

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita	
Departamento de Engenharia de Petróleo	
<p>Questão 01: Disserte sobre as seguintes técnicas utilizadas na construção das trajetórias em poços direcionais, apresentando aplicações, vantagens e desvantagens para cada uma delas.</p> <p>a) whipstock; (Valor 0,00 a 0,50 pts)</p> <p>b) motor steerable; (Valor 0,00 a 0,50 pts)</p> <p>c) sistemas rotary steerable. (Valor 0,00 a 0,50 pts).</p> <p><u>Expectativa de resposta da Questão 01.</u></p> <p>a) Whipstock: Trata-se de uma ferramenta de deflexão utilizada principalmente na execução de aberturas de janelas em poços revestidos para execução de desvios, "sidetracks" ou poços laterais. A principal vantagem é constituir-se como uma barreira mecânica para suporte da broca, permitindo direcioná-la para as paredes do poço ou revestimento pela existência de uma rampa metálica na sua parte superior. Como desvantagem pode-se citar o elevado número de manobras necessárias para efetuar o desvio, tendo sido por isso praticamente substituídos pelos motores de fundo com bent-house.</p> <p>b) Motor "steerable": Os motores "steerable" são o conjunto mais utilizados na atualidade para a execução de trajetórias em poços direcionais. Devido sua versatilidade são utilizados em todas as seções da trajetória do poço, desde a deflexão (kick off), passando pelos trechos de ganho/perda de ângulo e a perfuração de seções tangentes. A principal vantagem, devido à pequena distância entre o bent e a broca, é a possibilidade de perfurar em modo rotativo quando deseja-se realizar as seções tangentes, e em modo orientado (sem giro da coluna) quando deseja-se realizar as alterações na trajetória, portanto, permitindo uma quantidade reduzida de manobras. Além disto, geram menores dog-legs quando comparados ao sistema motor de fundo com bent sub. A depender do modo de perfuração pode-se elencar as desvantagens do uso desta ferramenta, a saber: maior desgaste da broca e da coluna de perfuração e caliper irregular no modo rotativo; aumento do risco de prisão por diferencial de pressão, baixas taxas de perfuração, alta tortuosidade e redução na eficiência de limpeza quando no modo orientado.</p> <p>c) Sistemas Rotary Steerable: Os sistemas Rotary Steerable são uma evolução da tecnologia de perfuração de poços direcionais e permitem a rotação contínua da coluna de perfuração enquanto controla-se ou modifica-se a trajetória do poço. Vantagens: geralmente apresentam maiores taxas de penetração do que os motores steerable; melhor limpeza de poço, menores torque e drags e melhor qualidade de poço. Desvantagens: maior complexidade mecânica e eletrônica da tecnologia associadas ao maior custo e a possibilidade de falhas dependendo das vibrações e ambientes em que são utilizados. Por suas qualidades e características, apresentam principais aplicações na perfuração de poços direcionais de trajetórias complexas ou de longo alcance (extended reach wells), ou poços em que a redução no tempo de perfuração e o ganho na qualidade do poço compensa o alto custo deste sistema.</p>	
Assinatura dos membros da comissão	Presidente:  1º. Examinador:  2º. Examinador: 

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de
Engenharia de Petróleo

Questão 02: Uma das dificuldades encontradas na perfuração de poços “extended reach wells” (ERW) de baixa profundidade é o controle do “equivalent circulating density” (ECD). O controle do ECD tem o objetivo de evitar que ocorra fratura da formação no trecho horizontal do poço. Considerando as seguintes informações para o poço:

ρ_{fp} densidade do fluido de perfuração (lb/gal);

ρ_{frat} densidade do fluido equivalente à pressão de fratura da formação (lb/gal);

L_h comprimento do trecho horizontal do poço (m);

PV_{Lh} profundidade vertical do trecho horizontal do poço (m);

$grad_{fric}$ - gradiente de fricção para o fluxo de fluido no anular do trecho horizontal do poço (psi/m);

Desprezando as perdas por fricção e o aumento do peso do fluido de perfuração no trecho não horizontal do poço, adote o valor máximo do ECD igual a 90% da densidade do fluido equivalente à pressão de fratura da formação e deduza a expressão para o comprimento máximo possível para o trecho horizontal do poço em função das variáveis apresentadas acima. (Valor 0,00 a 1,50 pts)

Expectativa de resposta da Questão 02

O cálculo do ECD leva em conta a pressão hidrostática do fluido de perfuração e a perda de carga por fricção no anular do trecho horizontal do poço, assim:

$$p_{ECD} = p_{hfp} + \Delta p_{fric}; p_{hfp} = 0,17\rho_{fp}PV_{Lh}; \Delta p_{fric} = grad_{fric}L_h$$

$$p_{ECD} = 0,17\rho_{fp}PV_{Lh} + grad_{fric}L_h$$

$$p_{ECD} = 0,17ECDPV_{Lh}$$

$$ECD = \rho_{fp} + \frac{grad_{fric}L_h}{0,17PV_{Lh}}$$

Para ECD_{MAX} , temos L_{hMAX} ,

$$L_{hMAX} = \frac{0,17(ECD_{MAX} - \rho_{fp})PV_{Lh}}{grad_{fric}} ; ECD_{MAX} = 0,9\rho_{frat}$$

$$L_{hMAX} = \frac{0,17(0,9\rho_{frat} - \rho_{fp})PV_{Lh}}{grad_{fric}}$$

**Assinatura dos membros
da comissão**

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de
Engenharia de Petróleo

Questão 03: Um poço direcional com inclinação de 30 graus está sendo perfurado com um "bottom hole assembly" (BHA) posicionado no trecho "slant" e composto por:

400 pés de comandos (DC) de 7" x 2,25", peso linear 117 lbf/pé;

800 pés de heavy weight drill pipe (HWDP) de 5", peso linear 50 lbf/pé

Determine a distância medida da broca até linha neutra de tração considerando que o peso sobre broca é de 40.000 lbf e a densidade do fluido de perfuração é de 13 ppg. Assuma que a densidade do aço das tubulações é de 65,5 lb/gal. (Valor 0,00 a 1,00 pts)

Expectativa de resposta da Questão 03

O peso sobre a broca é obtido a partir do peso flutuado do BHA, considerando a componente na direção axial do poço.

Peso dos comandos: $W_{DC} = L_{DC}W_{DC}F_f \cos 30$

$$F_f = \left(1 - \frac{\rho_{fp}}{\rho_{aço}}\right) = \left(1 - \frac{13}{65,5}\right) = 0,8015$$

$$W_{DC} = 400 \text{ pés} \times 117 \frac{\text{lbf}}{\text{pé}} \times 0,8015 \times \cos 30 = 32.485 \text{ lbf}$$

O peso total dos comandos não é suficiente para proporcionar o peso sobre broca de 40.000 lbs, assim parte do peso é fornecido pelos HWDP em compressão.

$PSB = W_{DC} + \Delta L_{HWDP}W_{HWDP}F_f \cos 30$

$$\Delta L_{HWDP} = \frac{PSB - W_{DC}}{W_{HWDP}F_f \cos 30} = \frac{40.000 \text{ lbf} - 32.485 \text{ lbf}}{50 \frac{\text{lbf}}{\text{pé}} \times 0,8015 \times \cos 30} = 216,53 \text{ pés}$$

Assim, a distância entre a broca e a linha neutra de tração será:

$$L_{LNtração} = L_{DC} + \Delta L_{HWDP} = (400 + 216,53) \text{ pés} = 616,53 \text{ pés}$$

**Assinatura dos membros
da comissão**

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de
Engenharia de Petróleo

Questão 04: Disserte sobre as técnicas aplicadas para realização de canhoneio para produção em poços de petróleo utilizando canhões com cargas moldadas. Apresente vantagens, desvantagens e aplicações de cada técnica. Discuta também os tipos de cargas moldadas frequentemente utilizadas nas operações de canhoneio. (Valor 0,00 a 1,50)

Expectativa de resposta da Questão 04

As principais técnicas para realização de canhoneio para produção em poços de petróleo são as seguintes: canhoneio com cabo elétrico pelo revestimento (canhoneio convencional), canhoneio através da coluna ("trough tubing") e canhoneio com coluna ("tubing conveyed perforation" – TCP).

O canhoneio convencional pode ser aplicado na maioria dos poços, porém não é a melhor opção para poços de gás e não é recomendado para poços de alta pressão e alta temperatura (HPHT).

Vantagens: menor custo; menor tempo para realizar a operação; possibilitar realizar disparos seletivos em uma mesma descida; não apresenta restrição para o diâmetro do canhão a ser descido no poço;

Desvantagens: realizado na condição "overbalance" o que pode causar dano pela invasão do fluido do poço para formação; maior dificuldade para controle do poço em caso de influxo; não reduz o dano causado pela compactação da rocha e deposição dos resíduos da carga no túnel do canhoneio; limite do comprimento do canhão em cada descida; não utilizado em poços de alta inclinação ou horizontal.

O canhoneio através da coluna é aplicado em poços completados onde o intervalo a ser canhoneado encontra-se abaixo da extremidade da coluna de completação do poço.

Vantagens: baixo custo; curto tempo para realizar a operação; pode ser realizado na condição "near balance" ou com pequeno underbalance; menor risco de eventos de controle de poço; operação realizada sem apoios de unidade de intervenção (sonda).

Desvantagens: o pequeno diâmetro do canhão restringe o desempenho do canhoneio comparativamente aos outros métodos; limite do intervalo a ser canhoneado em cada descida; risco de prisão do canhão nos componentes da coluna ou pela aplicação de alto "underbalance"; não utilizado em poços de alta inclinação ou horizontal.

**Assinatura dos membros
da comissão**

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE

Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de Engenharia
de Petróleo

O canhoneio com coluna (TCP) pode ser aplicado de forma generalizada em qualquer tipo de poço.

Vantagens: não apresenta restrição do diâmetro do canhão a ser descido no poço; pode ser realizado na condição de “underbalance” ótimo em função da formação a ser canhoneada; não apresenta limite para o comprimento do intervalo a ser canhoneado; menor risco para ocorrência eventos de controle de poço.

Desvantagens: alto custo; maior tempo para realização do canhoneio; requer uso de unidade de intervenção (sonda); impossibilidade confirmação do número de tiros efetivamente disparados na operação de canhoneio.

As cargas moldadas são classificadas em dois tipos: cargas de alta penetração (“deep penetration” – DP) e cargas de grande diâmetro (“big hole” – BH).

As cargas de alta penetração são utilizadas em poços onde se deseja maximizar a produção do poço apenas com a operação de canhoneio, ou seja, não ocorrerá nenhuma operação de estimulação no intervalo canhoneado.

As cargas de grande diâmetro são aplicadas em poços que serão estimulados ou poços de grande produtividade onde serão realizadas operações de contenção de areia.

Questão 05: Um poço vertical localizado no centro de um reservatório cuja projeção horizontal tem a forma circular com diâmetro de 1.000 m será submetido a uma operação de fraturamento hidráulico. Considerando que a fratura criada tem condutividade infinita, determine o valor máximo possível do “folds of increase” (aumento da produtividade do poço) após a operação de fraturamento hidráulico (**Valor 0,00 a 1,00**).

Dados do poço:

Pressão no limite externo do reservatório (p_e) = 2.500 psi;

Pressão de fluxo no fundo do poço (p_{wf}) = 1.000 psi;

Fator volume de formação do óleo (B_o) = 1,2 RB/STB;

Permeabilidade (k) = 8 md;

Assinatura dos membros da
comissão

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de Engenharia
de Petróleo

Dados do poço (continuação):

Espessura do reservatório (h) = 20 metros;

Viscosidade do óleo (μ) = 1,2 cp;

Raio do poço (r_w) = 0,15 m;

Fator de película (s) = 2,5

Assuma que o regime de fluxo no reservatório é governado pela equação:

$$p_e - p_{wf} = \frac{141,2qB_o\mu}{kh} \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + s \right] \text{ (Equação com unidades do sistema "oil field")}$$

Expectativa de resposta da Questão 05

O aumento da produtividade do poço pode ser obtido pela relação entre o índice de produtividade(IP) do poço com fratura hidráulica e sem fratura hidráulica. O IP do poço não fraturado é dado por:

$$IP_{NF} = \frac{q}{p_e - p_{wf}} = \frac{kh}{141,2B_o\mu \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + s \right]}$$

Para o poço fraturado, o dano à formação é eliminado (s=0) e o raio do poço (r_w) é substituído pelo raio efetivo (r_{eff}) resultante da fratura hidráulica. Para fratura hidráulica com condutividade infinita temos que $r_{eff} = x_f/2$, onde x_f é a asa da fratura hidráulica, assim:

$$IP_{FRAT} = \frac{q}{p_e - p_{wf}} = \frac{kh}{141,2B_o\mu \left[\ln\left(\frac{r_e}{x_f/2}\right) \right]}$$

$$\frac{IP_{FRAT}}{IP_{NF}} = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + s}{\ln\left(\frac{r_e}{x_f/2}\right)}$$

Para configuração poço-reservatório proposta o valor máximo do meio comprimento de fratura é $x_f=500$ metros, desta forma o aumento máximo possível para produtividade do poço será:

$$\frac{IP_{FRAT}}{IP_{NF}} = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + s}{\ln\left(\frac{r_e}{x_f/2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{500}{0,15}\right) + 2,5}{\ln\left(\frac{500}{500/2}\right)} = \frac{10,61}{0,6931} = 15,3$$

Assinatura dos membros da
comissão

Presidente:

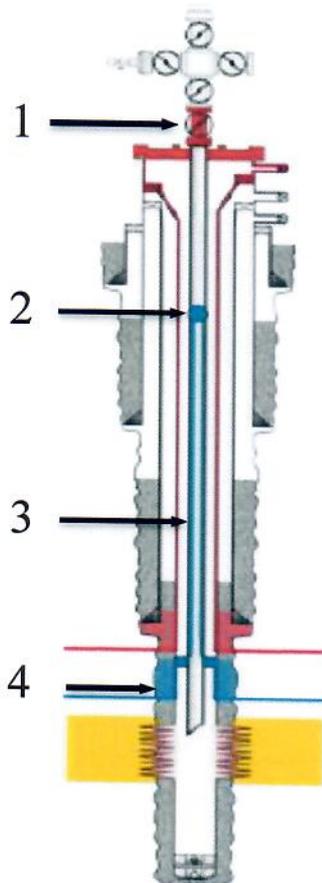
1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de Engenharia
de Petróleo

Questão 06: Considerando os conjuntos de barreiras para abandono temporário mostrado na Figura abaixo, identifique dando o nome para cada elemento numerado. (Valor 0,00 a 0,50)



Expectativa de resposta da Questão 06

- 1 – Válvula mestra inferior da árvore de natal;
- 2 – Válvula de segurança de subsuperfície ou tampão mecânico na coluna ("blanking plug");
- 3 – Coluna de produção ("tubing");
- 4 – Cimentação do revestimento de produção.

Assinatura dos membros da
comissão

Presidente:

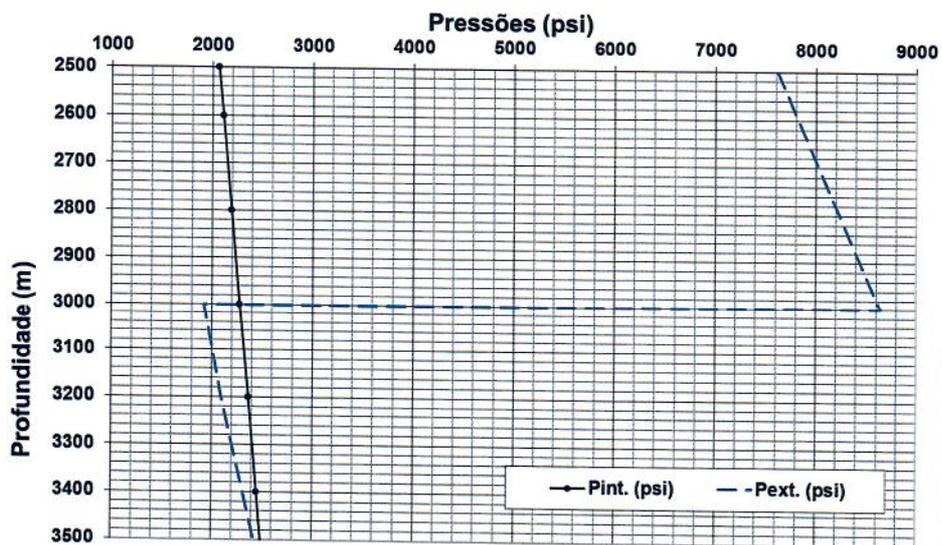
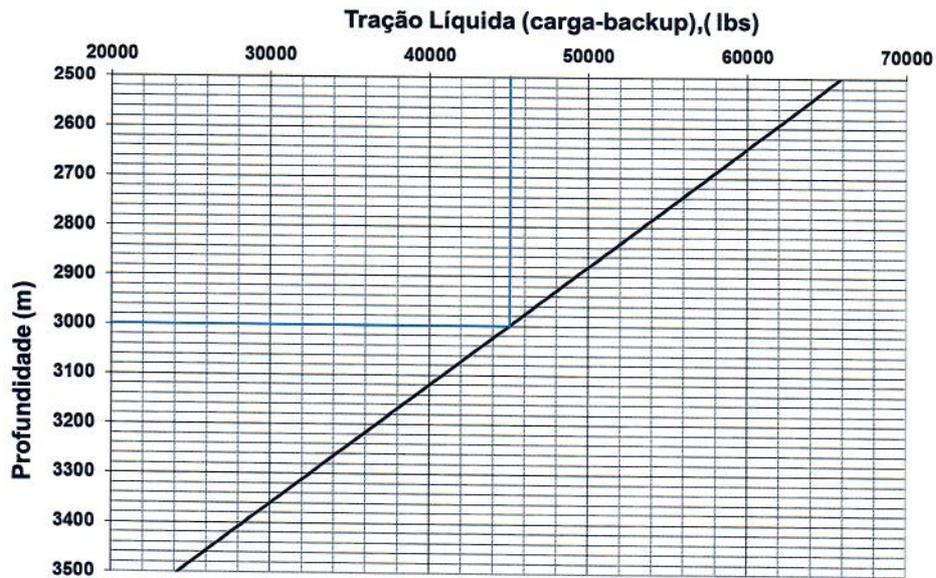
1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de
 Engenharia de Petróleo

Questão 07: A coluna de produção 3 ½" – 12,7 lb/pé (ID-2,75") – C75 – Rosca Premium - R2 em um poço completado, encontra-se submetida ao carregamento de tração, pressão externa (Pext.) e pressão interna (Pint.) apresentados nas figuras abaixo.



Assinatura dos membros da comissão

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de Engenharia de
Petróleo

Utilize a tensão desviatória de Von Mises e determine o fator de segurança triaxial desta tubulação na profundidade de 3.000 metros. (Valor 0,00 a 1,00 pts).

Tensão desviatória de Von Mises:

$$\sigma_{VME} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_a - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_a)^2]^{0,5}, \text{ onde:}$$

$$\sigma_a = \frac{T}{A_o - A_i}; \sigma_t = \frac{p_i A_i - p_o A_o}{A_o - A_i} + \frac{(p_i - p_o) A_o A_i}{(A_o - A_i) A}; \sigma_r = \frac{p_i A_i - p_o A_o}{A_o - A_i} - \frac{(p_i - p_o) A_o A_i}{(A_o - A_i) A}$$

Expectativa de resposta da Questão 07

O fator de segurança deve considerar o maior carregamento, assim na profundidade de 3.000 metros temos:

$$T = 45.000 \text{ lbs}; p_i = 2.280 \text{ psi}; p_o = 8.600 \text{ psi}$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} OD^2 = \frac{\pi}{4} 3,5^2 = 9,62 \text{ pol}^2;$$

$$A_i = \frac{\pi}{4} ID^2 = \frac{\pi}{4} 2,75^2 = 5,94 \text{ pol}^2;$$

A tensão desviatória é máxima para $A = A_i$, assim:

$$\sigma_a = \frac{T}{A_o - A_i} = \frac{45.000 \text{ lbs}}{(9,62 - 5,94) \text{ pol}^2} = 12.227 \text{ psi}$$

$$\sigma_t = \frac{-2p_o A_o}{A_o - A_i} + \frac{p_i(A_o + A_i)}{(A_o - A_i)} = \frac{-2 \times 8.600 \times 9,62 + 2280 \times (9,62 + 5,94)}{9,62 - 5,94}$$

$$\sigma_t = \frac{-2p_o A_o}{A_o - A_i} + \frac{p_i(A_o + A_i)}{(A_o - A_i)} = -35.323 \text{ psi}$$

$$\sigma_r = -p_i = -2.280 \text{ psi}$$

$$\sigma_{VME} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(12.227 - (-2.280))^2 + (-2.280 - (-35.323))^2 + (-35.323 - 12.227)^2]^{0,5}$$

$$\sigma_{VME} = 42.210 \text{ psi}$$

O fator de segurança triaxial é definido como:

$$FS_{triaxial} = \frac{\sigma_e}{\sigma_{VME}} = \frac{75.000 \text{ psi}}{42.210 \text{ psi}} = 1,78$$

Assinatura dos membros da
comissão

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

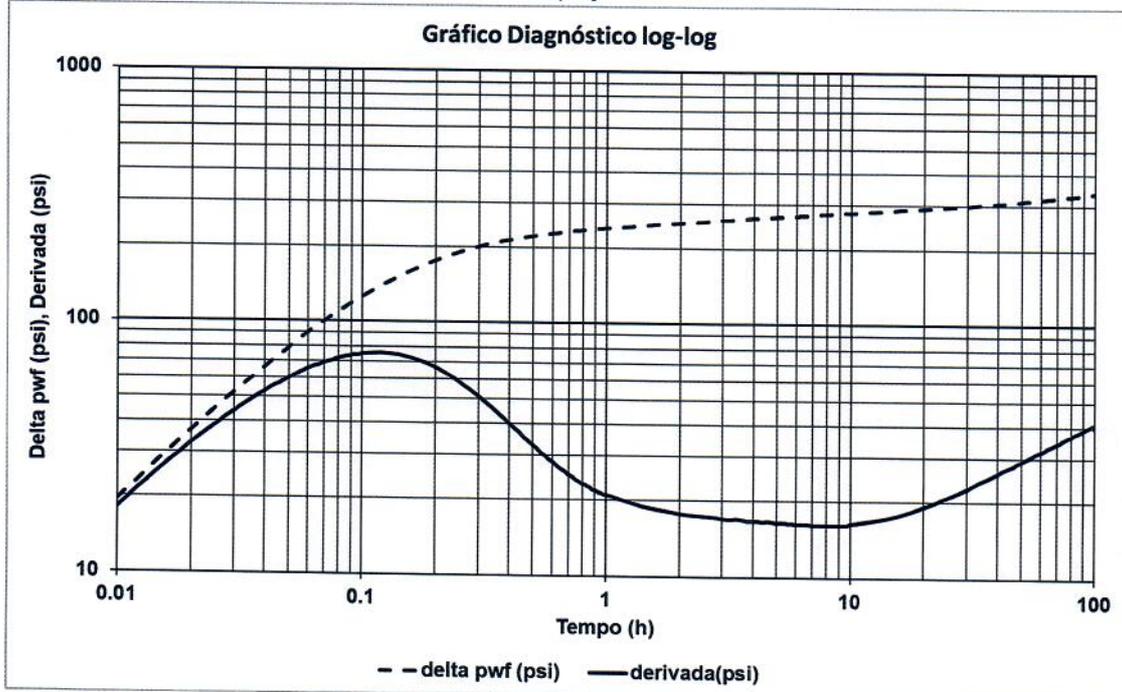
UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de Engenharia de
Petróleo

Questão 08: A interpretação de um teste de pressão em poço é um problema inverso típico onde pode-se obter vários modelos para interpretação de um mesmo conjunto de dados de pressão x tempo. A figura abaixo apresenta o gráfico diagnóstico (log-log) para um teste de fluxo realizado em um poço. Com base no gráfico apresentado, descreva os possíveis modelos de geometria para o sistema poço-reservatório que poderiam ser utilizados para interpretação deste teste (Valor 0,00 a 1,00 pts).

A curva da Derivada é calculada a partir da expressão: $Derivada = \frac{d\Delta p_{wf}}{d(\ln t)}$, onde:

Δp_{wf} – diferença entre a pressão inicial do reservatório e a pressão de fluxo durante o teste;
 $\ln t$ – logaritmo natural do tempo de fluxo do poço.



Expectativa de resposta da Questão 08

O gráfico diagnóstico indica a presença do efeito da estocagem (entre 0,01 e 5h), fluxo radial transiente (entre 5 e 10 h) e fluxo linear (entre 30 e 100 h). O fluxo linear é caracterizado pela reta de inclinação $\frac{1}{2}$ no gráfico diagnóstico log-log.

**Assinatura dos membros da
comissão**

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

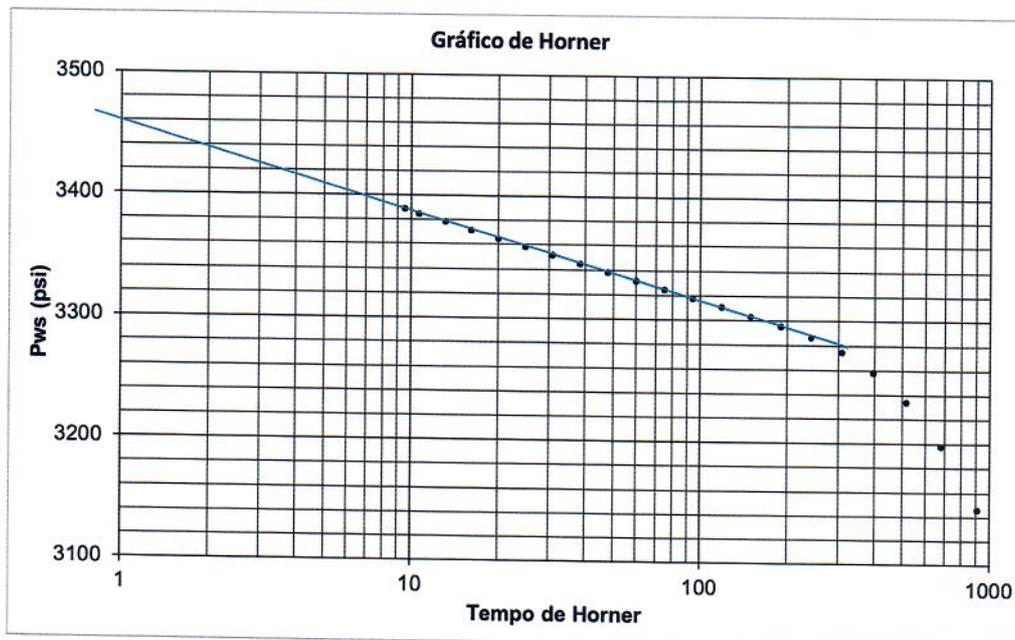
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de Engenharia de
 Petróleo

As seguintes geometrias para o sistema poço reservatório podem ser aplicadas na interpretação deste teste:

- a) Poço vertical em reservatório alongado em uma direção; o fluxo linear ocorre em um canal do reservatório para o poço;
- b) Poço horizontal com fratura hidráulica transversal;
- c) Poço vertical em reservatório com grande anisotropia de permeabilidade no plano horizontal ($k_x \gg k_y$)

Questão 09: Considere o gráfico abaixo que apresenta a curva do crescimento da pressão (pws) de um teste em função do tempo de Horner (Valor 0,00 a 1,00 pts).



A vazão durante o período de fluxo do poço variou de acordo com a tabela abaixo:

Período de Fluxo	
Tempo (h)	Vazão (STB/d)
0 a 24	180
24 a 96	30
96 a 246	120

Assinatura dos membros da comissão

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador:

UNIVERSIDADE FEDERAL DORIO GRANDE DO NORTE
Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita

Departamento de
Engenharia de Petróleo

Considerando as seguintes propriedades para o sistema poço-reservatório:

- Espessura do intervalo produtor: 11 pés;
- Porosidade: 19%;
- Raio do poço: 0,34 pés;
- Fator volume de formação para o óleo: 1,19 RB/STB;
- Compressibilidade total: $10,5 \times 10^{-6}$ (psi⁻¹);
- Viscosidade do óleo: 5,91 cp.

Utilize a aproximação de Horner para análise de build-up com vazão variável e determine os seguintes parâmetros:

- a) Pressão extrapolada (Valor: 0,00 a 0,40 pts);
- b) Permeabilidade; (Valor 0,00 a 0,60 pts);

A equação para solução pela aproximação logarítmica para o fluxo radial transiente com fator de película no sistema de unidades "oil field" é dada por:

$$p_i - p_{wf} = 162,6 \frac{qB\mu}{kh} \left(\log t + \log \frac{k}{\phi\mu c_t r_w^2} + 0,8686s - 3,2274 \right)$$

Expectativa de resposta da Questão 09

- a) A pressão extrapolada é obtida diretamente pela extrapolação da linha reta correspondente ao fluxo radial transiente no gráfico de Horner para tempo de Horner igual a 1.

$$p^* = 3460 \text{ psi}$$

- b) A permeabilidade é obtida pela inclinação da reta correspondente ao fluxo radial transiente.

$$m = \frac{3320 - 3460}{\log 90 - \log 1} = - \frac{71,64 \text{ psi}}{\text{ciclolog}}$$

Para o período de build-up:

$m = -162,6 \frac{qB\mu}{kh}$, desta forma $k = -162,6 \frac{qB\mu}{mh}$. Utilizando a aproximação de Horner para vazão variável antes do fechamento, utiliza-se a última vazão para cálculo da permeabilidade.

$$k = -162,6 \times \frac{120 \times 1,19 \times 5,91}{-71,64 \times 11} = 1,45 \text{ md}$$

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO PARA TODAS AS QUESTÕES

- Clareza e propriedade no uso da linguagem;
- Coerência e coesão textual, com uso correto da língua portuguesa
- Domínio dos conteúdos, evidenciando a compreensão dos temas objeto da prova;
- Domínio e precisão no uso de conceitos;
- Coerência no desenvolvimento das ideias e capacidade argumentativa.

**Assinatura dos membros da
comissão**

Presidente:

1º. Examinador:

2º. Examinador: