

ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE REVESTIMENTOS E DIMENSIONAMENTO DE BOP PARA PROJETOS DE POÇOS DE PETRÓLEO

Felipe Reis e Silva ^[1]; Bianca Gabriel de Souza ^[2]; Rafaela Santos de Andrade ^[3]; Hariel Udi Santana Mendes ^[4]

^[1] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – felipe.280293@gmail.com

^[2] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – bianca.sba@hotmail.com

^[3] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – ra_fahandrade@hotmail.com

^[4] Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo – harieludi@hotmail.com

RESUMO

Determinar as geopressões é uma das principais etapas para realização de um projeto de poços e essa etapa é de tamanha importância, porque permite estipular curvas de sobrecarga, fratura, pressão de poros e colapso. A partir dessas curvas pode-se restringir a janela operacional, cuja mesma definirá o peso específico do fluido de perfuração e o assentamento de sapatas. Esse peso específico do fluido de perfuração precisa estar entre a curva de gradiente de poros e gradiente de fratura, caso contrário, poderá acarretar problemas durante a perfuração. Com isso, é possível fazer escolha certa do BOP e estimar o tempo de perfuração. Para o assentamento das sapatas de revestimentos, relaciona-as 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. Diante disso, esse trabalho elabora dois projetos de poços, um com assentamento de sapatas com base na janela operacional e outro, utilizando o critério de tolerância ao kick, sendo definidas as profundidades de assentamentos de sapatas, pesos dos fluidos, diâmetros dos revestimentos e realizado o dimensionamento do BOP para a perfuração.

Palavras-chave: Geopressões, Janela Operacional, Assentamento de Sapatas, Dimensionamento de BOP.

1. INTRODUÇÃO

Na etapa de perfuração de um poço de petróleo, várias fases são perfuradas com calibres diferentes e a cada mudança nesse calibre do poço, é revestido e cimentado. O número de fases poderá ser definido através das propriedades como profundidade, quantidade de zonas perfuradas e a análise de geopressões da área a ser perfurada. Os motivos para perfurar em fases e consequentemente 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 [1].

É de grande importância a elaboração de um projeto de poço de petróleo, visto que seu grande objetivo é evitar a elaboração de estratégias inadequadas ou inseguras que podem ser ocasionadas devido às pressões de colapso, de poros de fratura e sobrecarga, as quais formam a janela operacional de um poço. 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 [2]. 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 [1].

Um sistema de prevenção de blowout submarino (BOP) desempenha um papel extremamente importante no fornecimento de condições seguras de trabalho para atividades de perfuração em regiões costeiras e de águas ultraprofundas de 10.000 pés. Falhas no BOP submarino poderiam causar acidentes catastróficos, como a explosão da plataforma de perfuração em águas profundas Deepwater Horizon e o derramamento de óleo na costa da Louisiana em 20 de abril de 2010. Para isso um bom dimensionamento deve se levar em conta fatores como lamina d'água e kicks, para dar uma maior segurança do poço [3].

Perante isso, o objetivo desse presente trabalho é realizar dois projetos de poços de petróleo através das geopressões e janela operacional, que respeitem as normas de segurança e que sejam economicamente viáveis. O Projeto A utilizará a metodologia de assentamento de sapatas somente através da janela operacional e o Projeto B usará o critério de tolerância ao kick diferencial mínima. Serão definidas as profundidades de assentamento das sapatas de revestimento, os diâmetros das colunas de revestimento e das brocas e o peso de fluido de perfuração utilizados para cada fase serão selecionados, além de uma estimativa para o tempo de perfuração dos poços e dimensionamento do BOP.

2. METODOLOGIA

A primeira etapa adotada para realização do trabalho foi construir a janela operacional para o projeto do poço. Janela esta que é definida através das curvas de gradiente de sobrecarga, gradiente de poros (limite inferior) e gradiente de fratura (limite superior), para assim utilizar dois tipos de critérios para o assentamento de sapatas [4].

Como ponto de partida utilizou-se os dados apresentados na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Dados disponíveis de projeto.

Lâmina d'água:	1 000 metros
Profundidade final:	5 000 metros
Air gap:	25 metros
Gradiente normal da formação:	8,5 lb/gal
Expoente de Eaton	3,0
Valor de K para o poço inteiro	0,67
Densidade do fluido invasor:	2 lb/gal;
Tolerância ao kick diferencial mínima:	0,5 lb/gal
Diferencial de pressão mínimo:	1000 psi

Tabela 2 – Dados de Profundidade (m) e Tempo de Trânsito ($\mu\text{s}/\text{ft}$).

Prof. (m)	Δt ($\mu\text{s}/\text{ft}$)	Prof. (m)	Δt ($\mu\text{s}/\text{ft}$)	Prof. (m)	Δt ($\mu\text{s}/\text{ft}$)	Prof. (m)	Δt ($\mu\text{s}/\text{ft}$)
1000	152,1	2100	109,0	3100	82,3	4100	78,5
1100	148,9	2200	104,3	3200	82,8	4200	75,2
1200	145,4	2300	104,3	3300	83,3	4300	75,2
1300	141,1	2400	99,4	3400	83,3	4400	72,2
1400	137,0	2500	96,9	3500	83,8	4500	72,2
1500	133,1	2600	93,8	3600	83,5	4600	69,4
1600	128,9	2700	93,8	3700	83,5	4700	66,8
1700	124,7	2800	86,5	3800	82,4	4800	66,8
1800	119,6	2900	83,8	3900	81,4	4900	65,0
1900	114,5	3000	82,3	4000	81,4	5000	65,0
2000	111,6						

A princípio, a densidade de cada camada pode ser obtida a partir dos dados da Tabela 2, para determinar o gradiente de sobrecarga. Para isso, usa-se o Método de Gardner [4] pela equação (1).

$$\rho_b = a \left(\frac{10^6}{\Delta t} \right)^b \quad (1)$$

Onde: ρ_b = Densidade total da formação (g/cm^3); a = Constante empírica (valor usual igual a 0,23, definido para o Golfo do México); b = Expoente empírico (valor usual igual a 0,23, definido para o Golfo do México).

A partir disso é possível estimar a tensão de sobrecarga (σ_{OV}) de cada camada através da equação (2) [4].

$$\sigma_{OV} = 1,422 \left(\rho_w D_W + \sum_0^N \rho_{bi} \Delta D_i \right) \quad (2)$$

Onde: ρ_{bi} = Densidade de cada camada da formação (g/cm^3); ρ_w = Densidade da água do mar (g/cm^3). Para poços marítimos, o valor típico da densidade da água do mar seria $1,03 \text{ g}/\text{cm}^3$ ou $8,5 \text{ lb}/\text{gal}$; D_W = Lâmina d'água (metros); ΔD_i = Intervalos de profundidade (metros).

Logo após, será feita o somatório das pressões exercidas por camada a camada que por fim, o gradiente de sobrecarga (G_{OV}) será estimado por meio da equação (3).

$$G_{OV} = \frac{\sigma_{OV}}{C \times D} \quad (3)$$

Onde: D = Profundidade vertical (metros); C = Constante de conversão de unidades (0,1704).

Um gráfico semilog de Profundidade vs Tempo de Trânsito é plotado, para determinar uma curva de compactação normal (trend). Para se calcular o coeficiente angular (m), dois pontos da reta são selecionados, os quais estão entre as profundidades de 1500m e 2500m, pelo fato de se encontrarem em um intervalo normalmente pressurizado. Onde o coeficiente angular é encontrado pela equação (4).

$$m = \frac{\log(\Delta t_2) - \log(\Delta t_1)}{D_2 - D_1} \quad (4)$$

Com o coeficiente angular da reta, encontra-se o tempo de trânsito normal, através da equação (5). O gradiente de pressão de poros pode ser estimado através do Método de Eaton (equação (6)) [4].

$$\Delta t_n = \Delta t_1 \cdot 10^{m(D-D_1)} \quad (5)$$

$$G_p = G_{OV} - \left[(G_{OV} - G_N) * \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t_0} \right)^3 \right] \quad (6)$$

Onde: Δt_0 = Tempo de trânsito observado (tabela 2).

Para determinar a pressão e gradiente de fratura, deve-se usar a correlação existente entre as tensões efetivas horizontais mínimas e a vertical, definida por K [4]. Para esse projeto tomou-se o valor de K sendo 0,67 para toda extensão do poço.

Tendo os dados até o momento, pode se calcular o gradiente de fratura através do Método da Tensão Mínima (equação (7)) [4].

$$G_F = G_P + K (G_{OV} - G_p) \quad (7)$$

Com todos os dados obtidos até então a janela operacional é montada. Foi colocado uma margem de segurança de 0,5 lb/gal em relação ao gradiente de poros para uma maior segurança do projeto. Os revestimentos de zonas superficiais (revestimento condutor e de superfície) foram assentados utilizando a metodologia expressa em [5].

A partir da janela operacional foram determinados os critérios para o assentamento de sapatas dos revestimentos mais profundos, o Projeto A utilizou o critério baseado somente na janela operacional, no qual o assentamento é realizado utilizando a curva da margem de segurança do gradiente de poros última profundidade do poço (5000 m), traçando-se uma linha vertical para cima até esta cruzar a curva do gradiente de fratura. Neste ponto de interseção deve ser assentada uma sapata de revestimento [4]. Repete-se o processo para a definição das outras sapatas de revestimento, conforme ilustrado pela Figura 1.

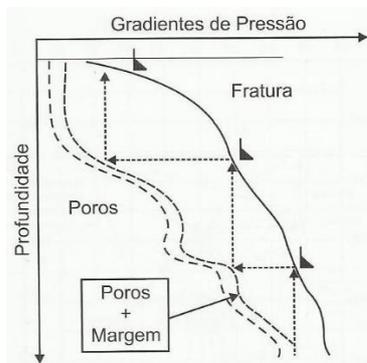


Figura 1 – Metodologia para assentamento de sapatas de acordo com a janela operacional [4].

O Projeto 2 utilizou o critério de assentamento baseado na tolerância ao kick diferencial. Este critério utiliza uma margem de segurança que existe em relação ao valor da pressão de

poros estimada para que, na ocorrência de um kick, não haja fratura da formação mais fraca [4]. Algumas empresas adotam 0,5 lb/gal como nível de segurança e critério de parada da perfuração, ou seja, quando o $\Delta\rho_{kt}$ atinge a margem de segurança a coluna de revestimento é descida [4]. A equação de tolerância ao kick diferencial ($\Delta\rho_{kt}$) é dada pela equação (8).

$$\Delta\rho_{kt} = \frac{D_{fm} * (G_f - \rho_{mud})}{D_h} - \frac{h_k * (\rho_{mud} - \rho_k)}{D_h} + \rho_{mud} - G_p \quad (8)$$

Onde: D_{fm} é a profundidade da formação mais fraca; D_h é a profundidade do poço; G_{fm} é o gradiente de fratura da formação mais fraca; h_k é a altura do kick; ρ_{mud} é o peso específico do fluido de perfuração e ρ_k é a densidade do fluido invasor.

Quando o gradiente de pressão de poros diminui e causa grandes diferenças de pressão entre o poço e a formação, a consequência será danos à formação produtora e prisão por diferencial de pressão da coluna de perfuração, gerando problemas operacionais, como, por exemplo, parada da perfuração. Para que isto não ocorra, um revestimento deve ser assentado sempre que o diferencial de pressão atingir um valor preestabelecido [4]. Para ambos os poços, será verificado o diferencial de pressão mínimo permitido entre poço e formação, que será de 1000 psi, através da equação (9) [4].

$$\Delta P = 0,1704 * (\rho_{mud} - G_p) * D \quad (9)$$

A escolha dos diâmetros dos revestimentos pode ser feita de baixo para cima. Nos projetos do poço do presente trabalho, o revestimento da fase de produção será de 7 in. Os revestimentos restantes serão escolhidos de acordo com a metodologia apresentada em [4].

O dimensionamento do BOP será feito utilizando o critério da máxima pressão de poros e levando em consideração o efeito da lâmina d'água, conforme equações (10), (11) e (12).

$$P_{BOP} = 0,1704 * D_h * G_{pMax} - P_{H gas} - P_{LDA} \quad (10)$$

$$P_{H gas} = 0,1704 * (D_h - D_{BOP}) * \rho_{gas} \quad (11)$$

$$P_{LDA} = 0,1704 * D_w * \rho_w \quad (12)$$

Sendo que P_{LDA} = Pressão devida à lâmina d'água (psi) e D_{BOP} = Profundidade do BOP (m).

É importante ressaltar que os BOP's são fabricados em ranges de pressão de 5000, 10000 e 15000 Psi. Com isso, é importante escolher o BOP que suporte as pressões de poros máxima e de fratura [4].

Em seguida, é feita a escolha do peso do fluido utilizando como base as geopressões que formam a janela operacional. O peso ideal é a média entre as pressões de poros e de fratura, sendo igual à tensão horizontal [4], definido pela equação (13).

$$\sigma_H = \frac{P_P + P_F}{2} \quad (13)$$

Para determinar o tempo de perfuração foram utilizados dados de um poço de correlação encontrado em [4].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os revestimentos mais superficiais foram assentados a 1050 m (revestimento condutor) e 1500 m (revestimento de superfície), utilizando a metodologia apresentada em [5] para ambos projetos A e B. Os revestimentos mais profundos foram definidos a partir da janela operacional que foi construída a partir das equações (1)-(7). O Projeto A utilizou a metodologia de assentamento baseado somente na janela operacional (Figura 2.a) e o Projeto B utilizou a metodologia de assentamento baseado na tolerância ao kick diferencial (Figura 2.b)

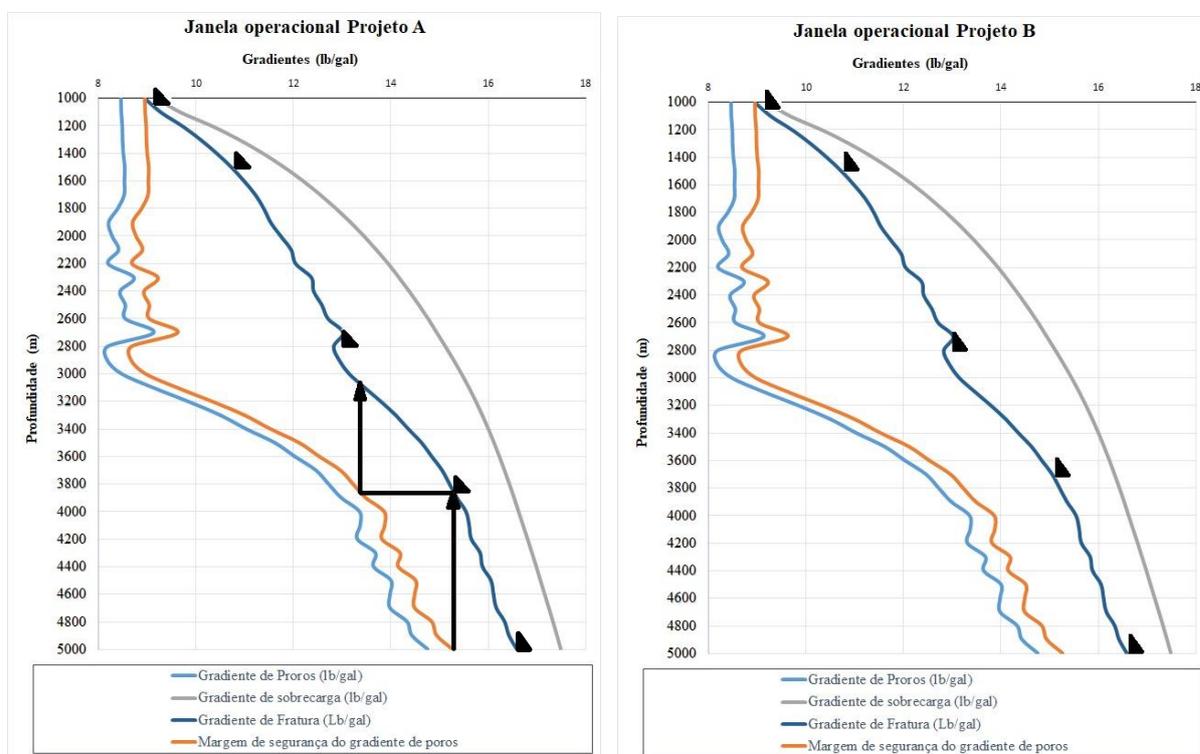


Figura 2 – Janelas operacionais e profundidades de assentamento das sapatas de revestimento para: a) Projeto A e b) Projeto B. Próprio autor.

Para o Projeto A, o revestimento de produção será assentado a 5000 m (final do poço) e os revestimentos intermediários (1) e (2) serão assentados em 2800 m e 3900 m, respectivamente. Deve-se destacar que pelo critério da janela operacional, o rebatimento ocorreu em 3100 m, porém como o diferencial de pressão mínimo (1000 psi) foi atingido em 2800 m, resolveu-se assentar a coluna de revestimento nesta profundidade, por questões de segurança operacional.

No Projeto B, o revestimento de produção será assentado a 5000 m (final do poço) e os revestimentos intermediários (1) e (2) serão assentados em 2800 m (devido ao diferencial de pressão – equação 9) e em 3700 m (equação 8). É importante ressaltar que ao calcular o $\Delta\rho_{kt}$

após 3700 m, encontrou-se um valor menor que 0,5 (margem de segurança) em 4800 m, contudo não seria viável economicamente iniciar uma nova fase em 4800 m para finalizá-la em 5000 m (final do poço), logo, decidiu-se manter a última fase de 3700 m até 5000 m e apenas aumentar o peso de fluido de perfuração nos últimos 200 metros para não haver problema de *kick*.

A Tabela 3 sintetiza os resultados encontrados para o assentamento das sapatas e os diâmetros de revestimentos utilizados em cada fase da perfuração do poço.

Tabela 3 – Diâmetros escolhidos e profundidades de assentamento dos revestimentos para os projetos A e B.

Revestimento	Diâmetro do revestimento (in)	Prof. de assentamento do revestimento (m) –	
		Projeto A	Projeto B
Condutor	30	1050	1050
Superfície	20	1500	1500
Intermediário (1)	13 3/8	2800	2800
Intermediário (2)	9 5/8	3900	3700
Produção	7	5000	5000

Para o dimensionamento do BOP foram utilizadas as equações (10), (11) e (12). Os resultados encontrados foram:

$$P_{LDA} = 0,1704 * 1000 * 1 = 170,4 \text{ psi}$$

$$P_{H \text{ gas}} = 0,1704 * (5000 - 1025) * 2 = 1354,68 \text{ psi}$$

$$P_{BOP} = 0,1704 * 5000 * 14,75 - 170,4 - 1354,65 = 11050,47 \text{ psi}$$

Pelos tipos de BOP existentes no range de 5000, 1000, 15000 psi, o BOP escolhido será o de 15000 psi para ambos projetos.

Para determinar o peso do fluido de perfuração, a equação (13) foi utilizada. A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados para os pesos de fluido e a escolha do diâmetro das brocas utilizadas na perfuração para cada fase.

Tabela 4 – Diâmetros de brocas escolhidos e pesos de fluido ótimos para cada fase dos projetos de poços

Diâmetro da Broca (in)	Projeto A		Projeto B	
	Intervalo de Profundidade (m)	Peso de fluido ótimo (lb/gal)	Intervalo de Profundidade (m)	Peso de fluido ótimo (lb/gal)
-	1000 – 1050	8,5	1000 – 1050	8,5
26	1050 – 1500	9,09	1050 – 1500	9,09
17 ½	1500 – 2800	10,5	1500 – 2800	10,5
12 ¼	2800 – 3900	14,16	2800 – 3700	13,75
8 ½	3900 – 5000	14,75	3700 – 5000	14,75

Para a estimativa do tempo de perfuração, utilizou-se dados de um poço de correlação como dito anteriormente na metodologia. Para o Projeto A foi estimado um tempo de perfuração de 147 dias, já para o Projeto B foi estimado um tempo de perfuração de 151 dias. A Tabela 5 detalha o tempo estimado de perfuração para cada fase.

Tabela 5 – Tempo estimado de perfuração para cada fase nos Projetos A e B.

Revestimento	Projeto A		Projeto B	
	Profundidade Perfurada (m)	Dias	Profundidade Perfurada (m)	Dias
Condutor	50	1	50	1
Superfície	450	33	450	33
Intermediário (1)	1300	34	1300	34
Intermediário (2)	1100	30	900	25
Produção	1100	49	1300	58

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho mostrou que critérios diferentes para determinação do assentamento de sapatas de revestimento chegaram a resultados próximos de profundidade de assentamento, tendo somente uma diferença de profundidade encontrada no Revestimento Intermediário (2). Isto impactou na quantidade de dias que uma sonda poderá ficar em operação, o que acarreta em um custo maior ou menor. Nos dois projetos que foram explicitados se concluiu que o Projeto A se mostrou mais econômico, visto que o tempo de perfuração estimado foi de 4 dias a menos do que no Projeto B.

Vale ressaltar também, que esse trabalho pode ser continuado no futuro com a adição de custos e preços de equipamentos exigidos para a realização dos projetos.

5. REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, Daniel Soares. **Estudo de Geopressões e Assentamento de Sapatas de Revestimento**. 2015. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- [2] Pereira, Bruno César Murta. **Proposta de uma Metodologia para Estimativa de Geopressões**. 2007. 120 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- [3] CAI, B.; LIU, Y.; LIU, Z.; TIAN, X; ZHANG, Y.; LIU, J.; 2012. **Performance evaluation of subsea blowout preventer systems with common-cause failures**. Journal of Petroleum Science and Engineering, 90-91 (2012), 18-25.
- [4] ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. **Projetos de Poços de Petróleo: Geopressões e assentamento de colunas de revestimento**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2009.
- [5] THOMAS, José Eduardo (Org.). **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Petrobras, 2004. 271 p. ISBN 8571930996.