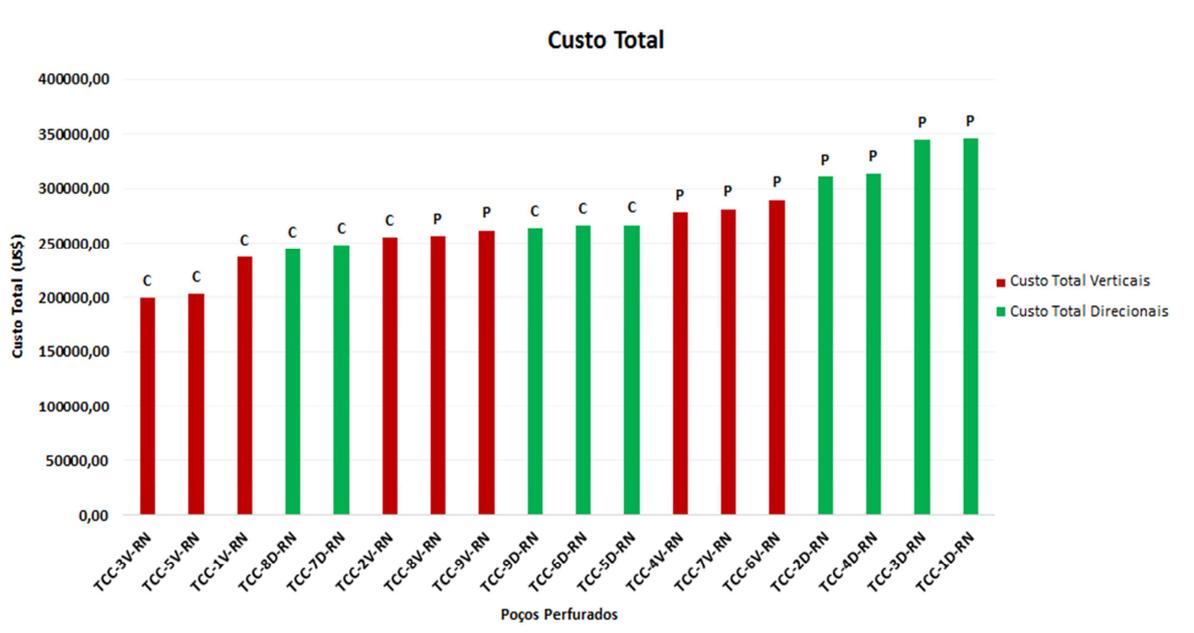
Vale ressaltar, que a média do custo dos poços direcionais é aproximadamente igual ao custo total do poço vertical mais caro. Nesse sentido, pode-se perceber que os poços direcionais são, em sua maioria, mais caros que os verticais. Isso ocorre, entre outros motivos, devido ao maior tempo de perfuração, que requer maior tempo de sonda no poço e, conseqüentemente, maior gasto. Além de maior gasto com revestimento e cimentação, uma vez que os poços direcionais são mais comprimidos, e, dessa forma, utilizam mais colunas de revestimento e maior quantidade de pasta de cimentação.

Entretanto, quando se escolhe realizar a perfuração direcional, outros fatores são levados em consideração além do custo. Isso porque, nem sempre é possível utilizar a perfuração vertical, como, por exemplo, quando se deseja perfurar locais inacessíveis, além de ser necessário avaliar a produção que cada tipo de trajetória proporcionará.

Ao considerar somente os poços perfurados com sondas próprias, pode-se perceber que os poços direcionais são mais caros que os poços verticais. O mesmo ocorre ao considerar somente as sondas contratadas.

A Figura 12 demonstra o custo total para cada poço graficamente e comprova que, para os dados disponíveis, os poços perfurados com sondas próprias são mais caros que os poços perfurados com sondas contratadas. Na figura, as colunas em vermelho representam os poços verticais e as colunas em verde representam os poços direcionais. A letra C indica a utilização de uma sonda contratada, enquanto a letra P indica a utilizada de uma sonda própria.

Figura 12 – Gráfico do custo total dos poços verticais e direcionais.



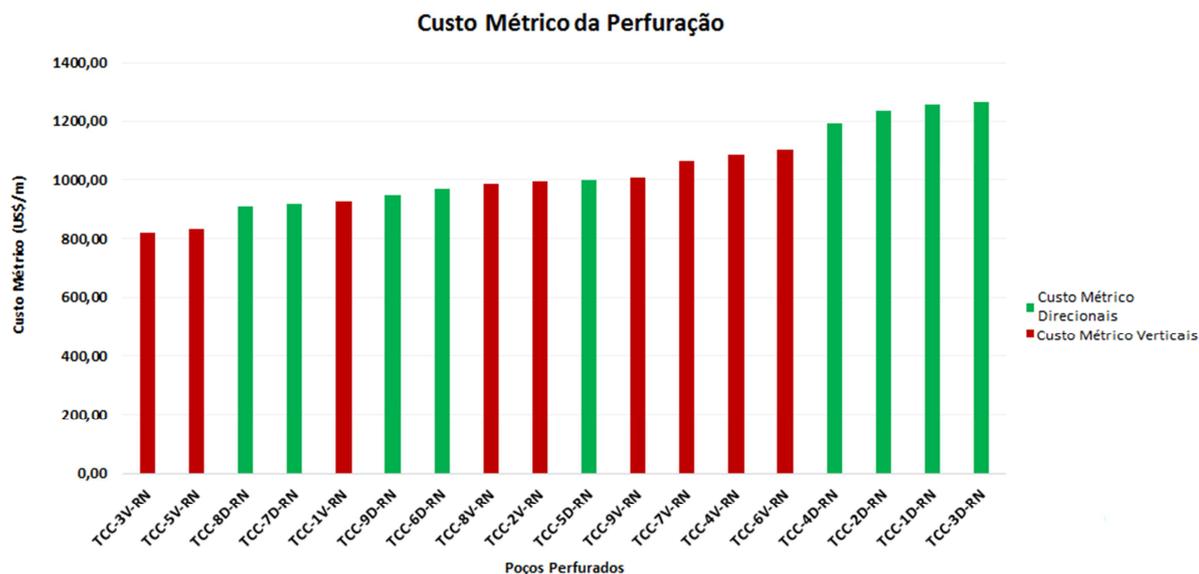
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pode-se analisar, também, o custo métrico dos poços. Este custo é dado pela razão entre o custo total dos poços e a profundidade medida. Com essa razão, é possível saber qual o custo de cada metro perfurado em cada poço analisado.

A média de custo métrico, considerando todos os poços, é igual a 1.028,30 US\$/m (dólares por metro). Sendo o poço com custo métrico mais barato, o TCC-3V-RN, que é, também, o poço com custo total menor, e possui uma razão de 819,67 US\$/m. O poço com custo métrico mais caro é o TCC-3D-RN, com 1.262,65 US\$/m. A média considerando apenas os poços direcionais é igual a 1.076,48 US\$/m, e o poço mais barato, neste caso, passa a ser o TCC-8D-RN, com 910,51 US\$/m de custo métrico. Já ao considerar somente os poços verticais, a média é 980,12 US\$/m, e o poço mais caro, neste caso, é o TCC-6V-RN, com 1.105,42 US\$/m.

Dessa forma, pode-se perceber que, os poços direcionais, em média, possuem o metro mais caro que os poços verticais para os dados analisados. Entretanto, isto não é verdade ao considerar todos os poços, como pode ser visto na Figura 13, a seguir.

Figura 13 - Gráfico do custo métrico para perfuração verticais e direcional.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.3.1. Base e Acesso

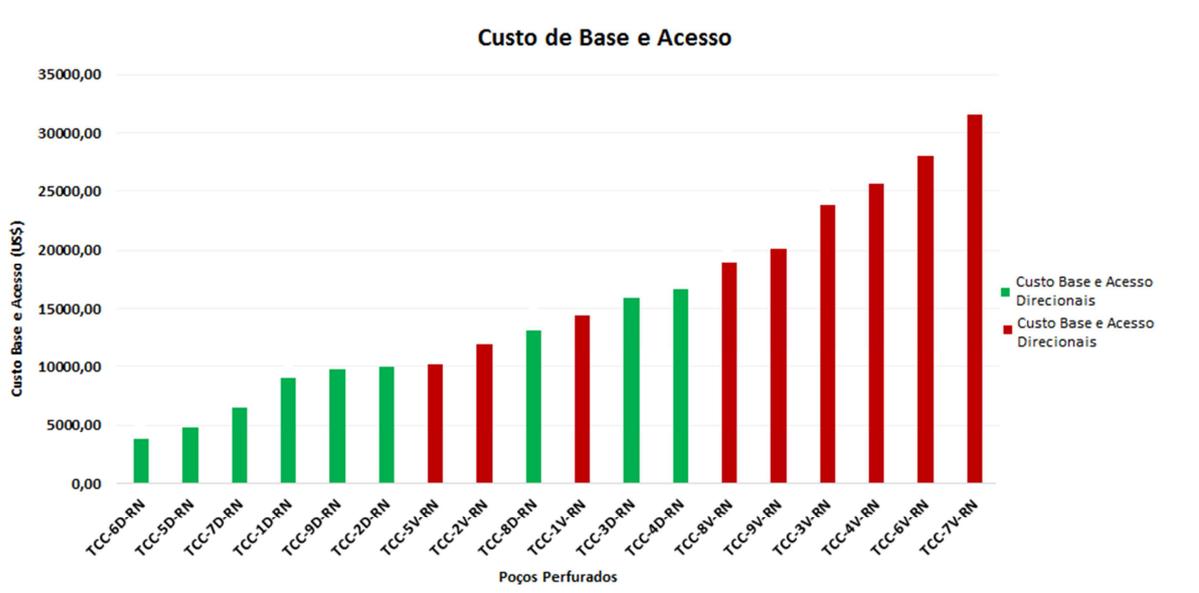
A base é o local preparado para instalação da sonda. Quando há o desejo em utilizar uma base já existente para perfuração de um novo poço, deve-se aprimorar esta base para realizar a nova perfuração. Nesse sentido, para os poços direcionais em questão, o custo de base e acesso é apenas o de aprimoramento, pois deseja-se utilizar uma base e acesso já existentes para realizar a perfuração direcional.

De acordo com os dados disponíveis, o custo para aprimoramento da base é, normalmente, menor que o custo de construção de uma nova base e acesso. Considerando apenas os poços direcionais, a média do custo para aprimoramento de base e acesso é US\$ 9.926,97, sendo o poço TCC-6D-RN, de menor custo, e igual a US\$ 3.725,93, e o poço TCC-4D-RN, de maior custo, igual a US\$ 16.623,44.

Ao considerar somente os poços verticais, a média do custo para construção de uma nova base é US\$ 20.523,94. Sendo o poço com base e acesso mais barata o TCC-5V-RN, com custo igual a US\$ 10.161,67, e a base mais cara a do TCC-7V-RN, com custo de base e acesso igual a US\$ 31.485,24.

Isso é comprovado pela Figura 14, onde as colunas em vermelho representam os custos de uma nova base, utilizada para perfuração de um poço vertical em um novo local de interesse. Enquanto as colunas em verde representam o custo de aprimoramento de uma base já existente para construção de um poço direcional.

Figura 14 – Gráfico do custo de base e acesso para poços verticais e direcionais.

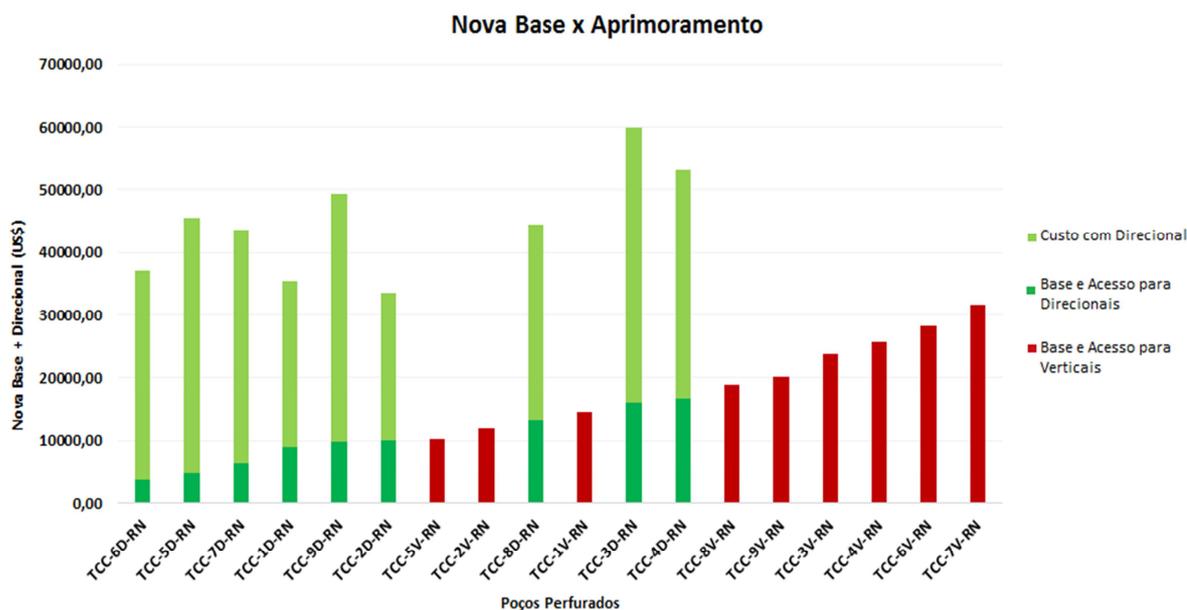


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Caso a decisão entre a perfuração direcional e a perfuração vertical dependa apenas do custo dos poços, para que a construção do poço direcional, com o aprimoramento da base, seja economicamente viável, a soma dos custos de aprimoramento com os serviços de direcional deve ser menor que os custos para construção de uma nova base, utilizada para perfuração vertical.

A Figura 15, demonstra que, para os poços em questão, o aprimoramento da base não é vantajoso em nenhum caso analisado. Nesta figura, as colunas em verde representam os poços direcionais, e mostram a soma dos custos de aprimoramento e serviços de direcional. Enquanto as colunas em vermelho representam os poços verticais e os custos para a construção de uma nova base.

Figura 15 – Gráfico do custo de nova base x aprimoramento de base existente.

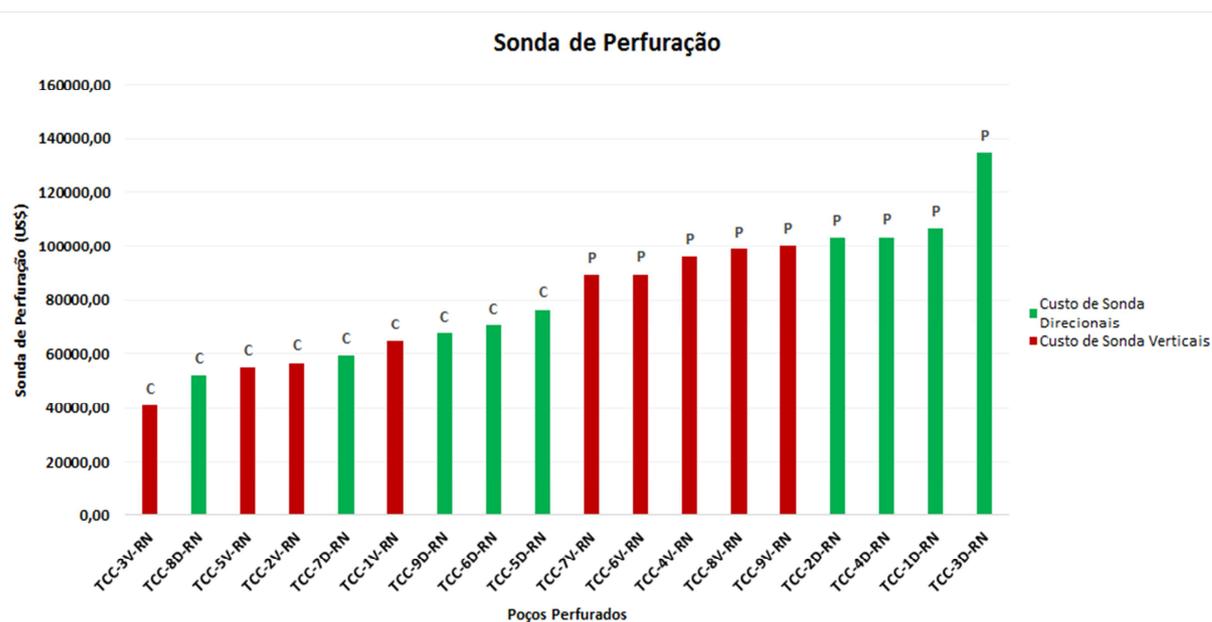


Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.3.2. Sonda

Quanto as sondas de perfuração, é possível inferir que, normalmente, os poços perfurados com as sondas próprias custam mais que os poços perfurados com as sondas contratadas. De acordo com dados disponíveis, a média de custo com as sondas é US\$ 81.427,14, sendo o mais caro o poço TCC-3D-RN, de custo US\$ 134.778,79 e o mais barato, o poço TCC-3V-RN, de custo US\$ 41.000,00. Analisando a Figura 16, que representa o gráfico de custo da sonda, em dólares, é possível notar, claramente, que os poços que utilizam sondas próprias oneram um maior custo que os poços que utilizam as sondas contratadas.

Figura 16 – Gráfico do custo de sonda para poços verticais e direcionais.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

É possível que essa diferença entre sondas próprias e contratadas ocorra, principalmente, devido as sondas próprias possuírem, normalmente, uma tarifa mais cara, aumentando o custo total. Entretanto, é necessário analisar mais parâmetros antes de realizar essa afirmação, pois é preciso avaliar, por exemplo, se as sondas utilizadas em cada poço possuem porte adequado para os parâmetros de cada poço em questão.

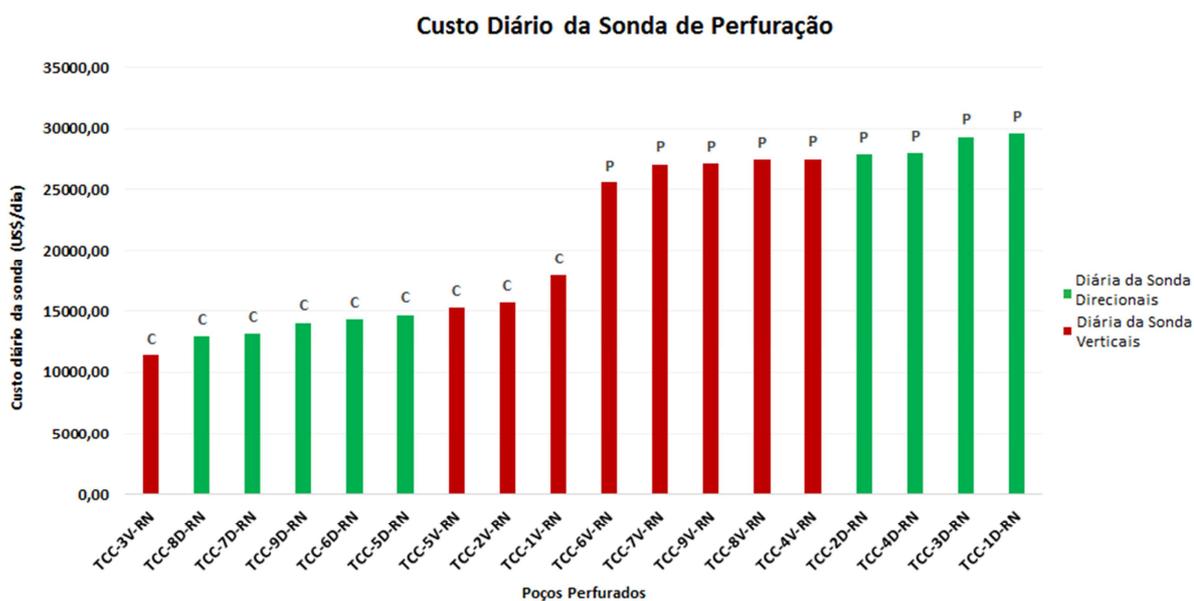
Analisando os dados disponíveis, pode-se inferir que a média do custo diário das sondas contratadas é 14.416,10 US\$/dia, sendo a mais cara, a sonda utilizada no poço vertical TCC-1V-RN, de custo diário igual a 17.980,54 US\$/dia, e a mais barata, a sonda utilizada no poço vertical TCC-3V-RN, com custo diário igual a 11.388,89 US\$/dia.

Já a média do custo diário dos poços com sondas próprias é 27.727,36 US\$/dia, uma diferença de 13.311,26 US\$/dia para a média dos poços utilizando sondas contratadas. Sendo, o poço o poço TCC-1D-RN o mais caro, com custo diário de sonda igual a 29.592,95 US\$/dia, e o poço mais barato o TCC-6V-RN, com custo diário da sonda igual a 25.569,40 US\$/dia.

Ao analisar o custo diário da sonda (Figura 17), é possível confirmar esta diferença. Além disso, é possível notar que, para as sondas próprias (identificadas com a letra

P), o custo diário da sonda é maior para os poços direcionais (representados pela coluna de cor verde), do que para os poços verticais (representadas pela coluna de cor vermelha). Enquanto que, para as sondas contratadas (identificadas com a letra C), o custo diário para os poços direcionais foi menor que para os poços verticais.

Figura 17 – Gráfico do custo diário da sonda para poços verticais e direcionais.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

### 5.3.3. Revestimento e Cimentação

De acordo com Rocha (2009), o revestimento de um poço de petróleo constitui uma das parcelas mais expressivas do custo de perfuração do poço, variando de 15% a 20% em mar, e podendo chegar a 50% em terra. Isso pode ser comprovado analisando os dados disponíveis, onde a média de porcentagem de custo destinada para revestimento e cimentação, para os poços verticais, é igual a 24,2%, e para os poços direcionais, é igual a 18,4%, como demonstra a Tabela 11, colocada a seguir.

Tabela 11 – Porcentagem de custo de revestimento e cimentação.

<b>Poços Verticais</b>	<b>Revestimento e Cimentação (%)</b>	<b>Poços Direcionais</b>	<b>Revestimento e Cimentação (%)</b>
TCC-1V-RN	26,1%	TCC-1D-RN	16,2%
TCC-2V-RN	26,5%	TCC-2D-RN	17,7%
TCC-3V-RN	28,6%	TCC-3D-RN	14,9%
TCC-4V-RN	21,3%	TCC-4D-RN	21,1%
TCC-5V-RN	29,0%	TCC-5D-RN	17,5%
TCC-6V-RN	17,8%	TCC-6D-RN	22,1%
TCC-7V-RN	25,3%	TCC-7D-RN	19,5%
TCC-8V-RN	22,1%	TCC-8D-RN	16,0%
TCC-9V-RN	20,8%	TCC-9D-RN	20,6%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

---

**CAPÍTULO 6**

**CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

---

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

A partir deste trabalho, é possível perceber a importância do estudo dos custos para escolha da melhor alternativa de perfuração. Considerando-se a possibilidade de realizar a perfuração vertical e a perfuração direcional, pode-se perceber que, para os dados disponíveis, um poço direcional custa mais que um poço vertical. Entretanto, deve-se levar em consideração parâmetros como a apropriação da sonda, o tempo de perfuração e a profundidade medida.

Pode-se perceber que os custos mais altos das operações de perfuração analisadas estão relacionados à sonda de perfuração e ao revestimento. Quanto às sondas, é possível concluir, de acordo com os dados analisados, que a contratada de empresas terceirizadas tem, normalmente, um custo diário menor que uma sonda própria da empresa Petrobras. Quanto ao revestimento, é possível confirmar que custam, para os poços em questão, até 21,3% do orçamento de perfuração.

Quanto ao tempo de perfuração, pode-se concluir que a operação dura mais para a perfuração direcional do que para a perfuração vertical, pois, além de a profundidade medida ser maior, a operação requer uma atenção maior para o controle da trajetória. Além disso, ao calcular a velocidade de perfuração, pela razão profundidade medida por hora, é possível perceber que a perfuração vertical, normalmente, ocorre em uma velocidade maior, perfurando mais metros a cada hora de operação.

Quanto ao custo de base e acesso, pode-se concluir que para a perfuração direcional ser vantajosa, o custo para o aprimoramento de uma base já existente, somada ao custo de serviços direcionais, deve ser menor que o custo de construção de uma nova base e acesso para realizar a perfuração vertical. Entretanto, para os poços analisados, nenhuma opção demonstrou ser vantajosa.

Recomenda-se para os próximos trabalhos, utilizar um banco de dados maior, com maior quantidade de poços e mais detalhes sobre as operações realizadas durante a perfuração e seus respectivos custos. Dados como afastamento, anormalidades ocorridas e tempo em DTM (Desmontagem, Montagem e Transporte) são relevantes e auxiliam a análise de dados. Isso permitirá resultados mais detalhados e concretos dos tipos de perfuração e das

comparações de custos que podem ser realizadas. Essas foram algumas limitações encontradas para as análises e conclusões deste trabalho.

Além de mais detalhes sobre os poços, recomenda-se utilizar poços com diferentes características, como, por exemplo, poços com maior profundidade. Dessa forma, é possível avaliar se as análises realizadas permanecem as mesmas para diferentes tipos de poços.

---

## **REFERÊNCIAS**

---

## REFERÊNCIAS

ANP. Resolução nº 49, de 20 de setembro de 2011. Estabelece o regulamento técnico de procedimentos para codificação de poços. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 de setembro de 2011.

BRANTLY, J. E. *History of Oil Well Drilling*. Texas: *Gulf Publishing Company*, 1971.

CANDOL, F. S.; CORRÊA, L. L. B. **Análise Estatística do Custo Métrico de Perfuração de Poços de Petróleo**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

DEPUTY, R. W.; PIERCE, A. D. *Reducing Drilling Costs*. In: World Petroleum Congress, 13. 1991, Buenos Aires. **Conference Paper**. Buenos Aires, World Petroleum Congress, 1991. Disponível em: <<https://www.onepetro.org/conference-paper/WPC-24146>>. Acesso em: 19 ago. 2014.

JUNIOR, D. S. A. **Metodologia para a Redução de Custos na Perfuração de Poços de Petróleo e Gás**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

LAKE, L. W.; MITCHELL, R. F. *Petroleum Engineering Handbook: Drilling Engineering*. Texas: *Society of Petroleum Engineers*, 2006.

LIMA, H. R. P. **Fundamentos de Perfuração**. Salvador: Petrobras/Serec/Cen-Nor, 1992.

MEDEIROS, R. B.; VIDAL; C. L. R. A Importância da Análise Econômica na Perfuração de Poços. Rio de Janeiro. **Engenheiros.com**. Disponível em: <<http://www.perfuradores.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2014.

ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. **Projetos de Poços de Petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

ROCHA, L. A. S.; AZUAGA, D.; ANDRADE, R; VIEIRA, J. L. B.; SANTOS, O. L. A. **Perfuração Direcional**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ROCHA, P. M. **Estudo da Influência da Coluna de Perfuração na Hidráulica de Poços de Longo Alcance**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.