



**Cleverson Flor da Rosa  
Franciele Bonatto  
João Dallamuta  
(Organizadores)**

## **Impactos das Tecnologias nas Engenharias 3**

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Cleverson Flor da Rosa**  
**Franciele Bonatto**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Impactos das Tecnologias nas Engenharias**

## **3**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias nas engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Cleverson Flor da Rosa, Franciele Bonatto, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 3)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-193-0  
DOI 10.22533/at.ed.930191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Rosa, Cleverson Flor da. II. Bonatto, Franciele. III. Dallamuta, João.  
IV. Título.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Esta obra é composta por pesquisas realizadas por professores de cursos de engenharia e gestão. Optamos por uma abordagem multidisciplinar por acreditarmos que esta é a realidade da pesquisa em nossos dias.

A realidade é que não se consegue mais compartimentar áreas do conhecimento dentro de fronteiras rígidas, com a mesma facilidade do passado recente. Se isto é um desafio para trabalhos de natureza mais burocrática como métricas de produtividade e indexação de pesquisa, para os profissionais modernos está mescla é bem-vinda, porque os desafios da multidisciplinariedade estão presentes na indústria e começam a ecoar no ambiente mais ortodoxo da academia.

Esta obra temos aspectos de gestão aplicada, em análises econômicas, de ambiente de negócios, análise de confiabilidade, mapeamento de processos e qualidade. Também são abordadas pesquisas nas áreas de construção e urbanismo. Todos os trabalhos com discussões de resultados e contribuições genuínas em suas áreas de conhecimento.

Boa leitura

Cleverson Flor da Rosa  
Franciele Bonatto  
João Dallamuta

# UMA ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO AMBIENTE REGULATÓRIO E SEUS IMPACTOS NO DESENVOLVIMENTO DO PRÉ-SAL	
<i>João Sílvia Semolini Olim</i>	
<i>Johnson Herlich Roslee Mensah</i>	
<i>Jamil Haddad</i>	
<i>Roberto Akira Yamachita</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9301915031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
ANÁLISE DO MAPA DO FLUXO DE VALOR EM UMA FARMÁCIA HOSPITALAR DE VITÓRIA DA CONQUISTA – BA	
<i>Carla Monique Rocha dos Santos</i>	
<i>Adelma Costa Cordeiro</i>	
<i>Cinara Gomes dos Santos</i>	
<i>Iggor Lincolln Barbosa da Silva</i>	
<i>Juliana Cristina de Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9301915032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
ANALISE ECONÔMICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM CAMPOS MADUROS NA REGIÃO DA BACIA POTIGUAR UTILIZANDO UM MODELO BIDIMENSIONAL	
<i>Talles André Moraes Albuquerque</i>	
<i>Jardel Dantas da Cunha</i>	
<i>Keila Regina Santana Fagundes</i>	
<i>Antônio Robson Gurgel</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9301915033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE FALHA - FMEA NA INSTALAÇÃO DE BOMBEIO CENTRÍFUGO SUBMERSO (BCS) EM CAMPOS MADUROS ONSHORE NA BACIA DO RECONCAVO	
<i>Jeanderson de Souza Mançú</i>	
<i>Luiz Eduardo Marques Bastos</i>	
<i>Raymundo Jorge de Sousa Mançú</i>	
<i>Graciele Cardoso Mançú</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9301915034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) COMO MÉTODO DE CONTROLE DA QUALIDADE PARA A SECAGEM DE CAFÉ	
<i>Uilla Fava Pimentel</i>	
<i>Gildeir Lima Rabello</i>	
<i>Willian Melo Poubel</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9301915035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
LEVANTAMENTO COMPARATIVO SERGIPE VS BRASIL DO CONSUMO, COMERCIALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO GÁS NATURAL AO LONGO DE 10 ANOS	
<i>Rai Melo de Oliveira</i>	
<i>Thereza Helena Azevedo Silva</i>	

*Marcela de Araújo Hardman Côrtes*

**DOI 10.22533/at.ed.9301915036**

**CAPÍTULO 7 ..... 63**

REDE NEURAL DE ELMAN APLICADA NA PREVISÃO DE PREÇOS DE COMBUSTÍVEIS

*Renan Pires de Araújo*

*Adrião Duarte Dória Neto*

*Andrés Ortiz Salazar*

**DOI 10.22533/at.ed.9301915037**

**CAPÍTULO 8 ..... 70**

BIOPROSPECÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA MANUFATURA DE BIODIESEL

*Débora da Silva Vilar*

*Milson dos Santos Barbosa*

*Isabelle Maria Duarte Gonzaga*

*Aline Resende Dória*

*Lays Ismerim Oliveira*

*Luiz Fernando Romanholo Ferreira*

**DOI 10.22533/at.ed.9301915038**

**CAPÍTULO 9 ..... 85**

USO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) PARA HIERARQUIZAÇÃO DE MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO GRAU DE APLICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

*Arthur Felipe Echs Lucena*

*Luci Mercedes De Mori*

**DOI 10.22533/at.ed.9301915039**

**CAPÍTULO 10 ..... 102**

SEGURANÇA DO TRABALHADO EM CAMPOS PETROLÍFEROS ONSHORE DA BACIA SERGIPE-ALAGOAS: PERCEPÇÕES SOBRE TERCEIRIZAÇÃO, ACIDENTES OMITIDOS E PROCEDIMENTOS ADEQUADOS

*Milson dos Santos Barbosa*

*Débora da Silva Vilar*

*Aline Resende Dória*

*Adyson Barboza Santos*

*Elayne Emilia Santos Souza*

*Luiz Fernando Romanholo Ferreira*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150310**

**CAPÍTULO 11 ..... 113**

A INFLUÊNCIA DA ERGONOMIA EM MELHORIAS PRODUTIVAS UTILIZANDO A EQUAÇÃO NIOSH

*Emerson da Silva Moreira*

*Luiz Eduardo Nicolini do Patrocinio Nunes*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150311**

**CAPÍTULO 12 ..... 131**

SIMULAÇÃO DA ONDA COMPRESSIONAL APLICADO EM MODELOS DIGITAIS DE ROCHAS

*Gracimário Bezerra da Silva*

*José Agnelo Soares*

*Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150312**

**CAPÍTULO 13 ..... 142**

MULTIÁREAS DA ENGENHARIA ELÉTRICA COMO CONTEÚDOS COMPLEMENTARES APLICADOS À REDE PÚBLICA DE ENSINO

*Hélvio Rubens Reis de Albuquerque*  
*Raimundo Carlos Silvério Freire*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150313**

**CAPÍTULO 14 ..... 157**

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA PARA INVESTIGAÇÃO DE HIDRODEMOLIÇÃO EM AMBIENTES PRESSURIZADOS

*Lidiani Cristina Pierri*  
*Rafael Pacheco dos Santos*  
*Jair José dos Passos Junior*  
*Anderson Moacir Pains*  
*Marcos Aurélio Marques Noronha*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150314**

**CAPÍTULO 15 ..... 164**

DELTA NOB

*Andressa Regina Navas*  
*Leticia Tieppo*  
*Renan Ataide*  
*Guilherme Legramandi*  
*Ludmilla Sandim Tidei de Lima Pauleto*  
*André Chaves*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150315**

**CAPÍTULO 16 ..... 171**

AValiação comparativa entre métodos de aferição do teor de umidade em peças de madeira de dimensões reduzidas

*João Miguel Santos Dias*  
*Florêncio Mendes Oliveira Filho*  
*Alberto Ygor Ferreira de Araújo*  
*Sandro Fábio César*  
*Rita Dione Araújo Cunha*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150316**

**CAPÍTULO 17 ..... 180**

NOVA TÉCNICA DE ESCAVAÇÕES DE MICROTÚNEIS: ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS NO MACIÇO DE SOLO UTILIZANDO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

*Lidiani Cristina Pierri*  
*Rafael Pacheco dos Santos*  
*Jair José dos Passos Junior*  
*Wagner de Sousa Santos*  
*Marcos Aurélio Marques Noronha*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150317**

**CAPÍTULO 18 ..... 201**

UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU COMO ADIÇÃO EM FORMATO DE FIBRA PARA O TIJOLO ECOLÓGICO.

*Gabrieli Vieira Szura*  
*Andressa Zanelatto Venazzi*  
*Adernanda Paula dos Santos*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150318**

**CAPÍTULO 19 ..... 215**

ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE REVESTIMENTO EM ÁGUAS PROFUNDAS

*Geovanna Cruz Fernandes*

*Douglas Bitencourt Vidal*

*Carla Salvador*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150319**

**CAPÍTULO 20 ..... 224**

A EXPLORAÇÃO DAS AREIAS BETUMINOSAS DO CANADÁ: UM EXEMPLO DE RESERVATÓRIO NÃO CONVENCIONAL

*Paulo Sérgio Lins da Silva Filho*

*Fabiano dos Santos Brião*

**DOI 10.22533/at.ed.93019150320**

**SOBRE OSA ORGANIZADORES ..... 233**

## ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE REVESTIMENTO EM ÁGUAS PROFUNDAS

### **Geovanna Cruz Fernandes**

Universidade Federal de Sergipe  
São Cristóvão – Sergipe

### **Douglas Bitencourt Vidal**

Universidade Federal da Bahia  
Salvador – Bahia

### **Carla Salvador**

Universidade Federal do Espírito Santo  
São Mateus – ES

**RESUMO:** Em um projeto de poço de petróleo, o estudo das geopressões é uma etapa fundamental do planejamento. Este estudo foi desenvolvido com dados de um poço com lâmina d'água profunda localizado no Nordeste Brasileiro. Para tanto, determinou-se as pressões de poros, de sobrecarga, de fratura e colapso, como também as curvas necessárias para montagem da janela operacional que forneceram a variação das pressões do fluido exercidas na perfuração, a profundidade de assentamento das sapatas de revestimento, assim como o peso de fluido ideal. Foram realizadas simulações para obtenção de duas janelas operacionais. A primeira, feita com assentamento de sapatas de baixo para cima, com uma margem de segurança de 0,5 lb/gal, já a segunda, considerando o critério de tolerância ao *kick* diferencial mínima com assentamento de cima para baixo. Para a primeira simulação,

assentou-se quatro sapatas, correspondendo a um revestimento de superfície, dois intermediários e um de produção. Para a segunda simulação, também foram assentadas quatro sapatas, sendo os revestimentos intermediários mais elevados. Porém, analisado o critério de diferencial de pressão, houve a necessidade de se assentar às mesmas profundidades da primeira simulação, a fim de que se evitasse riscos de prisão da coluna, logo, as profundidades de assentamento coincidiram em ambas as simulações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geopressões, Janela operacional, Revestimento, Sapatas.

**ABSTRACT:** In an oil well project, the study of geopressions is a fundamental step in planning. This study was developed with data from a well with deep water depth located in the Brazilian Northeast. In order to do so, the pore, overload, fracture and collapse pressures were determined, as well as the curves necessary for the assembly of the operating window that provided the variation of the fluid pressures exerted in the drilling, the depth of settlement of the coating shoes, as well as the ideal fluid weight. Simulations were performed to obtain two operating windows. The first, made with bottom-up shoe-laying, with a safety margin of 0.5 lb/gal, and the second, considering the minimum differential kick tolerance criterion with

top-down seating. For the first simulation, four shoes were seated, corresponding to a surface coating, two intermediates and one of production. For the second simulation, four shoes were also seated, the intermediate coatings being higher. However, when the pressure differential was analyzed, it was necessary to settle to the same depths of the first simulation, in order to avoid risks of imprisonment of the column, so that the depths of settlement coincided in both simulations.

**KEYWORDS:** Geopressions, Operating window, Finishing, Shoes.

## 1 | INTRODUÇÃO

A elaboração de um projeto de poço é uma das etapas do planejamento que se inicia com um estudo da área de interesse e resulta em um levantamento e análise de dados da locação. O estudo das geopressões de um poço possibilita garantir a estabilidade e segurança na construção de um poço, além de verificar se é economicamente viável (SILVA, 2016).

Através da janela operacional é possível identificar o peso ideal do fluido, a profundidade de assentamento das sapatas de revestimento, com o objetivo de evitar a ocorrência de *kick*, fraturas ou colapso do poço, por isso ela deve ser levada em consideração na etapa da perfuração (JUNQUEIRA, 2014).

É pela janela operacional que também se determina a variação máxima de pressão exercida pelo fluido do poço, visando a integridade do mesmo. Estes limites são estabelecidos pela pressão de poros, de fratura e de colapso. O peso do fluido também pode ser determinado com o auxílio da janela operacional, já que a cada profundidade um fluido mais e menos denso deverá ser utilizado (RAMIREZ PERDOMO, 2003).

Os projetos de poços são elaborados pelas correlações empíricas que permitem o cálculo dos gradientes de pressão, assim como dados da sísmica do poço e testes de medição indireta e direta, como *Leaf off test* (LOT) e curva de tendência de compactação normal. Assim, este trabalho é um esboço de dois projetos para o assentamento de sapatas de revestimento, cujo objetivo é apresentar uma análise dos critérios para elaboração destes, como tolerância ao *kick* e diferencial de pressão, respeitando as limitações do poço e da formação e, assim, auxiliar na escolha de um fluido de perfuração adequado para a atividade de perfuração.

## 2 | METODOLOGIA

O objeto de estudo deste trabalho foi um poço com lâmina d'água profunda localizado no Nordeste Brasileiro. Devido à confidencialidade dos dados, o poço é referido como A, cujas informações foram cedidas pela empresa B. Na Tabela 1 são apresentados os dados de entrada do simulador. O processamento dos dados foi feito no *software* Microsoft Office Excel 2007.

Lâmina d'água	1000 m
Profundidade final	4500 m
Air gap	25 m
Altura do <i>kick</i>	88 m
Densidade do fluido invasor	2 lb/gal
Tolerância ao <i>kick</i> diferencial mínima	0,5 lb/gal
Valores de LOT dos poços de correlação	2000 m – 11,1 lb/gal
	3000 m – 12,1 lb/gal
	4000 m – 15,4 lb/gal
Dados de <i>kick</i> dos poços de correlação	Profundidade de ocorrência – 4100 m
	SIDPP – 643 psi
	Fluido de perfuração – 11 lb/gal

Tabela 1 – Dados de entrada do simulador

Fonte: Autor

Cada rocha possui características diferentes, sejam elas mineralógicas, litológicas, paleontológicas, ou sejam físicas, etc. Desta forma, é necessário conhecer características da rocha e do poço, como a densidade ou massa específica da formação (DOS SANTOS, 2015).

Para se obter a curva do gradiente de sobrecarga, deve-se estimar a densidade da formação a partir do perfil sônico, através do método de Gardner (1974), expressa pela Equação 1:

$$\rho_b = a * \left( \frac{10^6}{\Delta t} \right)^b, \left( \frac{g}{cm^3} \right) \quad (1)$$

No qual a e b são 0,23 e 0,25, constante e expoente empíricos, respectivamente. Com os valores de densidade calculados e, aplicando-se a massa específica da formação, obtêm-se as pressões de sobrecarga ( $\sigma_{ov}$ ) e gradientes de sobrecarga ( $G_{ov}$ ), através das Equações 2 e 3:

$$\sigma_{ov} = 1,422 \cdot \left( \rho_w \cdot D_w + \sum_0^n \rho_{bi} \cdot \Delta D_i \right), (psi) \quad (2)$$

Em que temos:  $\rho_{bi}$  = densidade de cada camada da formação, g/cm<sup>3</sup>;  $\rho_w$  = densidade da água do mar, g/cm<sup>3</sup>;  $D_w$  = lâmina d'água, metros;  $\Delta D_i$  = intervalos de profundidade, metros. Uma vez obtida a pressão de sobrecarga, pode-se calcular o gradiente de sobrecarga, através da Equação 3:

$$G_{ov} = \frac{\sigma_{ov}}{0,1704 \cdot D_{total}}, \left( \frac{lb}{gal} \right) \quad (3)$$

Com os valores obtidos, obtêm-se o gráfico do gradiente de sobrecarga. Para

calibrar a curva ao longo do poço, é necessário calcular a pressão de poros em um ponto a partir dos dados do *kick*, utilizando-se a Equação 5:

$$G_p = \frac{SIDPP + 0,1704 * \rho_{mud} * D_h}{0,1704 * D_h} \quad (4)$$

Onde  $D_h$  é a profundidade e  $P_{mud}$  é o peso do fluido. Para a determinação da curva de compactação normal (*trend line*), plota-se o gráfico de profundidade *versus* tempo de trânsito, selecionando dois pontos pertencentes à reta para calcular o coeficiente angular  $m$ . Comumente, a curva de tendência de compactação normal é aproximada de uma reta de um gráfico semilogarítmico (FERREIRA, 2010). Sabe-se que poços de correlação não apresentaram valores em excesso para torque, *drag*, gás de conexão e manobra no intervalo 1000-3000 m, logo, os pontos selecionados devem estar nesse intervalo. A Equação 5 é utilizada para cálculo do  $m$ . Após encontrar o valor do coeficiente  $m$ , calcula-se o tempo de trânsito normal, utilizando-se a Equação 6:

$$m = \frac{\log(\Delta t_2) - \log(\Delta t_1)}{D_2 - D_1} \quad (5)$$

$$\Delta t_n = \Delta t_1 \cdot 10^{m(D - D_1)}, (\mu s/ft) \quad (6)$$

Em que  $\Delta t_1$  é o tempo de trânsito nas profundidades onde ocorreu a compactação normal e  $D$  é a profundidade de interesse da reta de tendência. Para se estimar o gradiente de pressão de poros pode-se utilizar o método de Eaton (1975), que utiliza o expoente 2 quando se trata de bacias brasileiras através de dados do perfil sônico, logo, pela Equação 7, tem-se:

$$G_p = G_{ov} - \left[ (G_{ov} - G_N) * \left( \frac{\Delta t_N}{\Delta t_0} \right)^2 \right] \quad (7)$$

Em que  $G_N$  é o gradiente de pressão de poros normal. Utilizando o método indireto de tensão mínima, estima-se o gradiente de fratura. Para isso, é necessário que se empregue os três dados de LOT disponíveis na área para que se obtenham três valores pontuais de  $K$ , através da relação, desenvolvidas por Hubert & Willis (1957). Traçando-se uma curva de interpolação entre os três valores de  $K$  pontuais e a profundidade de sedimentos obtêm-se uma curva que, quando ajustada irá fornecer uma equação para cálculo do  $K$  ajustado ao longo de todo o poço. Por fim, pode-se estimar o gradiente de fratura. As Equações 8, 9 e 10 evidenciam esses cálculos:

$$K = \frac{LOT - G_p}{G_{ov} - G_p} \quad (8)$$

$$K = a * \ln(D_s) + b \quad (9)$$

$$G_F = G_p + K(G_{ov} - G_p) \quad (10)$$

As equações para obtenção dos gradientes se completam até chegar ao gradiente de pressão de fratura. Considerando uma margem de segurança de 0,5 lb/gal, é possível a construção da janela operacional e o posterior assentamento de sapatas.

A simulação 1 foi feita adotando-se o um diferencial de pressão máximo de 2000 psi para o assentamento de sapatas, que foi feito de baixo para cima. Já a simulação 2 deve ser feita com base na tolerância ao *kick*, que é calculado pela Equação 11 a seguir, para cada intervalo de profundidade:

$$\Delta\rho_{kt} = \frac{D_{fm} * (G_F - \rho_{mud})}{D_h} - \frac{h_k * (\rho_{mud} - \rho_k)}{D_h} + \rho_{mud} - G_P \quad (11)$$

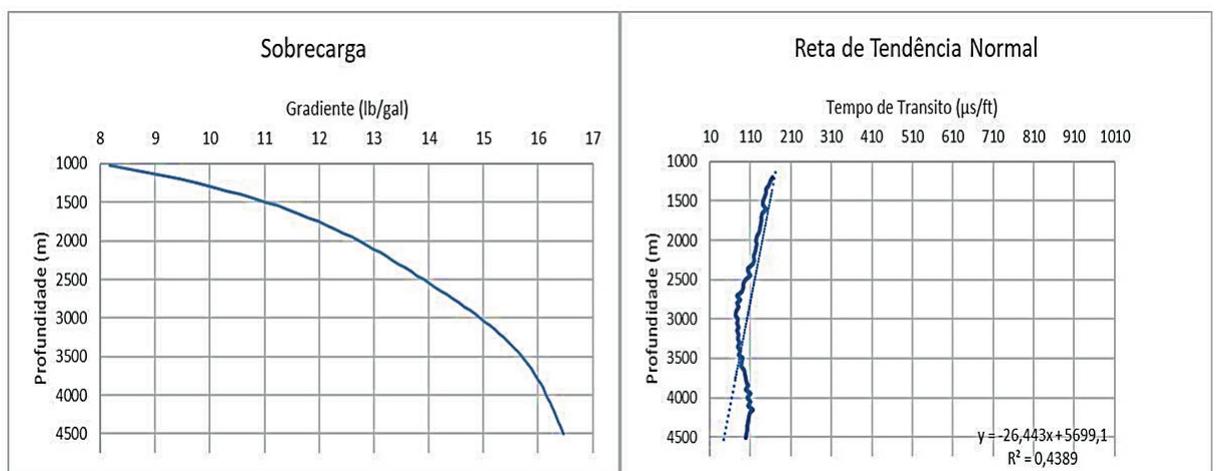
Para o cálculo do peso do fluido adequado, utilizou-se a Equação 12, que é a média entre as pressões de poros e fratura, que é igual à tensão horizontal:

$$\sigma_H = \frac{P_p + P_F}{2} \quad (12)$$

A partir de dados do perfil sônico fornecidos, estimou-se as geopressões, elaborando em seguida a janela operacional do poço e a partir dela definindo as profundidades de assentamento das sapatas, bem como a definição do peso de fluido de perfuração que deveria ser utilizado em cada fase do projeto.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se a Equação 1, calculou-se a densidade de cada camada da formação e assim, obteve-se a pressão de poros e o gradiente de sobrecarga. Através dos dados, plotou-se a curva do gradiente de sobrecarga. Com os dados do *kick* e a uma profundidade de 4100 m, obteve-se a pressão de poros, igual a 11,92 lb/gal. Para outras profundidades, a pressão de poros apresentou valores negativos. Isso pode ser justificado pela reta *trend line*, ou pelo valor utilizado na constante de Eaton. A Figura 1 mostra o comportamento da curva de sobrecarga e da reta de tendência normal:



**Figura 1** – Curva do gradiente de sobrecarga e reta de tendência de compactação normal

Fonte: Autor

Dois pontos pertencentes à reta foram selecionados e, através da Equação 5, calculou-se o coeficiente m. Os pontos selecionados foram nas profundidades de 1300 e 2100 m, com tempo de 155 e 124, respectivamente. Logo o m obtido foi igual a -0,000121.

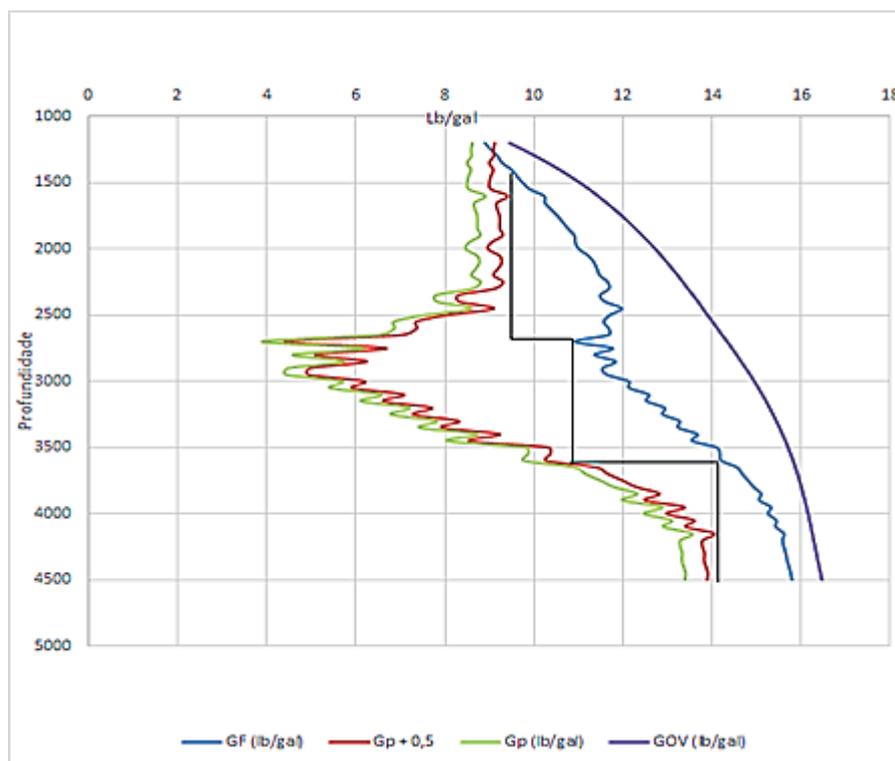
Para a estimativa do gradiente de fratura, utilizou-se os dados de LOT fornecidos e obteve-se valores pontuais para K, através da Equação 8. Com os valores de K pontual, traçou-se uma curva de K *versus* profundidade de sedimentos, obtendo-se um ajuste da curva para que se pudesse obter um K ajustado ao longo de todo o poço.

A equação fornecida pelo ajuste da curva é a Equação 13 a seguir:

$$K = 0,1825 \ln(D_s) - 0,609 \quad (13)$$

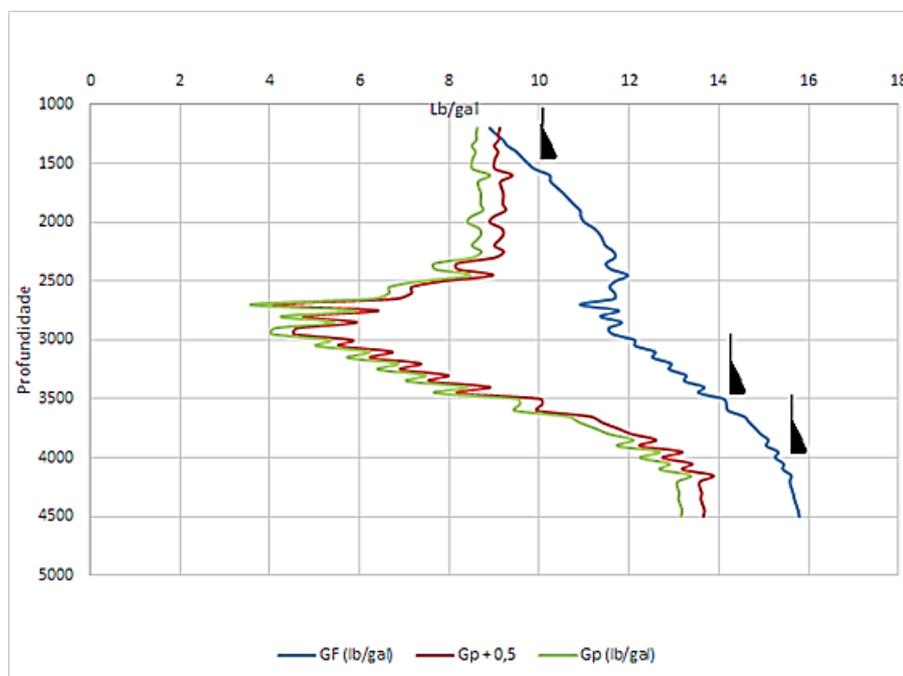
Através destes dados e da Equação 9, obteve-se o gradiente de fraturas e a janela operacional.

A simulação 1 foi feita com assentamento de sapatas de baixo para cima, com uma margem de segurança de 0,5 lb/gal e a simulação 2 considerando-se o critério de tolerância ao *kick* diferencial mínima com assentamento de cima para baixo. A Figura 2 e 3 mostram o modelo de assentamento de sapatas para cada simulação:



**Figura 2** – Janela operacional da Simulação 01

Fonte: Autor



**Figura 3** – Janela operacional da Simulação 02

Fonte: Autor

Tendo obtido os dados de profundidade da sapata a partir dos critérios mencionados, pode-se estimar o peso do fluido a ser utilizado em cada fase com base na média entre o maior gradiente de poros da fase e o menor gradiente de fratura atravessados na fase, como mostra a Equação 12. Assim, têm-se a Tabela 2:

Fase (")	Profundidade da sapata	$P_{mud}$ (lb/gal)	$G_p + 0,5$ (lb/gal)	(lb/gal)
26	1450	9,3	9,03	9,62
17 ½	2700	9,4	4,41	10,91
12 ¼	3600	10,5	10,02	14,21
8 ¾	4500	14,7	13,65	15,79

**Tabela 2** – Peso de fluido para a Simulação 1

Fonte: Autor

A primeira sapata corresponde ao revestimento de superfície, fixada em 1450 m, de acordo com especificações da literatura (ROCHA; AZEVEDO, 2009). A segunda e terceira sapatas estão fixadas em 2700 m e 3600 m e correspondem aos revestimentos intermediários. A última sapata refere-se ao revestimento de produção, e deverá ser assentada a 4500 m. Também foi levado em consideração o critério de diferencial de pressão, para o qual deveria ser assentado uma sapata nas profundidades em que as diferenças de pressão entre o poço e a formação excedessem 2000 psi. Esse diferencial foi alcançado na profundidade de 2700 m, entretanto, utilizando-se o assentamento com base apenas na janela operacional, uma sapata já havia sido assentada. Desta maneira, nenhuma sapata extra precisou ser assentada, logo o Tabela 2 fornece um projeto satisfatório.

Em relação à simulação 2, dados como altura do *kick* e densidade do fluido invasor foram avaliados e a análise da intolerância ao *kick* sugerem que quando, durante a perfuração tiver  $\Delta\rho_{kt} \leq \Delta\rho_{kt\ min} = 0,5\ lb/gal$  deve-se assentar uma sapata. O peso de fluido ( $P_{mud}$ ) utilizado no cálculo para a profundidade da sapata da fase 2 é igual ao gradiente de poros ( $G_p$ ) daquela profundidade mais 0,5 lb/gal. Profundidade do poço ( $D_h$ ) é constante e igual a 4500 metros, a formação mais fraca que se encontra na sapata da fase anterior a uma profundidade ( $D_{fm}$ ) de 1450 metros possui gradiente de fratura ( $G_f$ ) igual a 9,62 lb/gal. Substituindo os dados mencionados na equação e variando os valores de  $P_{mud}$  e  $G_p$ , verificamos que a sapata deve ser assentada na profundidade de 3450 metros, pois para valores acima disso  $\Delta\rho_{kt} \leq \Delta\rho_{kt\ min} = 0,5\ lb/gal$ , que é o critério para assentamento com base na tolerância ao *kick*.

Fase (")	Profundidade da sapata	$P_{mud}$ (lb/gal)	$G_f$ (lb/gal)	$\Delta\rho_{kt}$
26	1450	9,3	-	-
17 ½	3450	9,3	9,62	0,843
12 ¼	4000	13,0	13,55	0,912
8 ¾	4500	14,5	15,25	1,69

**Tabela 3** – Peso de fluido para a Simulação 2

Fonte: Autor.

A primeira sapata, correspondente ao revestimento de superfície, foi fixada a 1450 m. A segunda e terceira sapatas, assentadas em 3450 e 4000 m, correspondem ao critério de tolerância ao *kick*, que leva em consideração a ocorrência de um influxo da formação para o poço (*kick*), sendo esta última fixada para que seja possível o aumento do peso do fluido aplicado para a fase seguinte. Entretanto, utilizando o critério de diferencial de pressão, observa-se que a partir da profundidade de 2700 metros, o aumento do peso do fluido passa a acontecer gradativamente, além de que o diferencial entre o poço e a formação se torna superior a 2000 psi, o que acaba gerando riscos de prisão de coluna por diferencial de pressão, sendo necessário assentar outra sapata nesta profundidade. Assim, a simulação 2 nos fornece um novo assentamento com as mesmas profundidades de assentamento de sapatas da simulação 1 e conseqüente aumento no peso do fluido de perfuração, que deve sofrer oscilações graduais, garantindo um diferencial de pressão positivo sem que seja necessário assentar novo revestimento, além de respeitar o limite superior de fratura, como mostra a Tabela 3 acima.

#### 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas as etapas da construção de uma janela operacional de um projeto de poço que contemplou a operação de perfuração e

assentamento de sapatas de revestimento. Os parâmetros e critérios utilizados na metodologia são os mesmos adotados por companhias da indústria petrolífera e referenciados por grandes engenheiros e autores. A simulação 1 foi feita com assentamento de sapatas de baixo para cima, com uma margem de segurança de 0,5 lb/gal, onde a primeira sapata fixada em 1450 m, a segunda e terceira sapatas estão fixadas em 2700 e 3600 m e última sapata refere-se ao revestimento de produção, e deverá ser assentada a 4500 m, com o peso de fluido de 14,7 lb/gal. Na simulação 2 foi considerado o critério de tolerância ao *kick* diferencial mínima com assentamento de cima para baixo. Ela nos fornece um novo assentamento com as profundidades de assentamento de sapatas semelhantes a simulação 1, onde houve um aumento no peso do fluido de perfuração, garantindo um diferencial de pressão positivo, respeitando o limite superior de fratura. O projeto respeitou as finalidades e limitações do poço e da formação, mostrando-se satisfatório, além de evitar acidentes, contribuiu para o aumento da vida útil do poço e da produção. Também foi possível escolher corretamente o fluido de perfuração bem como o assentamento de sapatas.

## REFERÊNCIAS

DOS SANTOS, João Paulo Lobo et al. Projetos de Poços: um Estudo de Caso na Bacia Sergipe-Alagoas. **RUnPetro-ISSN 2316-6681**, v. 3, n. 2, p. 31-39, 2015.

EATON, B. The Equation for Geopressure Prediction from Well Logs. **SPE Journal** 5544, 1975.

FERREIRA, C. D. **Novo método para estimativa do gradiente de fratura para poços de petróleo**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

GARDNER, G.H.F, GARDNER, L.W., GREGORY, A.R.. Formation Velocity and Density – The diagnostic basis for stratigraphic traps, **Geophysics**, Volume 39, Number 6, pp. 2085 – 2095, 1974.

HUBBERT, M. K., and WILLIS, D. G. Mechanics of Hydraulic Fracturing. AIME Petroleum Transactions, V. 210, p. 153-168, 1957.

JUNQUEIRA, Cecília Pinheiro et al. A Prática da Estabilidade de Poços: Exemplos do Brasil. 2014.

RAMIREZ PERDOMO, Paul Richard et al. Metodologia para determinar as profundidades de assentamento das sapatas dos revestimentos de poços de petróleo em águas profundas. 2003.

ROCHA, Luiz Alberto Santos; AZEVEDO, Cecília Toledo de. Projeto de Poços de Petróleo: geopressões e assentamentos de colunas de revestimentos. Rio de Janeiro. **Interciencia, Petrobras**, 2009.

SILVA, Aquiles Oliveira Mendes da et al. Perfuração e Completação de Poços HPHT. 2016.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-193-0

