



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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO DE GEOPRESSÕES E ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE
REVESTIMENTO**

Daniel Soares da Silva

Orientador (a): Prof MSc. Gustavo Arruda Ramalho Lira

Natal/RN, Junho de 2015

ESTUDO DE GEOPRESSÕES E ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE REVESTIMENTO

Projeto Final apresentado como avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso – A fim de cumprir os requisitos para Graduação em Engenharia de Petróleo, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Aprovado em ____ de _____ de 2015

Banca Examinadora

Prof. Gustavo Arruda Ramalho Lira

Orientador- UFRN

Eng. Victor Moreira Araújo

Petrobras

Eng. Rhaul Phillypi da Silva

Membro Externo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, José Soares da Silva e Maria Cândida da conceição silva que sempre acreditaram em mim e me apoiaram durante toda essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me dado a graça de mais essa vitória e por ter me dado a sabedoria para vencer todos os obstáculos encontrados durante essa jornada, gostaria de agradecer também aos meus pais, José Soares da Silva e Maria Cândida da Conceição Silva por terem se preocupado com a minha educação desde cedo.

Gostaria de agradecer também a todos os amigos e colegas de curso pelo companheirismo e longas horas de estudos em grupo.

Ao meu orientador Gustavo Arruda Ramalho Lira por ter me dado a oportunidade e a missão de tratar sobre tal tema.

Agradeço também a Petrobras pelos dados fornecidos para realização desse trabalho.

RESUMO

Geopressões podem ser entendidas como toda e qualquer pressão ou tensão exercida sobre uma formação geológica, seja em escala macro ou microscópica. A estimativa das geopressões é uma das mais importantes etapas durante a elaboração de um projeto de poço. O objetivo da análise de geopressões é determinar as curvas de sobrecarga, fratura, pressão de poros e colapso. Com estas curvas, pode-se limitar a janela operacional que definirá o peso específico do fluido de perfuração e o assentamento de sapatas. O peso do fluido de perfuração estará limitado superiormente pela tensão de sobrecarga e a curva de gradiente de fratura, pois o excesso de peso poderá gerar tensões de tração na rocha e causar fissuras com a consequente perda de fluido de perfuração. Por outro lado, o peso do fluido de perfuração estará limitado inferiormente pela curva de pressão de colapso inferior e a curva de pressão de poros. O assentamento da sapata do revestimento está relacionado também com a localização de zonas de perda de circulação, existência de formações frágeis, existência de aquíferos além da impossibilidade de se obter um peso específico de fluido que seja menor que o gradiente de fratura e maior que o gradiente de pressão de poros. No presente trabalho são definidas as geopressões e são também apresentadas as maneiras usuais de como se determinar a profundidade de sapatas de revestimentos, são dados também exemplos reais testes de absorção e janelas operacionais com as devidas profundidades onde são assentadas as sapatas.

Palavras chaves: Geopressões; Sapatas; Revestimento; Fluido de perfuração.

ABSTRACT

Geopressure can be understood as any pressure or tension exerted on a geological formation, whether in macro or microscopic scale. The estimate of geopressures is one of the most important steps during the preparation of a well project. The goal of geopressure's analysis is to determine the overload curves, fracture, pore pressure and collapse. With these curves, one can limit the operating window that defines the specific weight of the drilling fluid and setting shoe depth. The weight of the drilling fluid is limited superiorly by overhead pressure and fracture gradient curve as excess weight can generate tensile stresses in the rock and cause cracks with consequent loss of drilling fluid. Moreover, the weight of the drilling fluid is limited inferiorly by the collapse pressure curve and lower pore pressure curve. The depth of the shoe setting is also related to the location of lost circulation zones, the existence of weak formations, or aquifers and also the inability to obtain a specific weight of fluid which is less than the fracture gradient is greater than the pore pressure gradient. In this paper we define the geopressure and are also shown the usual ways on how to determine the depth of casing shoes, are also given real examples absorption tests and operational windows with appropriate depths where the shoes are settled.

Keywords: Geopressure; Shoes; Casing; Drilling Fluid

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	4
3. Aspectos Teóricos	6
3.1. Gradiente de Pressão.....	6
3.2. Pressão de Poros	6
3.2.1 Estimativa da pressão de poros.....	8
3.2.2 Pressões anormalmente alta.....	12
3.3. Pressão de Colapso	15
3.4. Pressão de Fratura.....	15
3.4.2. Estimativa da pressão de fratura.....	15
3.5. Pressão de Sobrecarga	20
3.5.2. Estimativa da pressão de sobrecarga	20
3.6. Janela operacional.....	21
3.7. Revestimentos e sapatas de revestimento	23
3.8. Profundidade de assentamento de sapatas	26
3.8.1 Critério de Assentamento Baseado Somente na Janela Operacional	27
3.8.2. Critério de Assentamento Baseado na Tolerância ao Kick	28
4. Metodologia.....	34
5. Exemplos de assentamento de sapatas e de testes de absorção	36
5.1. Poço A.....	36
5.2. Poço B	39
5.3. Poço C	45
6. Conclusões.....	47
7. Referências Bibliográficas.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Medição de kick (Fonte: Rocha et al, 2009).....	10
Figura 3.2 – Exemplo de um teste de absorção clássico (Fonte: Rocha et al, 2009)....	17
Figura 3.3- Representação do teste de absorção estendido (Fonte: Rocha et al, 2009)	18
Figura 3.4 - Representação de um teste de microfraturamento (Fonte: Rocha et al, 2009).....	19
Figura 3.5- Exemplo de janela operacional de um poço (Fonte: Rocha et al, 2009) ...	23
Figura 3.6 - Esquema de revestimentos (Fonte: Thomas, 2004).....	25
Figura 3.7- Exemplo de Assentamento de sapata (Fonte: Rocha et al, 2009).....	28
Figura 3.8- Exemplo de Assentamento de cima para baixo baseado na tolerância ao kick (Fonte: Rocha et al, 2009)	31
Figura 3.9 - Exemplo de Assentamento de baixo para cima baseado na tolerância ao kick (Fonte: Rocha et al, 2009)	32
Figura 5.1- Janela operacional do poço A	37
Figura 5.2- Gráfico pressão x tempo (FIT).....	38
Figura 5.3- Gráfico volume x tempo (FIT).....	39
Figura 5.4- Janela operacional do poço B	41
Figura 5.5- Gráfico volume x tempo do teste de absorção.....	43
Figura 5.6- Gráfico pressão x tempo do teste de absorção.....	44
Figura 5.4- Janela operacional do poço C	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação da pressão de poros	7
Tabela 5.1 - Dados do teste de absorção do poço B	42

Capítulo 1

Introdução

1. Introdução

Um poço de petróleo é perfurado em fases, sendo cada fase determinada pelo diâmetro da broca ou do alargador que está sendo utilizado na perfuração. 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 (THOMAS, 2004).

Os motivos para perfurar em fases e conseqüentemente a necessidade de revestir são vários, mas em geral são associados a pressões e tensões existentes no subsolo, e todas aquelas que são impostas às formações que podem, inclusive, levar à falha da rocha, a essas pressões dá-se o nome de geopressões.

Segundo Pereira (2007), o objetivo da análise de geopressões é determinar as curvas de sobrecarga, fratura, pressão de poros e colapso. Com estas curvas, pode-se limitar a janela operacional que definirá o peso específico do fluido de perfuração e o assentamento de sapatas (acessório colocado na extremidade do revestimento e serve de guia para a introdução do revestimento no poço). O peso do fluido de perfuração estará limitado superiormente pela curva de tensão de sobrecarga e de gradiente de fratura, pois o excesso de peso poderá gerar tensões de tração na rocha e causar a propagação da fissura com a conseqüente perda de fluido de perfuração. Por outro lado, o peso do fluido de perfuração estará limitado inferiormente pela curva de pressão de colapso e de pressão de poros, pois caso o peso específico do fluido seja menor que o gradiente de pressão de poros, poderá haver um influxo (kick). O assentamento da sapata do revestimento está relacionado, dentre outros fatores, à impossibilidade de se obter um peso específico de fluido que seja menor que o gradiente de fratura e maior que o gradiente de pressão de poros.

Um projeto completo e confiável de geopressões é fundamental para o sucesso na execução da perfuração de um poço. Problemas relacionados ao campo de geopressões são responsáveis por perda de tempo durante a perfuração de um poço e por custos adicionais. Estes problemas são bem conhecidos na indústria do petróleo e incluem complicações operacionais, tais como aprisionamento de coluna, torques

elevados que podem atingir os limites do equipamento, colapso total do poço e influxo de fluido da formação para dentro do poço (kick), podendo levar a um influxo descontrolado de fluido saindo do poço (blowout), o que pode causar a destruição total da sonda de perfuração. Assim, individual ou coletivamente, estes problemas podem representar perdas humanas, prejuízos econômicos e danos ambientais.

O único modo de se ter certeza das pressões atuantes na rocha é perfurando-a. No entanto, para perfurar com segurança projetando um fluido de perfuração adequado, é necessário conhecer o campo de geopressões. Por isso, poços de correlação (poços perfurados próximos) são muito importantes para se ter um estudo de geopressões confiável. Caso não estejam disponíveis dados de nenhum poço de correlação, o projeto de poço poderá ser muito mais conservador.

Capítulo 2

Objetivos

2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é apresentar maneiras usuais de se definir a qual profundidade deve ser assentada a sapata do revestimento em poços de petróleo a partir de curvas de geopressões determinadas, avaliando inclusive casos reais de alguns poços perfurados nas bacias sedimentares brasileiras.

Capítulo 3

Aspectos Teóricos

3. Aspectos Teóricos

3.1. Gradiente de Pressão

Por definição, gradiente de pressão é a razão entre a pressão e a profundidade, geralmente referenciada à mesa rotativa da sonda. Entretanto, é muito comum que os gradientes de pressão sejam expressos em unidade de massa específica, como lb/gal ou g/cm³, para uma comparação direta com a massa específica do fluido de perfuração.

O gradiente de pressão pode ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$G = \frac{P_h}{C \cdot Z} \quad (3.1)$$

Onde:

G = gradiente de pressão (lb/gal)

P_h = Pressão hidrostática (psi)

Z = profundidade vertical (m)

C = constante de conversão de unidades (0,1704 psi.gal/ lb.m)

3.2. Pressão de Poros

A pressão de poros, também conhecida como pressão de formação, é a pressão que estão submetidos os fluidos contidos nos poros de uma determinada formação. É muito importante o conhecimento da pressão de poros para se definir o peso do fluido de perfuração a ser utilizado, já que o fluido de perfuração dentro das suas funções é responsável pela pressão exercida dentro do poço, impedindo o fluxo da formação para o interior do seu interior e garantindo a estabilidade do poço.

Deve-se controlar a pressão que é exercida dentro do poço pelo fluido de perfuração, pois o desequilíbrio entre a pressão de poros e a pressão dentro do poço pode causar sérias consequências. Quando a pressão de poros é maior que a pressão dentro do poço em formações permeáveis, por exemplo, pode ocorrer um kick e caso

não seja controlado, esse kick pode resultar em um blowout. Por outro lado, se a pressão dentro do poço for muito maior que a pressão de poros pode resultar em uma prisão de coluna, também conhecido como prisão por pressão diferencial.

No caso de formações impermeáveis, o diferencial de pressão entre o poço e a formação não causam kick, mas podem causar outros problemas como instabilidade das formações que pode levar ao desmoronamento total ou parcial das paredes do poço, acarretando no aprisionamento da coluna de perfuração.

Segundo Rocha *et al* (2009), pressão de poros é dita normal em uma certa profundidade quando seu valor é igual ao da pressão exercida por uma coluna hidrostática de fluido equivalente ao peso da água. Nesse caso, a pressão de poros é função apenas da altura da coluna de fluido e de sua massa específica, que irá variar de acordo com a salinidade do fluido. De modo geral, a classificação da pressão de poros pode ser dividida em quatro categorias como mostra a tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação da pressão de poros

Anormalmente Baixa	Pressão de Poros < Pressão Hidrostática
Normal	Pressão de Poros = Pressão Hidrostática
Anormalmente Alta ou Sobrepressão	Pressão Hidrostática < Pressão de Poros < 90% da pressão de Sobrecarga
Alta Sobrepressão	Pressão de Poros > 90% da Pressão de Sobrecarga

Podemos observar na tabela 3.1 que a classificação depende também da pressão de sobrecarga, que como veremos mais adiante é a pressão a uma certa profundidade exercida pelo peso das camadas sobrepostas.

3.2.1 Estimativa da pressão de poros

Para a estimativa da pressão de poros, temos os métodos diretos, realizados em formações permeáveis e os métodos indiretos, efetuados em formações de baixíssima permeabilidade. No caso de métodos diretos temos:

Medições em zonas permeáveis:

- Teste de formação;
- RFT (Repeated Formation Test);
- FPWD (Formation Pressure While Drilling);
- Kicks.

Em formações impermeáveis como folhelhos não se consegue medir a pressão de poros diretamente, sendo esta pouco conhecida, embora esta possa ser estimada utilizando-se métodos indiretos, que tem por base a interpretação de parâmetros, como por exemplos, os perfis elétricos.

A) Teste de formação

Em formações permeáveis, a pressão de poros pode ser medida em alguns casos por métodos indiretos e também diretamente por meio de testes de formação que é um método de avaliação das formações equivalente a uma completação provisória feita no poço. Ele consiste basicamente em isolar o intervalo a ser testado, estabelecer um diferencial de pressão entre a formação e o interior do poço forçando os fluidos da formação a serem produzidos, promover períodos intercalados de fluxo e de estática e registrar continuamente as pressões de fundo em função do tempo durante o teste.

Geralmente os testes de formação são feitos após a perfuração do poço e geralmente levam várias horas e até dias, isso sem contar as várias manobras para retirar a coluna de perfuração e descer a coluna de teste.

B) RFT (Repeated Formation Test)

O RFT é mais simples que o teste de formação e é feito a cabo durante a perfuração do poço ou na perfilagem final, o que acelera a operação, reduzindo bastante o tempo de sonda. Essas características fazem com que esse teste possa ser planejado como uma espécie de suporte para as estimativas dos gradientes de pressão de poros. Entretanto, como é feito após a perfuração do poço ou da zona de interesse, seus resultados são utilizados para confirmar ou não a estimativa de pressão de poros já realizada, sendo de grande utilidade na previsão de outros poços presentes na mesma área.

C) FPWD (Formation Pressure While Drilling)

Os FPWD são feitos por meio de ferramentas que são descidas na coluna de perfuração. A grande vantagem é que esses testes são realizados sem grandes perdas de tempo de sonda, e seu resultado é obtido em tempo real, auxiliando na estimativa da pressão de poros do poço ainda em perfuração. Desta forma, a utilização da ferramenta de FPWD deve ser planejada nas situações em que existam incertezas com relação aos valores de pressão de poros previstos.

D) Kicks

A seguir é mostrada uma figura que representa a situação de um poço após um kick depois de terem sido realizados os procedimentos de fechamento de poço e aguardado a estabilização das pressões.

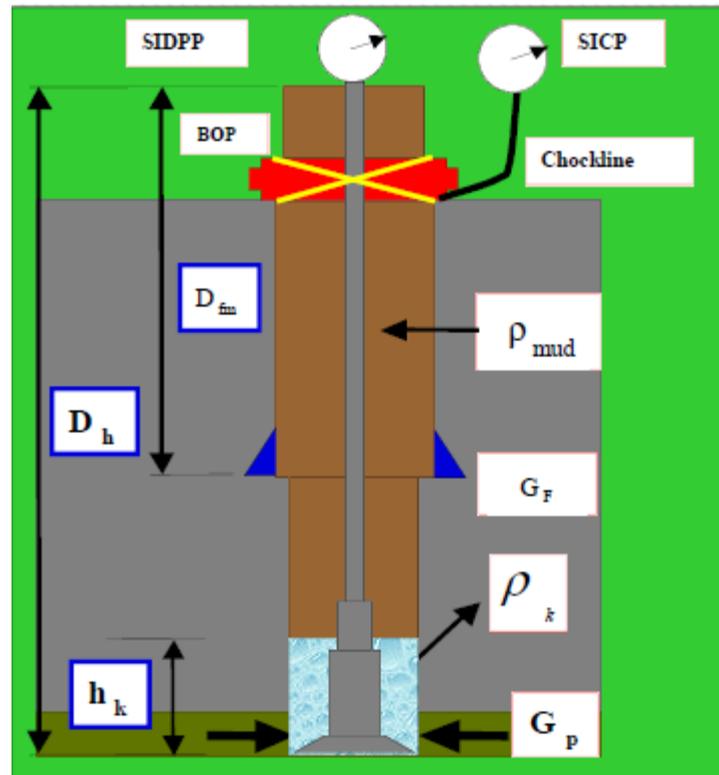


Figura 3.1- Medição de kick (Fonte: Rocha et al, 2009)

Onde as variáveis das figura são:

D_h = Profundidade do poço

ρ_{mud} = Massa específica do fluido de perfuração

G_F = Gradiente de fratura da formação mais fraca

D_{fm} = Profundidade da formação mais fraca

ρ_k = Massa específica do fluido invasor

h_k = Altura do kick no espaço anular

G_p = Gradiente de pressão de poros

SIDPP = Shut In Drill Pipe Pressure (pressão de fechamento da coluna de perfuração na superfície)

SICP = Shut In Casing Pressure (Pressão de fechamento do anular na superfície).

Se não existir fluido invasor no interior da coluna, o valor estabilizado de SIDPP representa a diferença entre a pressão da formação geradora do influxo e a pressão hidrostática do fluido no interior da coluna de perfuração, ou seja:

$$\text{SIDPP} = P_{\text{poros}} - 0,1704 * \rho_{\text{mud}} * D_h \quad (3.2)$$

Temos que: $P_{\text{poros}} = G_p * 0,1704 * D_h$. Logo, teremos:

$$\text{SIDPP} = G_p * 0,1704 * D_h - 0,1704 * \rho_{\text{mud}} * D_h \quad (3.3)$$

Isolando G_p , chegamos a seguinte equação, que define o gradiente de pressão de poros:

$$G_p = \frac{\text{SIDPP} + 0,1704 * \rho_{\text{mud}} * D_h}{0,1704 * D_h} \quad (3.4)$$

Onde:

SIDPP= Pressão de fechamento da coluna de perfuração na superfície (Psi)

D_h = Profundidade do poço (m)

ρ_{mud} = Massa específica do fluido de perfuração (lb/gal)

Este valor independe do volume de influxo no espaço anular e permite que seja estimada a pressão da formação, conhecendo-se apenas o peso do fluido de perfuração que estava sendo utilizado durante o kick, além da pressão SIDPP e profundidade do poço.

Podemos estimar a pressão de poros também através do valor de SICP, que é função da coluna hidrostática presente no anular do poço, o que vai depender do volume

do influxo e da sua massa específica. Para estimativa da pressão de poros faz-se necessário o conhecimento da altura do kick e de sua massa específica. Calculamos da seguinte maneira:

$$\text{SICP} = P_{\text{poros}} - P_{\text{anular}} \quad (3.5)$$

Onde o Panular será a soma da pressão exercida pela lama de perfuração presente no anular com a pressão exercida pelo fluido invasor, ou seja:

$$P_{\text{anular}} = 0,1704 * h_k * \rho_k + 0,1704 * (D_h - h_k) * \rho_{\text{mud}} \quad (3.6)$$

Então, teremos:

$$\text{SICP} = G_p * 0,1704 * D_h - 0,1704 * h_k * \rho_k + 0,1704 * (D_h - h_k) * \rho_{\text{mud}} \quad (3.7)$$

Isolando G_p , chegamos a fórmula que define o gradiente de pressão de poros nessa situação:

$$G_p = \frac{\text{SICP} + 0,1704 * \rho_{\text{mud}} * (D_h - h_k) + 0,1704 * \rho_k * h_k}{0,1704 * D_h} \quad (3.8)$$

Onde:

h_k = Altura do kick (m)

ρ_k = Massa Específica do kick (lb/gal)

SICP = Pressão de fechamento do anular na superfície (lb/gal)

3.2.2. Pressões anormalmente altas

A pressão anormalmente alta está associada, geralmente, à deposição rápida de sedimentos reduzindo a velocidade de expulsão da água dos poros da rocha, gerando o processo conhecido por subcompactação (Chagas, 2014). Na subcompactação o fluido fica confinado em um espaço poroso menor que o necessário para armazenar o seu volume e a pressão gerada pelo peso das camadas sobrepostas passa a atuar sobre ele excessivo de peso sobre o fluido faz com que a pressão dos fluidos nos poros da rocha

fique maior que a pressão hidrostática gerada apenas pelo próprio fluido, originando assim as pressões anormalmente altas.

Para se evitar um kick nas zonas de pressão elevada, torna-se necessário aumentar a massa específica do fluido de perfuração, mas um aumento excessivo pode resultar em absorção ou até mesmo fratura nas formações frágeis, diminuição na taxa de penetração e aumento das possibilidades de prisão por pressão diferencial, por isso é necessário conhecer todos os fatores associados as geopressões existentes.

Para identificar zonas de pressão anormalmente alta, pode-se analisar os indicadores diretos e indiretos de pressão anormal. Enquanto os indicadores indiretos são obtidos antecipadamente como uma possibilidade de pressão alta, os diretos são obtidos durante a perfuração do poço com mais precisão. Os indicadores diretos mais importantes observados durante a perfuração são:

- Aspectos dos cascalhos;
- Aumento do torque e arraste;
- Mudança na temperatura do fluido;
- Teor de gás no fluido de perfuração;
- Mudança nas propriedades do fluido de perfuração;
- Aumento da taxa de perfuração.

Os indicadores indiretos que podem ser usados na avaliação de pressão anormal são basicamente: interpretação sísmica e perfilagem.

A) Aspectos dos cascalhos

Quando se perfura zonas de alta pressão os cascalhos gerados apresentam-se na superfície com tamanho maior, em maior quantidade e com extremidades angulares e superfície brilhante com aparência de desmoronamento. A mudança no tamanho, forma e quantidade dos cascalhos na peneira é uma advertência. Devido à maior quantidade de água nas formações de pressão alta os cascalhos gerados das mesmas são de densidades menores que os das formações normalmente compactadas.

B) Aumento do torque e arraste

O aumento do torque se da em virtude da existência de cascalhos maiores, e os mesmos se acumularem. O aumento do arraste ocorre em virtude da pressão nos poros ser superior à hidrostática provocando estreitamento do poço.

C) Mudança na temperatura do fluido

Um dos fenômenos geológico associado ao aumento da pressão das formações é um acréscimo na temperatura das mesmas. A verificação deste aumento é feita no aumento da temperatura do fluido de perfuração que retorna na superfície.

D) Teor de Gás no fluido de perfuração

Um aumento nas medições do detector de gás pode indicar que a massa específica do fluido de perfuração está inadequada às pressões das formações no poço, logo o aumento da concentração de gás medidas no detector de gás pode ser um forte indicativo de mudança na pressão da formação.

E) Mudança nas propriedades dos fluidos de perfuração

Quando a pressão de poros da formação aumenta, mais cascalhos cortados e desmoronados se dissolvem no fluido de perfuração, alterando suas propriedades, logo uma análise na mudança das propriedades do fluido de perfuração poderia indicar uma zona de pressão anormalmente alta.

F) Aumento da taxa de perfuração

Quando há um aumento consistente na taxa de perfuração, é provável que uma zona de transição (passagem de uma zona de pressão normal para uma anormalmente alta) esteja sendo perfurada. Assim, o aumento da taxa de penetração, causado pela redução do diferencial de pressão sobre a formação, pode ser usado como um indicador de zonas de pressão anormalmente alta.

3.3. Pressão de Colapso

A pressão de colapso é a pressão que leva à ruptura da rocha por cisalhamento, sob tensões de compressão. A ruptura por colapso poderá ocorrer tanto devido a um baixo peso de fluido de perfuração, quanto devido a um peso de fluido excessivo. As consequências dessas rupturas em termos operacionais irão variar de acordo com o tipo de rocha. Um caso típico se dá quando a falha da rocha por cisalhamento causa deformação no diâmetro do poço, aumentando o torque na coluna de perfuração, levando ao seu aprisionamento. Em outros tipos de formação, a falha por cisalhamento pode levar ao desmoronamento total ou parcial do poço, com possível aprisionamento da coluna devido aos cascalhos desmoronados.

3.4. Pressão de Fratura

A pressão de fratura é a pressão que leva à falha da rocha por tração. Da mesma forma que ocorre o colapso da formação, a fratura pode ocorrer tanto em função da utilização de um baixo peso de fluido de perfuração, como também em função da utilização de um alto peso de fluido de perfuração. Na prática, a ocorrência de fratura superior é muito mais comum do que fratura inferior. As consequências operacionais de uma falha por fratura são desmoronamentos ou perda de fluido de perfuração para a formação, conhecida por perda de circulação, respectivamente.

3.4.2. Estimativa da pressão de fratura

A estimativa do gradiente de fratura pode ser feita utilizando medições diretas ou utilizando técnicas de cálculo baseadas em modelos teóricos ou empíricos (métodos indiretos).

A medição direta da pressão de fratura é feita geralmente através de testes em que o fluido de perfuração é pressurizado de maneira controlada dentro do poço. A escolha do tipo teste vai depender do cenário em que o poço está inserido e nas informações que se deseja obter, como por exemplo: a pressão de absorção, de quebra ou a tensão mínima. Os métodos diretos fornecem valores bastante confiáveis, porém alguns são caros, os valores que esses testes fornecem são pontuais e muitas vezes

realizados em formações específicas, como folhelhos. As companhias que realizam essas medições guardam os dados em um banco de dados para serem utilizados na calibração pontual de curvas de gradientes de fratura geradas pelos métodos indiretos.

Com relação aos métodos diretos pode-se citar os seguintes:

- Teste de Absorção Clássico (LOT);
- Teste de Absorção Estendido;
- Teste de Microfraturamento.

A) Teste de Absorção Clássico (LOT)

Segundo Rocha e Bourgoyne (1996), o leak off test (LOT) é considerado como um método de medição da pressão de fratura. Ele é feito depois que o revestimento é descido e cimentado. Ele tem como objetivo verificar se o revestimento, o cimento e a formação abaixo da sapata do revestimento podem suportar a pressão de poço necessária para perfurar até a profundidade seguinte onde irá ser descido o próximo revestimento.

O LOT é realizado pela pressurização na seção de poço aberto (após a coluna de revestimento ter sido cimentada, a sapata é rompida e poucos metros da nova formação são perfurados). A pressão no poço é aumentada pelo bombeio a uma vazão constante, produzindo uma linha reta em um gráfico de pressão *versus* volume. O ponto onde a resposta da pressão começa a se desviar do comportamento linear é definido como o ponto de absorção (ponto de início da fratura). Normalmente, um LOT é interrompido após esse instante.

Vale ressaltar que como esse teste é interrompido logo após o ponto de absorção, a fratura gerada é muito pequena e mesmo que o fechamento da fratura ocorra, a pressão de fechamento, se usada como estimativa da tensão horizontal mínima, apresentará valores significativamente mais altos que o valor real.

Na figura 3.2, temos um exemplo simples de um gráfico de variação de pressão com o volume bombeado durante um teste de absorção, onde o ponto representado por P_a , onde a curva sai da linearidade é o ponto onde definimos a pressão de absorção.

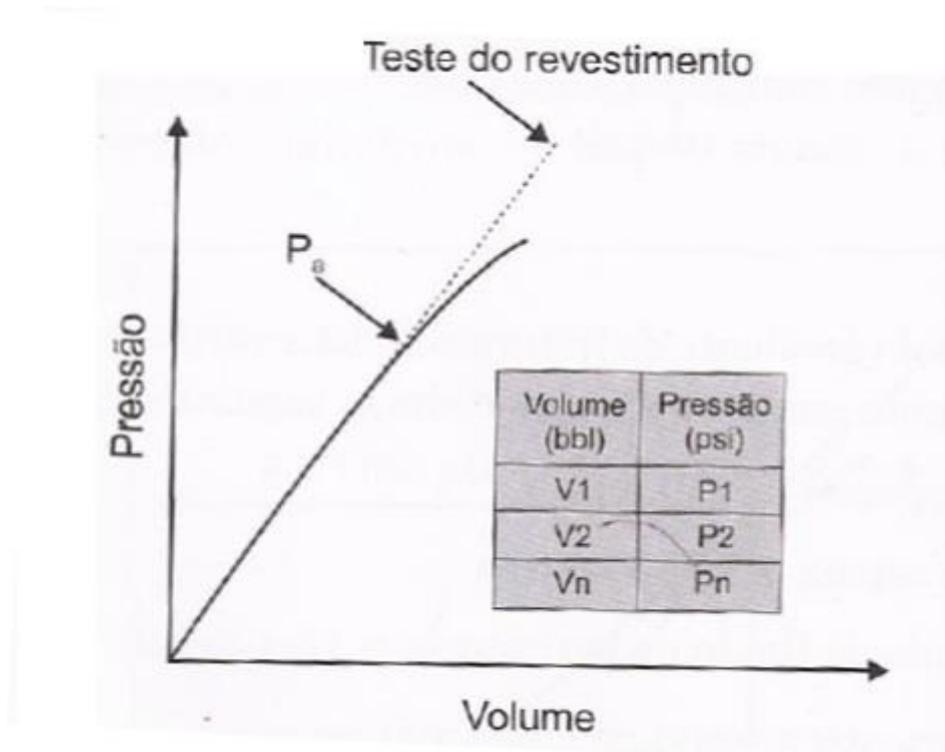


Figura 3.2 – Exemplo de um teste de absorção clássico (Fonte: Rocha et al, 2009)

Sabendo a pressão de absorção, podemos calcular o peso de fluido equivalente na sapata através da equação a seguir:

$$\rho_{eq} = \rho_m + \frac{P_A}{0,1706 * D_{sap}} \quad (3.9)$$

Onde:

ρ_{eq} = Densidade de fluido equivalente na sapata (lb/gal)

ρ_m = Peso do fluido de perfuração usado no teste (lb/gal)

P_A = Pressão de absorção (psi)

D_{sap} = Profundidade vertical da sapata (m)

Quando é fixada uma pressão máxima para o teste, podemos chamar de teste de integridade de formação (FIT), nesse teste a pressurização para assim que é atingida a pressão máxima estabelecida anteriormente, servindo principalmente para se fazer uma aproximação da pressão de absorção.

B) Teste de Absorção Estendido

O teste de absorção estendido funciona da mesma maneira que o LOT, citado acima, a diferença é que é prosseguida a pressurização até que ocorra o primeiro decréscimo de pressão. Esta pressão é chamada pressão de ruptura ou pressão de quebra da formação. Como pode ser visto na Figura 3.3, o bombeio continua após o ponto em que se encontra a pressão de absorção.

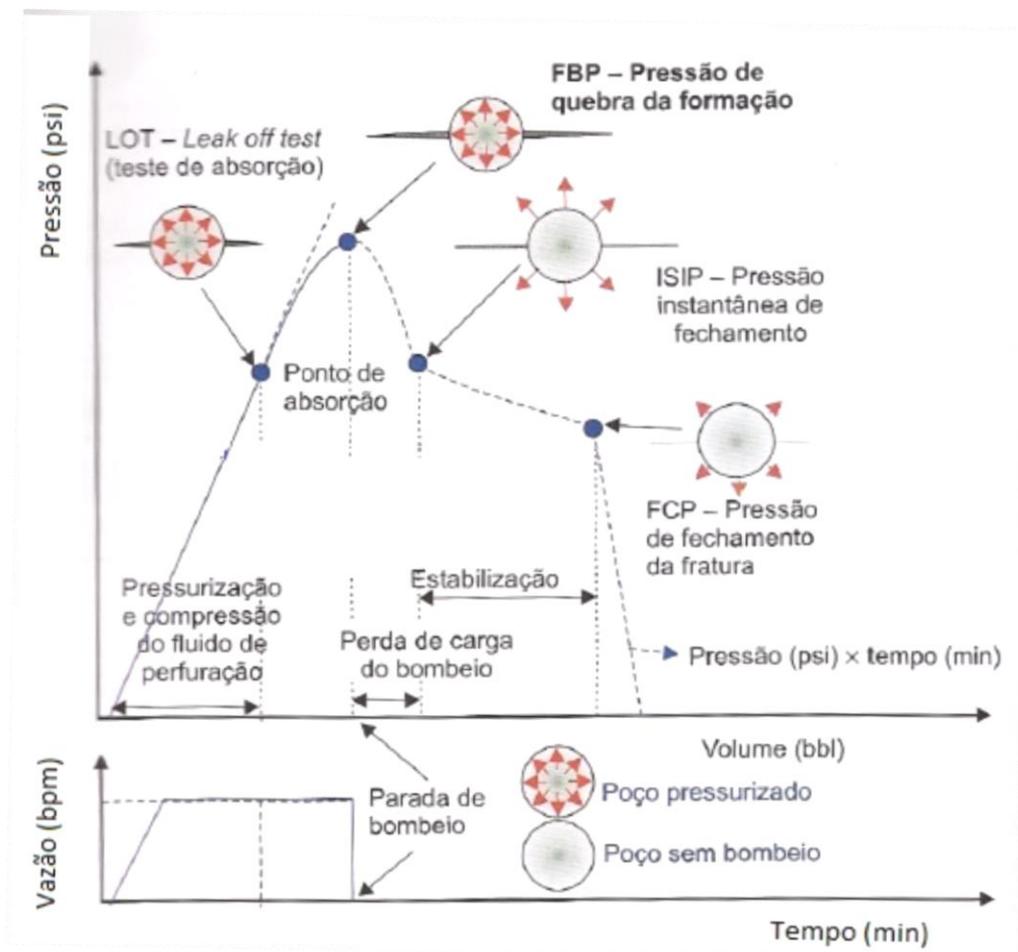


Figura 3.3- Representação do teste de absorção estendido (Fonte: Rocha et al, 2009)

C) Teste de Microfraturamento

O teste de microfraturamento segue o mesmo formato do teste de absorção estendido, a diferença é que é continuada a pressurização da formação mesmo após a quebra da formação. Como se prossegue a pressurização após a quebra da formação, pode-se observar uma estabilização da pressão, chamada de pressão de propagação da fratura, após essa estabilização da pressão para-se de pressurizar e é observada a queda de pressão para que se possa obter a pressão em que ocorre o fechamento da fratura.

Através do teste de microfraturamento, podemos obter as pressões de absorção, de quebra e de propagação da fratura.

Na figura 3.4 podemos observar um gráfico de pressão com o tempo de um teste de microfraturamento.

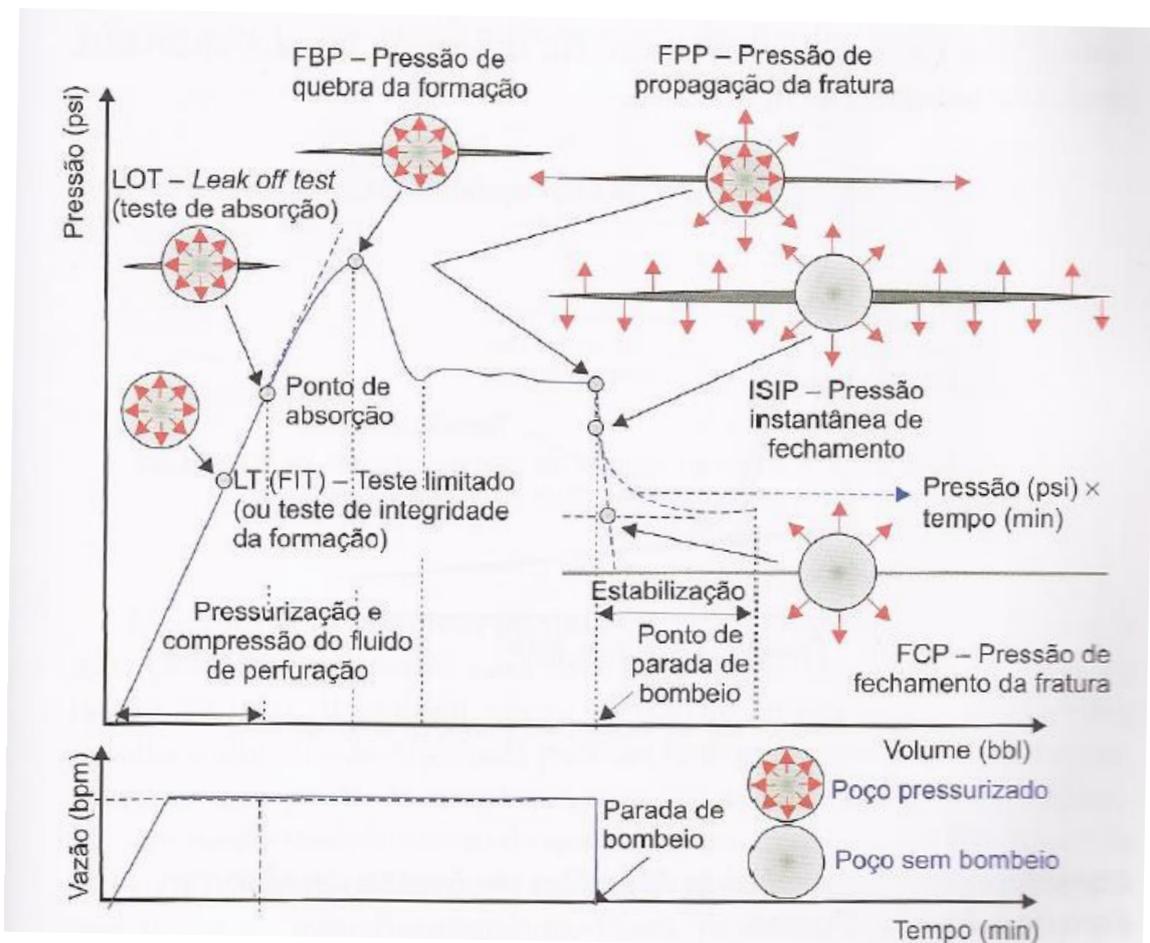


Figura 3.4 - Representação de um teste de microfraturamento (Fonte: Rocha et al, 2009)

Na etapa de perfuração normalmente é feito apenas o LOT, pois é menos custoso e por ter um menor tempo de sonda do que os outros testes mostrados.

3.5. Pressão de Sobrecarga

A pressão de sobrecarga é a pressão a uma certa profundidade exercida pelo peso total das camadas sobrepostas, a pressão de sobrecarga a uma dada profundidade é função das densidades das camadas sobrejacentes (incluindo rocha e fluidos). Uma vez que essa pressão não diz respeito somente aos fluidos e atua sobre a matriz da rocha, o uso do termo tensão de sobrecarga é também utilizado.

Em poços terrestres a pressão de sobrecarga terá também uma participação de um trecho de ar (trecho da mesa rotativa até o solo), enquanto que nos poços marítimos, tanto o trecho de ar (trecho da mesa rotativa até o nível do mar) como o da lamina de água é levado em consideração, entretanto o trecho de ar apresenta um valor muito próximo de zero e normalmente é desprezado nos cálculos.

3.5.2. Estimativa da pressão de sobrecarga

A determinação do gradiente de sobrecarga é de vital importância para a estimativa das outras curvas de geopressões, então quanto mais precisa for a sua determinação mais precisos serão os resultados que serão obtidos da pressão de poros, de colapso e de fratura.

Como a pressão de sobrecarga é exercida pelo somatório dos pesos das camadas sobrepostas ao ponto analisado, podemos definir a pressão ou tensão de sobrecarga através da seguinte fórmula:

$$\sigma_{ov} = \int_0^z \rho(z) \cdot g \cdot dz \quad (3.10)$$

Onde:

σ_{ov} = Pressão de sobrecarga

$\rho(z)$ = Massa específica ou densidade das camadas sobrepostas

Z = Profundidade desejada

dz = Variação da profundidade

g = Aceleração da gravidade

Como se pode observar a tensão ou pressão de sobrecarga é definida em função de três parâmetros, que são a massa específica, a aceleração da gravidade e a profundidade, tanto a aceleração da gravidade como a profundidade serão conhecidas, teremos então que a massa específica será o único parâmetro desconhecido para se determinar a pressão de sobrecarga.

Para se determinar a densidade das formações pode-se usar de correlações matemáticas ou por meio de medições.

No caso das medições temos a testemunhagem e o perfil densidade. No caso da testemunhagem, que consiste em amostras de rochas da superfície, nós temos uma medição pontual da densidade, normalmente as amostras tem tamanho de 9,18 ou 27 metros, dependendo da formação é necessário também o ajuste através de correlações matemáticas. Já o perfil densidade é usado com a finalidade de fornecer as porosidades das formações por meio da medição de suas densidades. Se estiver disponível o perfil de densidade em toda a extensão do poço, o cálculo da pressão de sobrecarga se torna bem mais fácil. O problema no uso desses perfis é que normalmente ele é corrido apenas nas zonas de interesse, tem grandes imprecisões em poços alargados e está disponível apenas a partir da profundidade do revestimento de superfície.

3.6. Janela operacional

A janela operacional é um item indispensável em um projeto de poço, é o principal parâmetro a ser usado na estabilidade de um poço durante a sua perfuração. É a partir da obtenção da janela operacional que se tem o intervalo permitido para a variação da massa específica e conseqüentemente o peso do fluido de perfuração com o principal objetivo de obter uma perfuração estável e segura com a redução de problemas operacionais (Corrêa, 2009).

Usualmente, o limite inferior da janela operacional é representado pelo maior valor da curva do gradiente de pressão de poros e gradiente de colapso. Já o limite

superior é representado pela curva do gradiente de fratura. A massa específica do fluido deve ser condicionada a promover uma pressão hidrostática de modo a atender cada fase neste intervalo, não ultrapassando nenhum dos limites citados, para que a perfuração ocorra estabilizada.

A janela operacional define a profundidade de assentamento das sapatas, pois mostra os trechos em que um certo peso de fluido é compatível, o 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.

As curvas de pressão são obtidas das tensões e pressões presentes no subsolo e daquelas que são impostas às formações, que podem levar à falha da rocha. São elas: pressão de sobrecarga, pressão de poros, pressão de colapso e pressão de fratura. Na figura 3.5, podemos observar um exemplo de uma janela operacional.

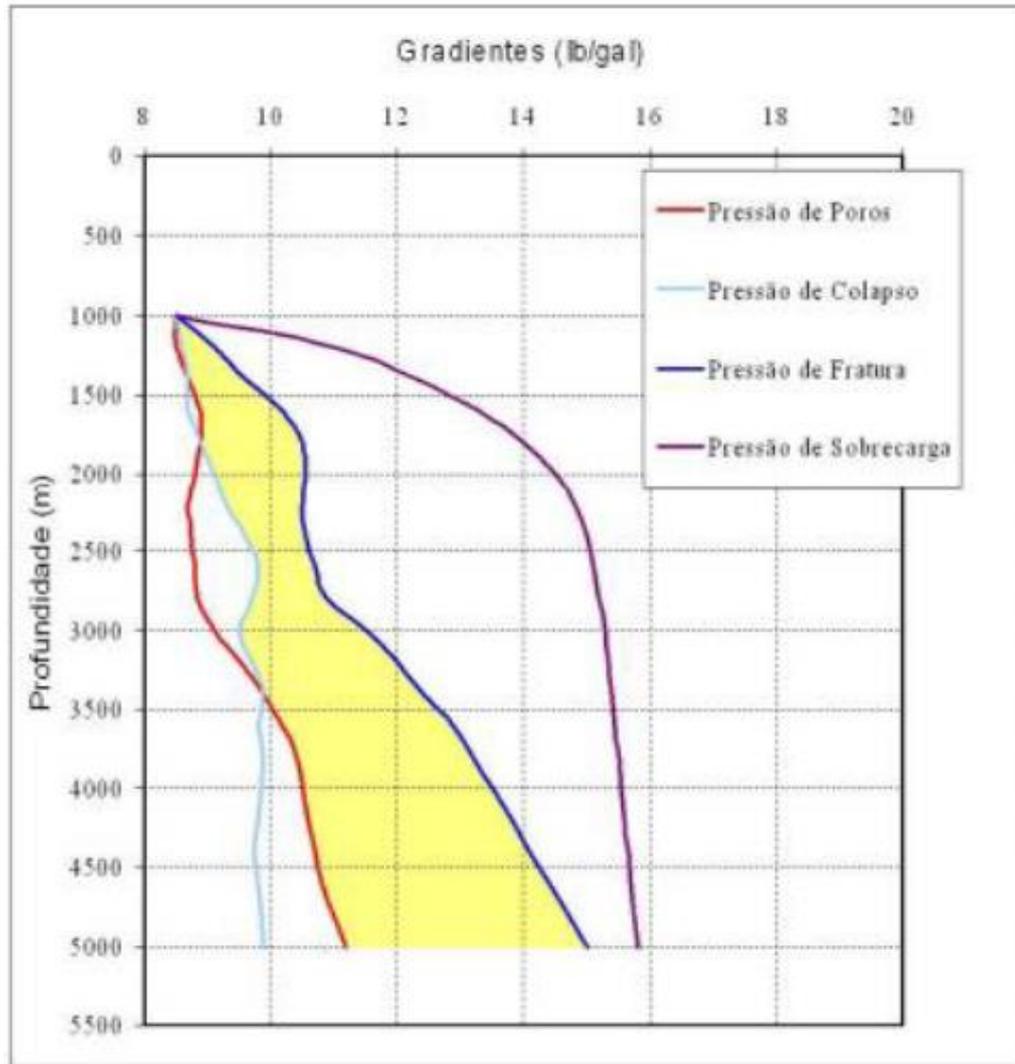


Figura 3.5- Exemplo de janela operacional de um poço (Fonte: Rocha et al, 2009)

3.7. Revestimentos e sapatas de revestimento

A coluna de revestimento de um poço compreende o comprimento total de tubos de revestimento com o mesmo diâmetro externo que é descido no poço em uma única operação. Suas principais funções são segundo Thomas (2004), são:

- Prevenir desmoronamentos de partes do poço;
- Evitar contaminação da água potável dos lençóis freáticos;
- Permitir retorno do fluido de perfuração à superfície;

- Impedir migrações de fluidos das formações;
- Sustentar os equipamentos de segurança de cabeça de poço;
- Alojamento dos equipamentos de elevação artificial;
- Confinar a produção ao interior do poço.

Os revestimentos são classificados em diferentes tipos de acordo com sua função no poço:

- Revestimento condutor;
- Revestimento de superfície;
- Revestimento intermediário,
- Revestimento de produção;
- Liners.

A) Revestimento condutor

O revestimento condutor é o primeiro revestimento a ser assentado no poço, e é a partir dele que a perfuração tem início. Esse revestimento tem, dentre outros, o objetivo de servir como base para equipamentos da cabeça do poço, além de proteger o revestimento de superfície de processos erosivos.

B) Revestimento de superfície

O revestimento de superfície tem a função de prevenir a erosão das formações rasas inconsolidadas, além de proteger aquíferos rasos de contaminação.

Usualmente a profundidade de assentamento da sapata desse revestimento é função de variáveis como a presença de perigos rasos (formações saturadas com hidrocarbonetos ou aquíferos), da janela operacional etc.

C) Revestimento intermediário

Revestimentos intermediários representam todos os revestimentos assentados entre o revestimento de superfície e o de produção. Esses revestimentos normalmente

são aplicados em poços que atravessam zonas de sobrepressão, onde mais fases são projetadas para o poço.

Nesses casos é necessário o assentamento do revestimento como forma a proteger a região abaixo das sapatas dos revestimentos anteriores de diferenciais de pressão entre a formação e o poço. As profundidades de assentamento dependerão do critério de assentamento aplicado, bem como a janela operacional em questão.

D) Revestimentos de produção

O revestimento de produção é um conjunto de tubos de aços que reveste o poço até a zona do reservatório, é descido com a finalidade de permitir a produção do poço, suportando as paredes do poço e possibilitando o isolamento entre os vários intervalos produtores.

Na figura 3.6, temos um esquema de um poço revestido, onde é mostrado a localização de cada um dos tipos de revestimentos citados.

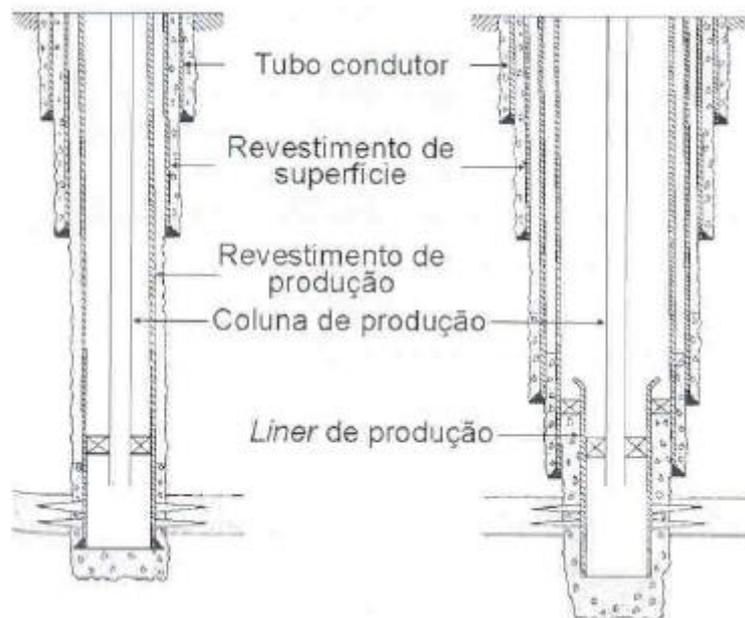


Figura 3.6 - Esquema de revestimentos (Fonte: Thomas, 2004)

Juntamente com os revestimentos devem ser também selecionados os acessórios e centralizadores. Os acessórios são elementos descidos com a coluna de revestimento, cujas posições devem ser pré-definidas e são indispensáveis para a operação, dentre eles estão a sapata (guia a coluna de revestimento). A sapata é o primeiro acessório a ser descido na coluna de revestimento, então a profundidade da sapata é a profundidade final da fase.

3.8. Profundidade de assentamento de sapatas

Para o desenvolvimento de um projeto de poço é necessário que se determine a profundidade do assentamento da sapata do revestimento de cada fase do poço.

Toda companhia de petróleo tem seus próprios critérios de assentamento de sapatas que vem de experiências adquiridas em zonas já conhecidas.

Durante a perfuração de um poço, diferentes problemas podem ser enfrentados, sendo característicos da profundidade nas quais ocorrem. Problemas como gases rasos, presença de aquíferos entre outros são típicos de profundidades mais rasas, abrangidas pelos revestimentos condutores e de superfície. Já para zonas mais profundas, temos as regiões de sobrepressão, que eleva a possibilidade de ocorrer influxo. Tal fato diminui a janela operacional do poço, aumentando o número de fases do poço. Para se posicionar a sapata é necessário conhecer os limites superiores (pressão de fratura e pressão de colapso superior) os limites inferiores (pressão de poros e pressão de colapso), as formações a serem atravessadas (tipo de formação, formações problemáticas) e o projeto do poço (vertical, direcional, horizontal).

É normal se descer um revestimento logo após a perfuração de uma zona problemática para se minimizar a chance de haver problemas no poço. De qualquer maneira o poço aberto deve permanecer estável, sendo assim o peso do fluido deve ficar entre os limites mínimos e máximos.

No caso do revestimento condutor, não existe um critério tão definido para se determinar a profundidade de assentamento do mesmo. Entretanto, essas profundidades são relativamente rasas, em torno de 3 a 20 metros para poços terrestres e de 10 a 50

metros abaixo do fundo do mar para poços marítimos. A profundidade de assentamento do condutor pode ser determinada com o intuito de cobrir uma zona de perda de circulação e também para sustentar as formações com sedimentos inconsolidados.

No caso do assentamento do revestimento de superfície, geralmente ele é feito com base na janela operacional e também com base na experiência que se tem na área, visando por exemplo, proteger aquíferos ou zonas de perda de circulação.

Para se determinar as profundidades onde devem ser assentadas as sapatas dos revestimentos mais profundos pode-se usar um critério baseado apenas na janela operacional como também um critério baseado na tolerância ao kick.

3.8.1 Critério de Assentamento Baseado Somente na Janela Operacional

Como nesse critério é considerada apenas a janela operacional, podemos definir a profundidade de assentamento diretamente utilizando os limites da janela operacional ou também podem ser usadas margens de segurança, essas margens de segurança variam de companhia para companhia. Para se definir as profundidades de assentamento utilizando esse critério, conhecida a profundidade final do poço traça-se uma linha vertical na janela operacional até cruzar o limite superior, onde deve ser assentada uma sapata de revestimento. A partir desse ponto definido, podemos definir a profundidade da outras sapatas fazendo o mesmo procedimento, traçando a seta vertical a partir da profundidade da ultima sapata.

Na figura 3.7, temos um exemplo de assentamento de sapata.

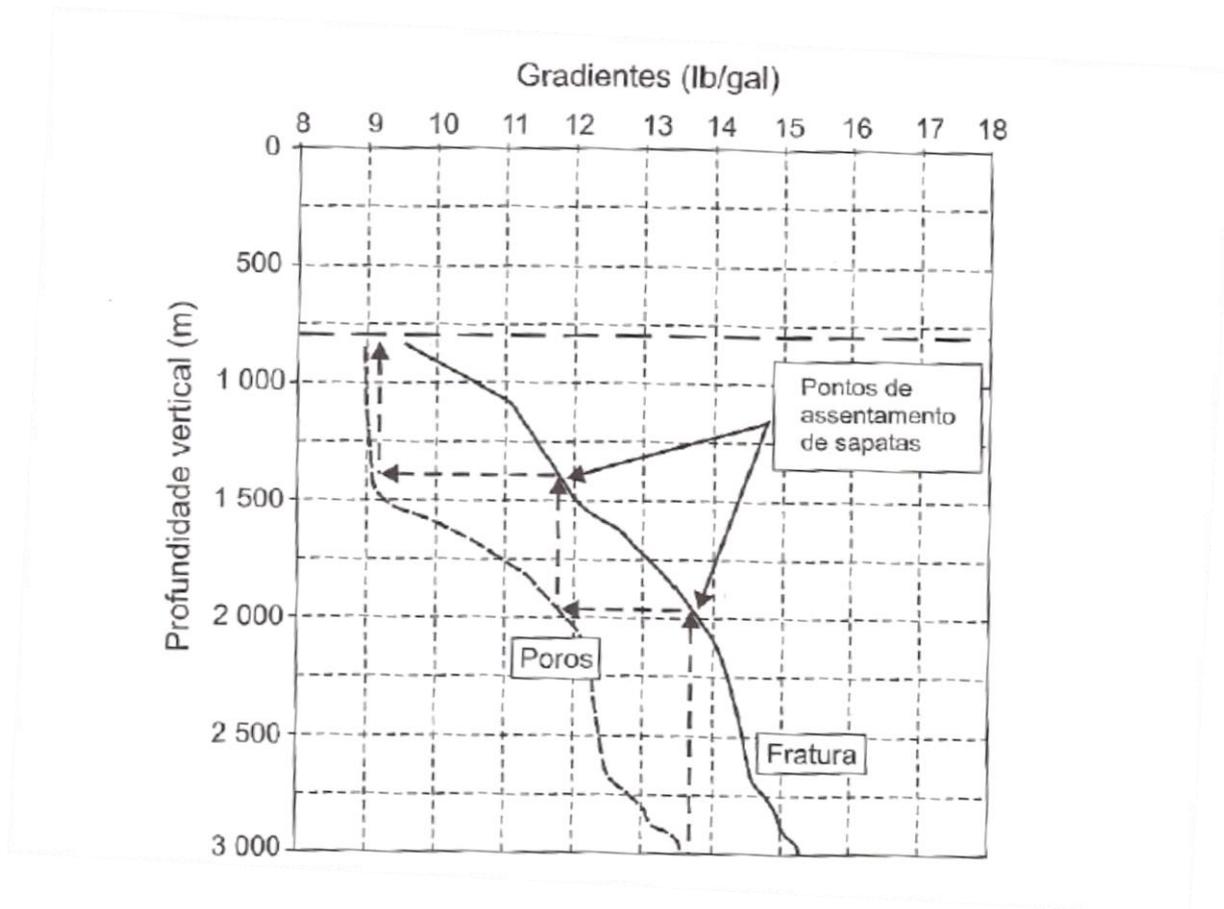


Figura 3.7- Exemplo de Assentamento de sapata (Fonte: Rocha et al, 2009)

3.8.2. Critério de Assentamento Baseado na Tolerância ao Kick

Nessa metodologia calcula-se a capacidade de ao se tomar um kick se conseguir fechar o poço com segurança.

Tolerância ao kick é definida como a máxima pressão de poros que ao se tomar um kick ainda permite o fechamento do poço com segurança, onde segurança é entendido como não causar fratura em nenhuma formação do poço aberto. A tolerância ao kick depende da magnitude do influxo, a qual deve ser definida.

O assentamento das sapatas baseado no critério de tolerância ao “kick” leva em consideração uma margem de segurança denominada de margem de pressão de poros, $\Delta\rho_{kt}$, dada por:

$$\Delta\rho_{kt} = \rho_{kt} - \rho_p \quad (3.11)$$

Onde:

ρ_{kt} = tolerância ao “kick” (lb/gal)

ρ_p = pressão de poros equivalente mais provável (lb/gal)

Existem duas maneiras de se determinar a profundidade de assentamento da sapata com base na tolerância ao kick:

- De Cima para baixo;
- De baixo para cima.

A) Assentamento de Cima para Baixo:

No assentamento de cima para baixo, temos como dado o início da fase e procuramos determinar a máxima profundidade que a fase pode atingir, além de calcular a tolerância ao kick, quando a tolerância ao kick atingir um valor igual ou menos do que a margem estabelecida uma sapata deve ser assentada (algumas empresas adotam 0,5 lb/gal como nível de segurança, ou seja, a diferença entre a tolerância ao kick e a pressão de poros estimada deve estar acima deste valor para que a perfuração prossiga com segurança). Essa metodologia leva a comprimentos de revestimento longos e normalmente mais caros, em certos casos pode diminuir o número de fase do poço, mas permite o poço prosseguir em condições seguras caso necessário.

Calcula-se ρ_{kt} (tolerância ao kick) “De Cima pra Baixo” variando-se a profundidade do poço com base na seguinte equação:

$$\rho_{kt} = \rho_m + \frac{D_{sap}}{D} (\rho_{fr} - \rho_m) - \frac{H_k}{D} (\rho_m - \rho_k) \quad (3.12)$$

Onde:

ρ_m = massa específica do fluido de perfuração (lb/gal);

ρ_{fr} = pressão de fratura equivalente mais provável (lb/gal);

ρ_k = massa específica do fluido invasor (lb/gal);

H_k = altura do fluido invasor no anular (m);

D_{sap} = profundidade da sapata do último revestimento (m);

D = profundidade do poço (m).

A profundidade de assentamento da sapata é determinada onde a diferença entre a tolerância ao kick e a pressão de poros equivalente mais provável fica menor que a margem de pressão de poros $\Delta\rho_{kt}$.

Na figura 3.8 é mostrado um exemplo de assentamento de sapada de cima para baixo baseado na tolerância ao kick.

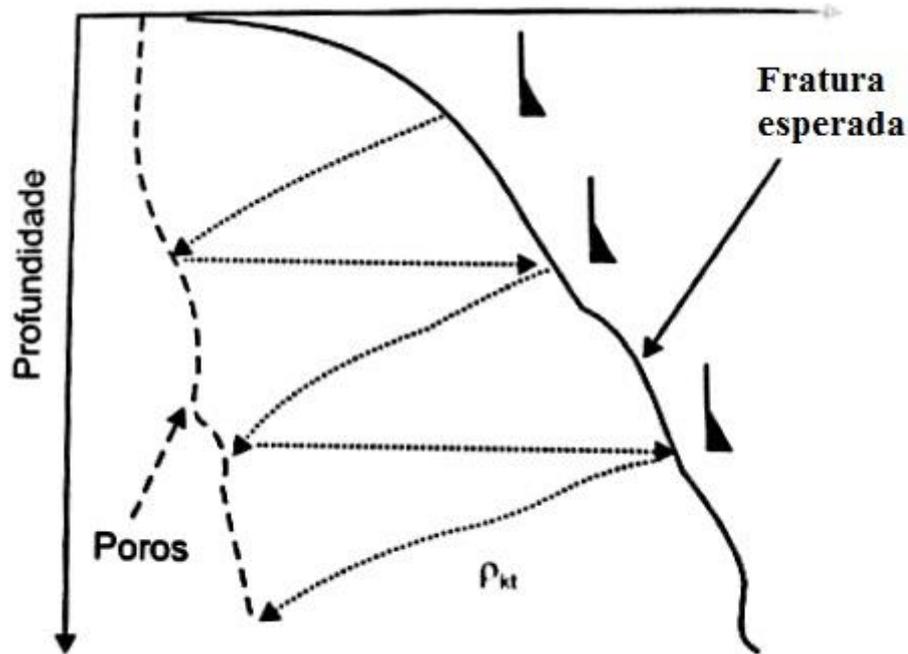


Figura 3.8- Exemplo de Assentamento de cima para baixo baseado na tolerância ao kick (Fonte: Rocha et al, 2009)

B) Assentamento de Baixo para Cima:

No assentamento de baixo para cima, conhecendo-se a profundidade do término da fase determina-se onde a fase deveria ter iniciado. Essa metodologia fornece comprimentos de revestimentos menores e mais econômicos.

Calcula-se a pressão de fratura equivalente requerida, $\rho_{fr,r}$ em lb/gal, “De Baixo pra Cima” variando-se a profundidade da sapata com base na seguinte equação:

$$\rho_{fr,f} = \rho_m + \frac{D}{D_{sap}} (\Delta\rho_{kt} + \rho_\rho - \rho_m) - \frac{H_k}{D_{sap}} (\rho_m - \rho_k) \quad (3.13)$$

Onde:

ρ_m = massa específica do fluido de perfuração (lb/gal);

ρ_k = massa específica do fluido invasor (lb/gal);

H_k = altura do fluido invasor no anular (m);

D_{sap} = profundidade da sapata do último revestimento (m);

D = profundidade do poço (m).

A profundidade de assentamento da sapata é determinada onde a pressão de fratura equivalente requerida se tornar maior que a pressão de fratura esperada da formação.

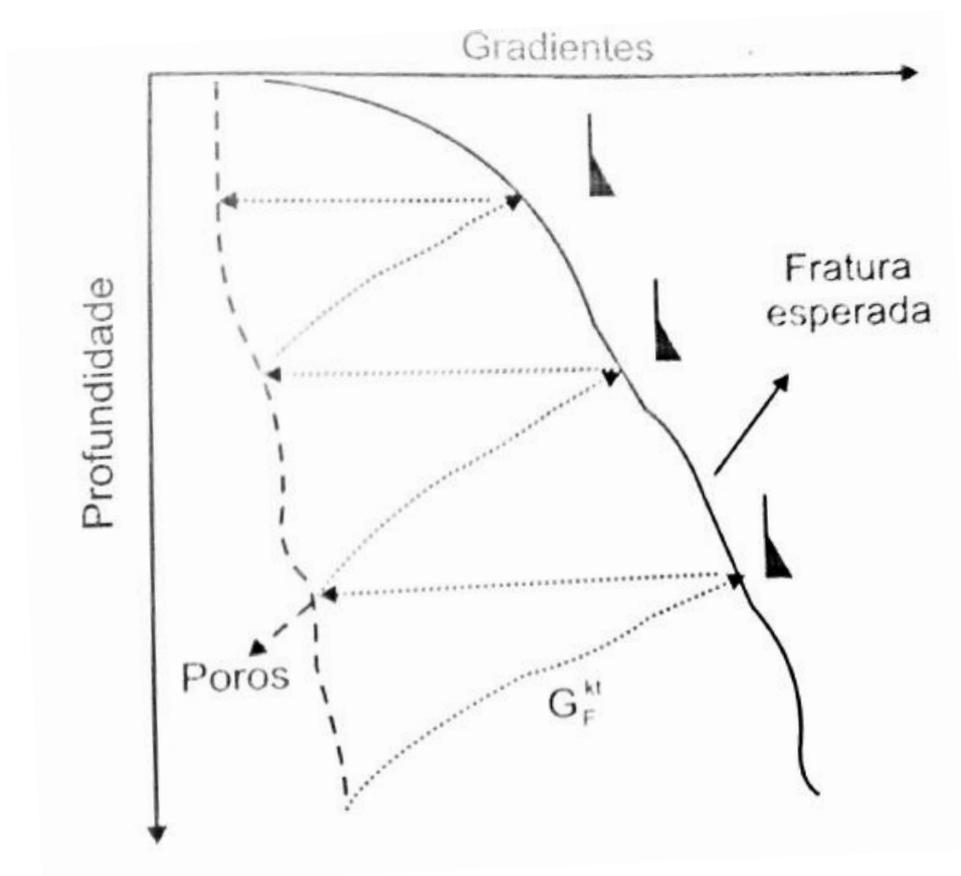


Figura 3.9 - Exemplo de Assentamento de baixo para cima baseado na tolerância ao kick (Fonte: Rocha et al, 2009)

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.

A metodologia adotada no presente trabalho caracteriza-se por um levantamento bibliográfico sobre geopressões e assentamento de sapatas de revestimento, bem como exemplos de assentamentos em poços da bacia potiguar, para isso são utilizados 2 poços do banco de dados da empresa Petróleo Brasileiro S.A e mais um outro exemplo. (Petrobras), que disponibilizou alguns dados de poços perfurados na bacia potiguar.

Para manter em sigilo os poços utilizados, esses poços serão referenciados como poço A, poço B e poço C. Todos os dados desses poços serão apresentados no capítulo 5.

Capítulo 5

Exemplos de assentamento de sapatas e de testes de absorção

5. Exemplos de assentamento de sapatas e de testes de absorção

No presente capítulo são mostrados exemplos de assentamento de sapatas e de testes de absorção, que são provenientes do banco de dados da Petrobras, para preservação dos dados, não foi utilizado o nome real dos poços.

5.1. Poço A

Na figura 5.1, temos a janela operacional do Poço A, onde consta as profundidades de assentamento das sapatas. No caso dessa janela operacional, temos um bom espaço de variação de peso de fluido, o que facilita muito na hora de decidir as profundidades das sapatas de revestimento. Como temos uma janela assim, o assentamento da sapata do revestimento diz respeito principalmente a cobrir as zonas que podem provocar problemas no poço, como por exemplo, o revestimento de 13 3/8", que foi assentado a uma profundidade de 600 m, cobrindo as formações Jandaíra e Açú, como mostrado, provavelmente essas zonas devem ser constituídas por formações pouco consolidadas ou podem também conter aquíferos ou perdas de circulação, sendo necessário ser revestidos para prosseguir a perfuração em condições seguras

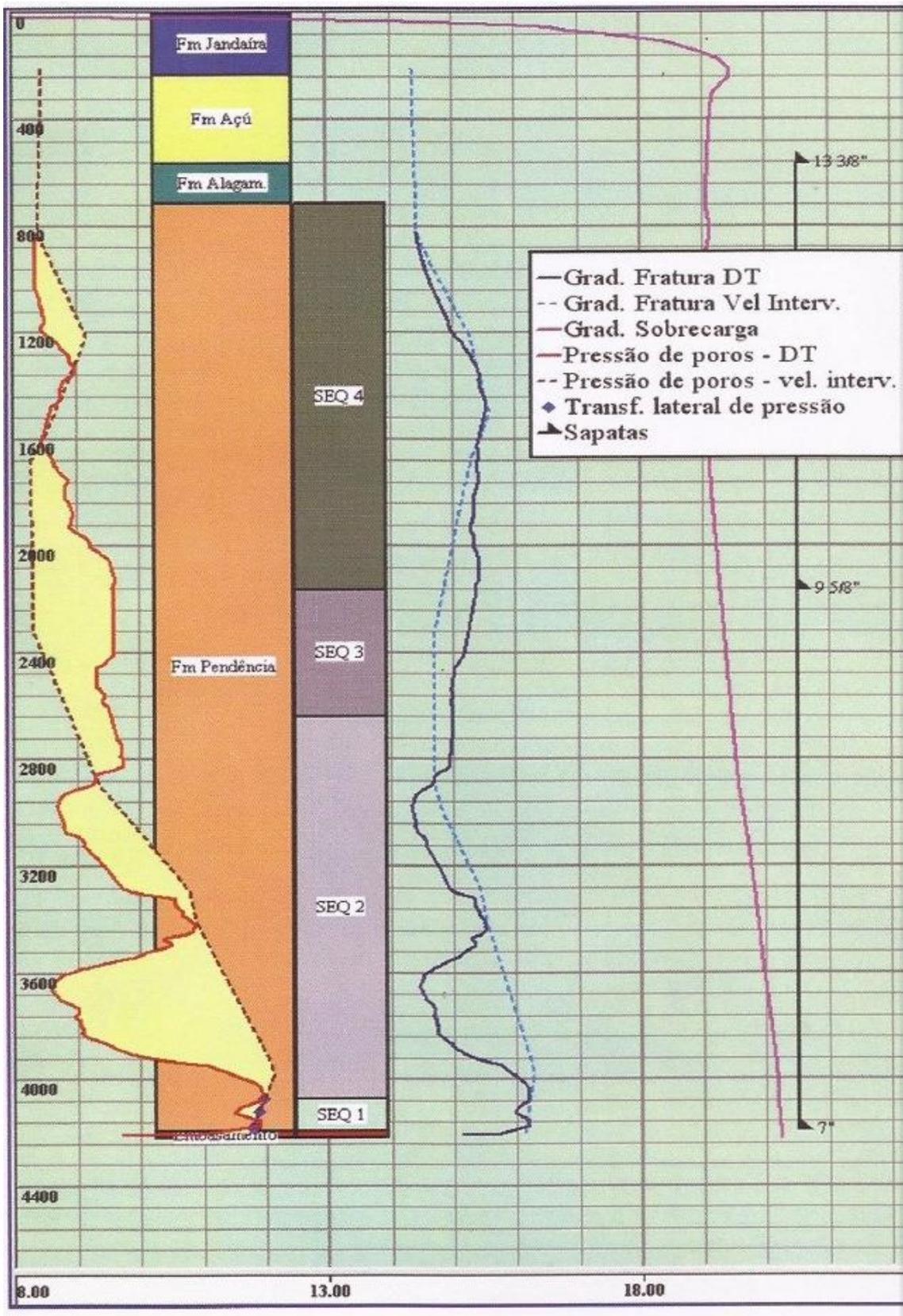


Figura 5.1 - Janela operacional do poço A

O teste de absorção realizado no poço A, do tipo FIT, foi realizado a uma profundidade de 1015 m, logo abaixo do revestimento de 9 5/8” com o objetivo de checar a pressão de absorção da rocha e determinar se havia possíveis vazamento nos equipamentos de superfície durante a pressurização no teste de absorção foram monitoradas as variáveis de pressão, vazão e volume. Foi definida uma pressão máxima de 2500 psi para realizar o teste.

A seguir temos os gráficos referentes a esse teste de absorção:

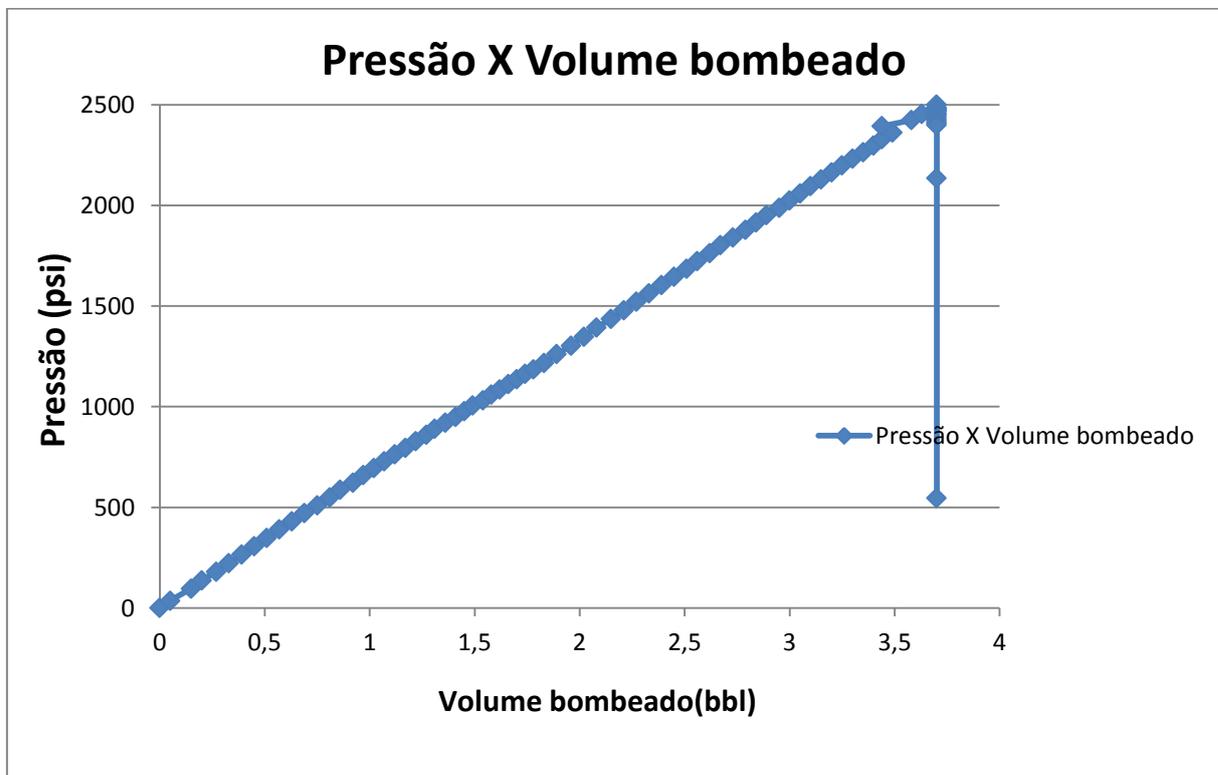


Figura 5.2 – Gráfico pressão x tempo do teste (FIT)

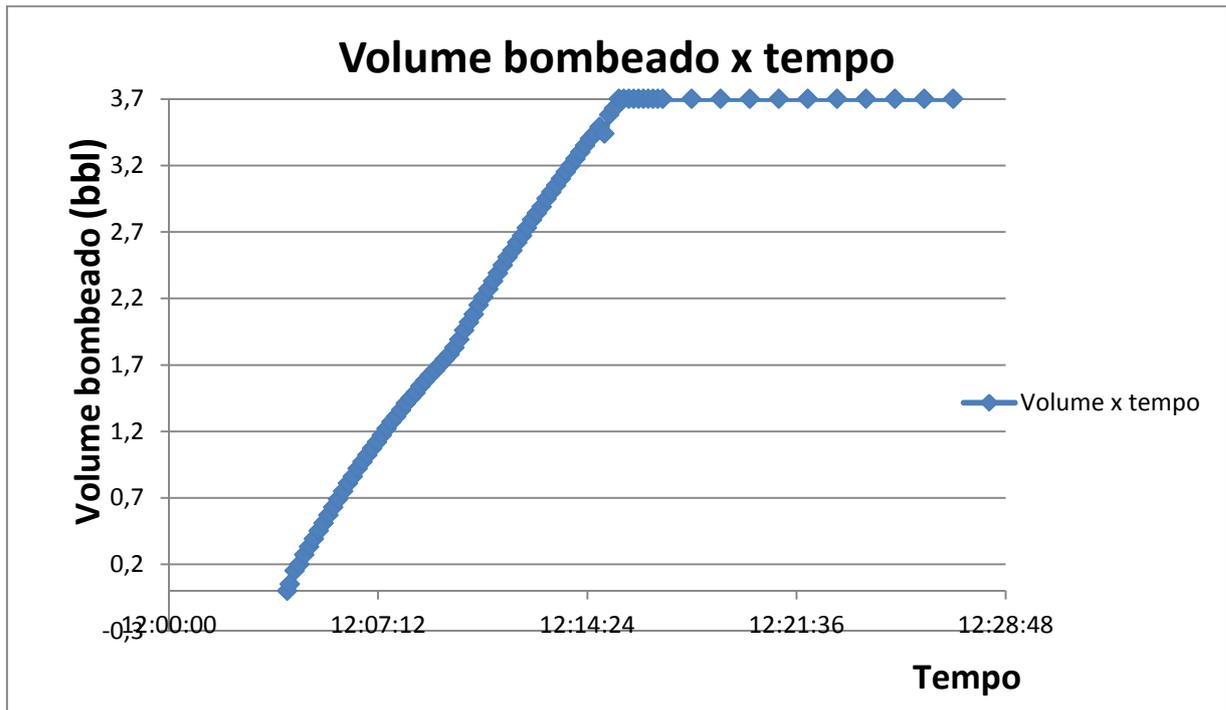


Figura 5.3 – Gráfico volume x tempo (FIT)

Podemos observar na figura 5.2 que não houve quebra da formação, pois não houve considerável mudança de linearidade no gráfico, a mudança que ocorreu se deu devido a parada da pressurização devido a injeção do fluido, o que pode ser visto na figura 5.3 que há uma parada na injeção dos fluidos quando se atinge 3,7 bbl de fluido injetado. Não foi observada absorção pela formação próxima a pressão máxima, então foi concluído o teste, embora o teste não tenha chegado a fraturar a formação definindo assim a pressão de absorção, o teste foi conclusivo devido ter mostrado que não estava ocorrendo vazamento de fluido. Como foi definida uma pressão máxima a ser atingida e não houve quebra da formação, o teste serviu também como teste de integridade de formação (FIT).

5.2. Poço B

Na figura 5.4, temos a janela operacional do Poço B, com as devidas profundidades da sapata junto com o gráfico do peso do fluido utilizado. Assim como no poço A, o que podemos observar é que temos um bom espaço de variação de peso de fluido também no poço B, no poço B foi colocado um revestimento de 20'' a 160 m com o intuito de revestir zonas pouco consolidadas, logo após foi descido um revestimento de 13 3/8'' a 720 m, onde foi realizado um teste de absorção que está

descrito posteriormente, após isso foi assentado um revestimento de 9 5/8 a uma profundidade de 1820 m, logo após uma zona de ameaça de prisão de coluna, podemos observar que a 3020 a pressão do fluido foi menor que a pressão de poros, o que ocasionou um kick, então foi controlado o kick, com o devido aumento do peso do fluido e então assentado o ultimo revestimento, de 5 1/2'' com sapata a aproximadamente 4075 m.

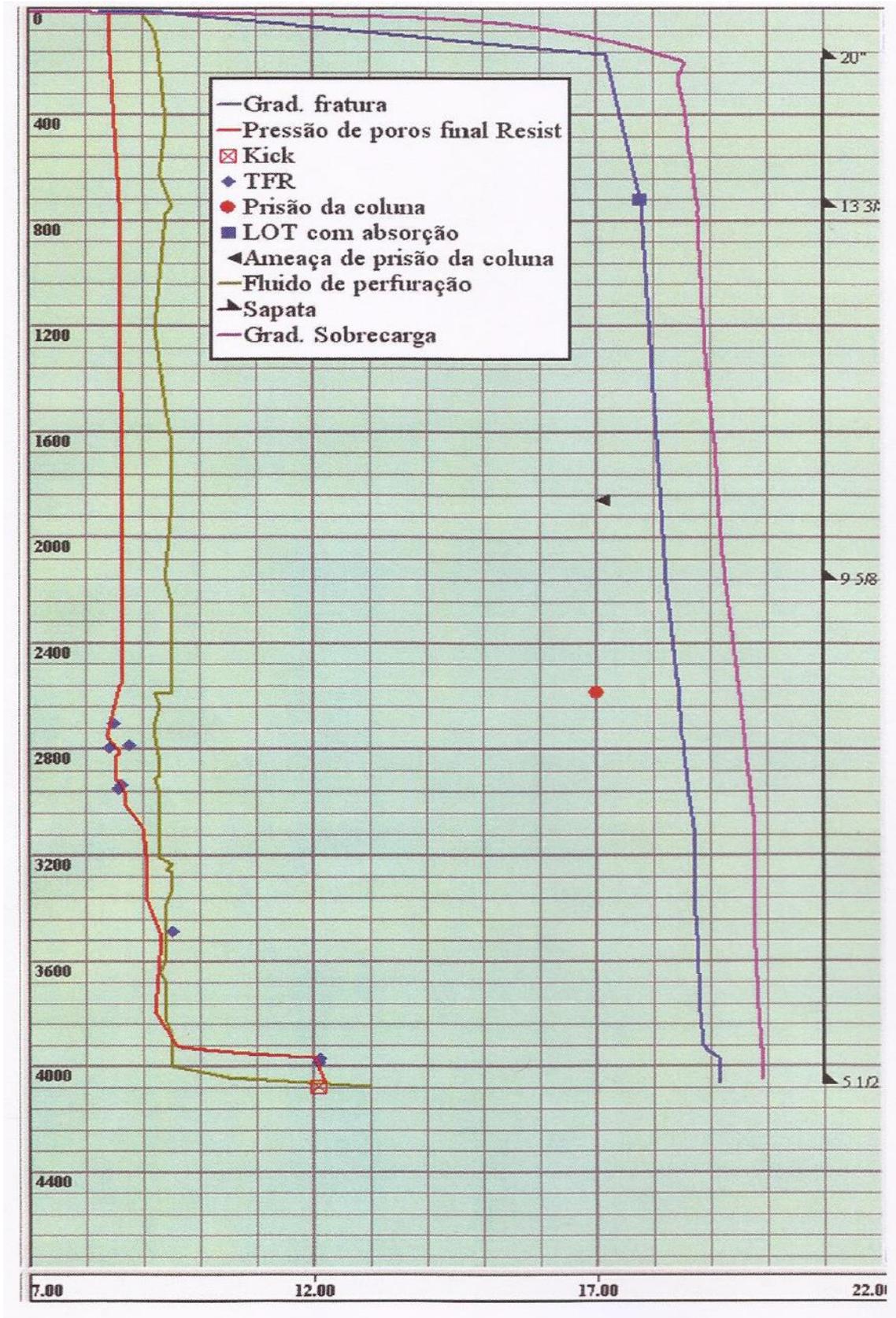


Figura 5.4 - Janela operacional do poço B

A seguir temos a tabela do teste de absorção do poço B, a linha amarela corresponde ao ponto da pressão de absorção.

Tabela 5.1 - Dados do teste de absorção do poço B

Tempo	Pressão (psi)	Volume (bbl)
07:48:23	5	0,1
07:48:34	33	0,2
07:48:50	105	0,3
07:49:06	225	0,4
07:49:21	367	0,5
07:49:38	502	0,6
07:49:52	610	0,7
07:50:12	774	0,8
07:50:30	926	0,9
07:50:48	1066	1
07:51:06	1198	1,1
07:51:36	1400	1,2
07:51:47	1470	1,3
07:52:07	1591	1,4
07:52:42	1638	1,4
07:53:00	1625	1,4
07:53:20	1609	1,4
07:53:34	1600	1,4
07:54:00	1584	1,4
07:54:23	1569	1,4
07:54:50	1554	1,4
07:55:00	1549	1,4
08:00:00	1439	1,4
08:01:00	1422	1,4

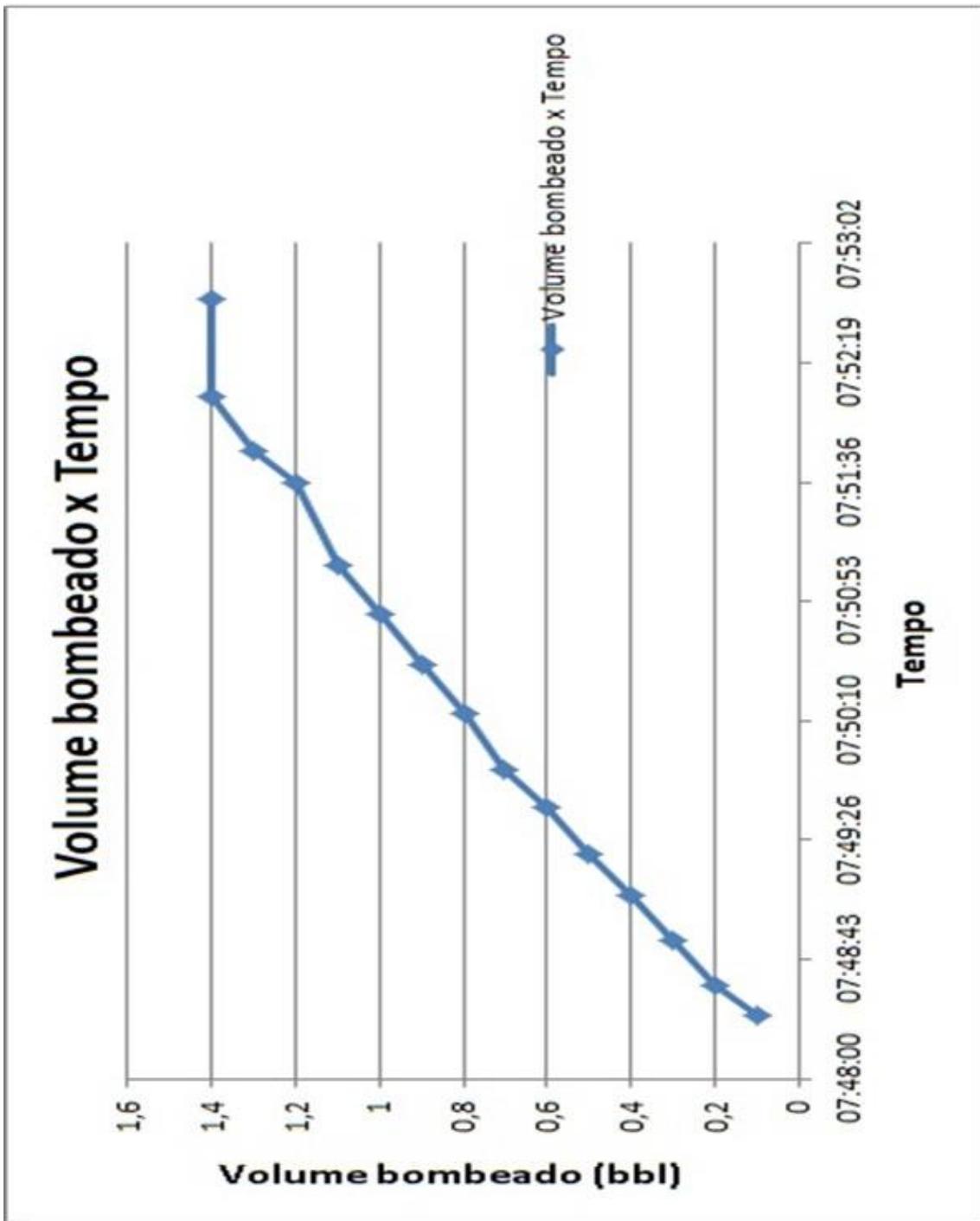


Figura 5.5– Gráfico volume x tempo do teste de absorção

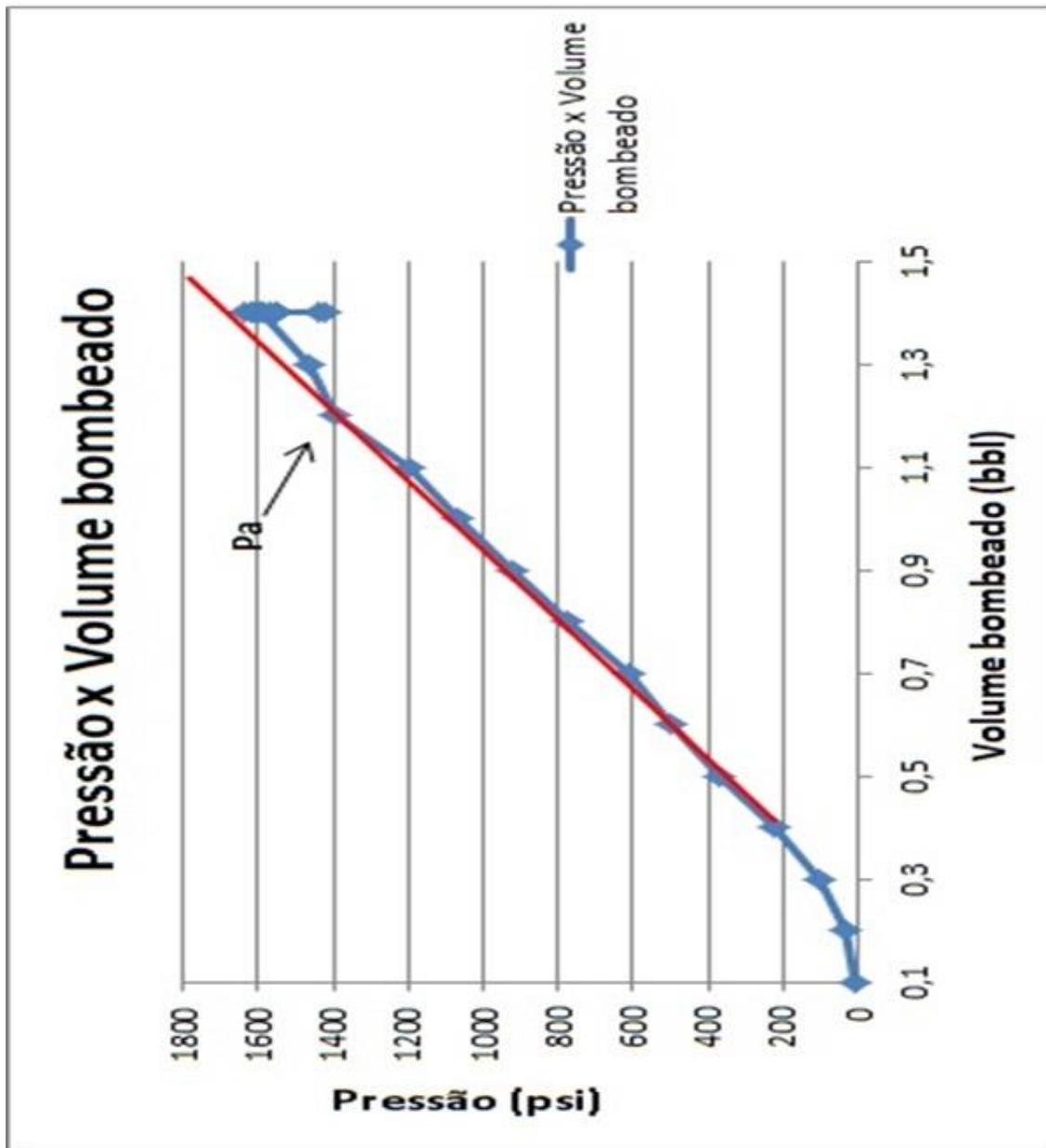


Figura 5.6– Gráfico pressão x tempo do teste de absorção

Podemos observar nas figuras 5.5 e 5.6 que diferentemente do teste realizado no poço A, o teste realizado no poço B nos mostra a pressão de absorção, que ocorre onde o gráfico sai da linearidade, ponto esse que está descrito na tabela 5.1.

5.3. Poço C

A seguir será mostrado um exemplo de assentamento de sapata onde foi definido que seria utilizado um revestimento de 7" com sapata assentada a 15000 pés, foi definido também que o mínimo comprimento que o revestimento de superfície para proteger os aquíferos era de 2000 pés e que o condutor deveria está em torno de 180 pés para conter as formações pouco consolidadas.

Na figura 5.7, temos a janela operacional do poço C, nessa janela operacional já foi considerada uma margem de segurança de 0,5 lb/gal.

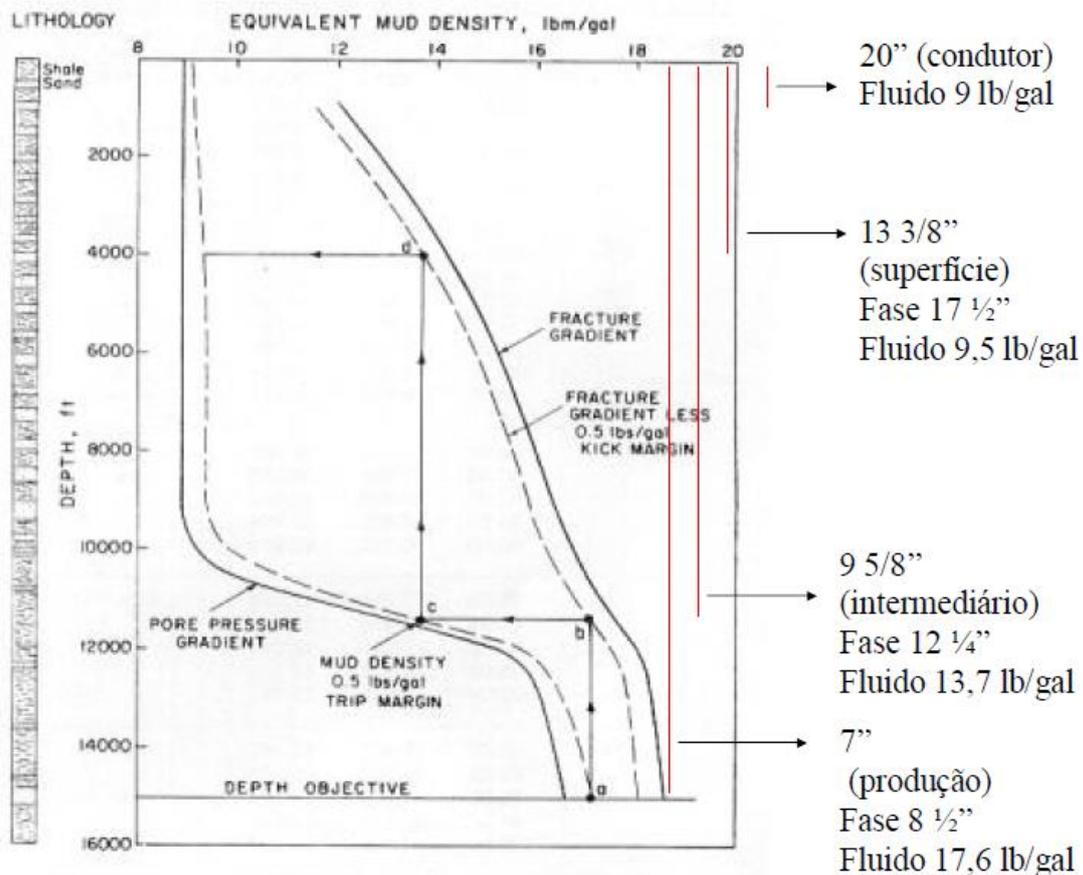


Figura 5.7 - Janela operacional do poço C

A figura 5.7 mostra um esquema de assentamento de baixo pra cima, que foi utilizado já que foi definida a profundidade final do ultimo revestimento.

Capítulo 6

Conclusões

6. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados os tipos de geopressões que formam a janela operacional, que é de grande importância na elaboração de projetos de poços, pois determina a variação permitida para a pressão exercida pelo fluido de perfuração dentro do poço, de forma a manter a perfuração em condições seguras, respeitando as limitações do poço. Foram apresentados também as maneiras de se determinar a profundidade de sapatas de revestimento e foram mostrados alguns exemplos reais de profundidades determinadas, exemplos esses cedidos pela Petrobras, que também cedeu exemplos reais de resultados de testes de absorção, também mostrados nesse trabalho.

Capítulo 7

Referências Bibliográficas

7. Referências Bibliográficas

CORRÊA, Stefano Gomes **Instabilidade Mecânica de Formações Calcareníticas em Poços de Petróleo**/ Stefano Gomes Corrêa - Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Centro Universitário do Norte / Laureate International Universities. Curso de Tecnologia em Petróleo e Gás, 2011.

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

MITCHELL, R. F., MISKA, S. Z., **Fundamentals of Drilling Engineering**. 1e, Richardson, Society of Petroleum Engineers, 2011

PEREIRA, BRUNO CÉSAR MURTA **Proposta de uma Metodologia para Estimativa de Geopressões** [Rio de Janeiro] 2007 XII, 120 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2007) Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

RAMIREZ P., Paul Richard. **Metodologia para determinar as profundidades de assentamento das Sapatas dos Revestimentos de Poços de Petróleo em Águas Profundas**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 120p. Dissertação (Mestrado).

ROCHA, L.A.; BOURGOYNE, A.T. **A new simple method to estimate fracture pressure gradient**. In: SPE International Petroleum Conference and Exhibition, Veracruz, SPE 2871, 1996.

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

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