5 Resultados

Nesse capítulo investiga-se o aumento de pressão do fluido confinado em decorrência do aumento de temperatura.

Como a variação de temperatura é um fator predominante para o aumento de pressão no anular, foi realizada análise de sensibilidade para investigar a influência da vazão e temperatura nos canhoneados (entrada do poço produtor) na variação de temperatura dos fluidos nos anulares. Estes dois parâmetros foram selecionados, pois não são conhecidos durante a etapa de projeto do poço, a qual é realizada utilizando valores estimados.

Posteriormente foi analisado o aumento de pressão para diferentes vazões de produção, temperatura no canhoneado, tipos de fluido confinado nos anulares, diferentes equações de estado para mesmo tipo de fluido e o impacto em considerar a elasticidade da estrutura do poço.

Para realizar as análises acima foi desenvolvido um programa em Matlab com o modelo apresentado no Capítulo 3.

Para fins de validação, os resultados obtidos com o programa em Matlab foram comparados com um software comercial utilizado na indústria. Não temos conhecimento das considerações utilizadas nessa aplicação comercial.

5.1 Cenário de Estudo

A seguir é apresentado o poço com sua configuração de fases, revestimentos e fluido nos anulares que foi utilizado como base para geração dos resultados deste trabalho. A Fig. 5.1 ilustra a geometria selecionada para ser analisada, a qual foi mantida constante no presente trabalho. Esta escolha foi realizada por ser uma configuração típica real. O poço considerado para a análise térmica e de aumento de pressão nos anulares é vertical. A base do poço, a qual recebe o óleo proveniente dos canhoneados é localizada a uma profundidade de 4400m. Considerando que o fundo do mar, onde o poço encontra-se localizado possui uma lâmina d'água de 1000m, resulta em um poço produtor com comprimento L=

3400m. Este é formado por três anulares, cada um com diferente comprimento. Os fluidos são contidos nos anulares pelos revestimentos. Estes são separados da formação por uma camada de cimento.

A pressão nos canhoneados, considerada na base do poço, é de 5000 psi, estando o *packer* assentado também nessa profundidade. O termo *packer* é utilizado para indicar o isolamento na base do primeiro anular. A Tabela 5.1 apresenta a configuração geométrica do poço, ilustrado na Fig. 5.1. Os revestimentos considerados estão apresentados na Tabela 5.2.



Figura 5.1: Ilustração do poço

É comum na perfuração de poço a utilização de fluido de perfuração do tipo sintético e aquoso, podendo às vezes óleo diesel ser utilizado como aproximação para fluido sintético. As propriedades térmicas utilizadas para os fluidos sintético, aquoso e óleo diesel foram apresentadas na seção 3.1.5. Para óleo diesel são apresentadas duas equações de estado com formas diferentes para analisarmos a influência da equação de estado no aumento de pressão do fluido confinado.

O poço apresentado na Fig. 5.1 produz óleo 23 API que escoa em regime permanente. O problema foi investigado considerando-se três valores diferentes para a vazão de produção (1500 m³/dia, 1800 m³/dia e 2000 m³/dia), assim como três valores para a temperatura do reservatório (80°C, 90°C ou 100°C).

Geometria do Poço	Diâmetro Externo	Profundidade do Revestimento (m)		Topo do Cimento (m)	Diâmetro do Boso(pol)	
	(pol)	Торо	Base	Cimento (m)	τ οζο(μοι)	
Revestimento Condutor	30	1000	1200	1000	36	
Revestimento de Superfície	20	1000	2000	1000	26	
Revestimento Intermediário	13 3/8	1000	3500	1800	17 1/2	
Revestimento de Produção	9 5/8	1000	4400	3400	12 1/4	
Coluna de Produção	5 1/2	1000	4400			

Tabela 5.1: Configuração do poço

1	abela	5.2:	Confia	Jracão	dos	revestimentos
1	abola	0.2.	Connigo	araçao	400	10100111011100

Configuração dos Revestimentos						
Diâmetro Externo (pol)	Diâmetro Interno (pol)	Peso (lbf/pé)	Grau			
30	28	310	В			
20	18	203	X-70			
13 3/8	12,347	72	P-110			
9 5/8 8,535		53,5	P-110			
5 1/2	4,892	17	L-80			

As condutividades térmicas utilizadas na análise de transferência de calor do poço foram selecionadas baseadas no trabalho de Gonzales e Bajwa, (2010). Assumiu-se uma formação constante ao redor do poço. Utilizou-se aço para o revestimento da coluna de produção e todos os revestimentos, sendo a condutividade térmica igual a $\lambda_{cop} = \lambda_{rev} = 45,35$ W/(mK). Para o cimento e formação, especificou-se a condutividade térmica como $\lambda_{cim} = 0,98$ W/ (mK) e $\lambda_{form} = 1,59$ W/(mK), respectivamente.

Os módulos de elasticidade E e coeficiente de Poisson v utilizados para o

Resultados

revestimento (*rev*), cimento (*cim*) e formação (*form*) são iguais a: $E_{rev}= 3 \times 10^7$ psi, $E_{cim}= 9.76 \times 10^5$ psi; $E_{form}= 3 \times 10^6$ psi; $v_{rev}=0.3$; $v_{cim}=0.16$ e $v_{form}=0.3$.

5.2 Parâmetros Numéricos

Para avaliar o problema de interesse é necessário definir alguns parâmetros numéricos. Logo, a primeira etapa deste trabalho foi definir estes parâmetros o que é realizado nesta seção.

O poço é perfurado na formação existente no fundo do mar, a qual pode ser considerada como um meio infinito. Logo, é necessário definir uma fronteira de influência do poço na formação, i.e., é necessário definir o tamanho do domínio de cálculo.

Para ser possível prever a variação axial de temperatura ao longo de todo o poço, é necessário definir uma malha de discretização, a qual não deve influir nos resultados finais.

A seguir, apresenta-se os testes realizados para a definição destes dois parâmetros.

5.2.1 Tamanho do domínio de cálculo

O tamanho do domínio deve ser grande o suficiente de forma a garantir que o gradiente geotérmico da formação já tenha sido atingido, ou seja, que a perda de calor na fronteira do domínio seja desprezível. Como mostrado no Capítulo 3, a resistência equivalente da formação (Eq. 3.27) depende do seu tamanho. O domínio foi investigado como uma região com raio ao redor do poço produtor igual a r_{∞} = 5 m, 15 m e 25 m.

A temperatura da formação foi estimada através de um perfil linear de temperatura desde a temperatura do fundo do mar a 1000m de profundidade, considerada a 4°C até a base do poço (canhoneados) a 4400m. Para a determinação do tamanho do domínio considerou-se temperatura nos canhoneados igual a 90 °C e vazão de 1800 m³/dia.

A Fig. 5.2 apresenta o perfil radial de temperatura na região da coluna de produção até o revestimento/cimento mais externo para três profundidades diferentes, obtidas como os três valores de r_{∞} . É possível perceber que a perda de calor na fronteira dos domínios de 15m e 25m é pequena, pois não influencia o

perfil de temperatura na região do poço.



Figura 5 2: Verificação do domínio da formação

Resultados

A diferença de temperatura média dos elementos do poço (fluido nos anulares, revestimentos, cimento, etc.), comparando os resultados para domínio de 5m e 15m, varia de 1 a 11 °C, apresentando diferença de 2% a 20%. Já, a máxima diferença de temperatura média encontrada na comparação do domínio de 15m e 25m é de 3 °C, no anular onde ocorre a maior diferença de temperatura entre a condição inicial e final, ou seja, na parte superior do poço, o que equivale a 6% de diferença entre as soluções obtidas nesses dois domínios. Observando os anulares com fluido, a variação de 3% a 8% na diferença de temperatura entre domínios de 5m e 15m e de 0,75% a 2% (média de 1,6 °C para o anular mais externo) entre 15m e 25m.

A partir destes resultados, selecionou-se o domínio de 15m para investigar o problema.

5.2.2 Teste de malha

Além do tamanho do domínio, verificou-se a influência da malha no modelo térmico, variando o espaçamento das profundidades de 10, 25, 50 e 100 metros. A Fig. 5.3 apresenta o perfil de temperatura axial em cada um dos anulares para as 4 malhas diferentes. Pode-se observar que a variação de temperatura nos anulares com a variação da malha é insignificante.

Analisou-se também o impacto da variação da malha no cálculo do aumento de pressão do fluido confinado, tendo em vista que a integração através do volume do anular será diferente. A comparação foi realizada para espaçamento axial da malha igual a 50m e 100m. O resultado apresentado na Tabela 5.3 mostra variação máxima de 2% no aumento de volume do fluido e aumento de pressão.

Malha 100		Malh	a 50	Dif, %	
Δ APB (psi)	Δ Vol (m ³)	Δ APB (psi)	Δ Vol (m ³)	Δ APB (psi)	Δ Vol (m ³)
6005	2,44	6078	2,48	1%	2%
4823	2,31	4924	2,34	2%	2%
4319	1,89	4344	1,92	1%	2%

Tabela 5 3: Impacto do grid no aumento de pressão e volume



(c) anular C Figura 5.3: Impacto da malha na temperatura

Como a variação de temperatura nos anulares é independente da malha e como o refinamento desta não apresentou uma variação significativa no resultado de aumento de pressão e volume, escolhe-se a malha com espaçamento de 100m entre as profundidades para ser utilizado nas análises.

5.3 Influência dos Parâmetros de Produção

Como mencionado no Capítulo 3, a distribuição de temperatura no poço foi determinada a priori, desacoplada no incremento da pressão. Então, nesta seção, as influências da vazão de óleo na coluna de produção, assim como a temperatura no óleo, no canhoneado, no aumento de temperatura nos anulares, são investigadas. Aqui, além da análise de sensibilidade mencionada, comparam-se também os resultados das previsões, com os resultados de um software comercial.

O software comercial não fornece detalhes de sua metodologia, ou dos parâmetros utilizados nas suas previsões. Porém, algumas informações são fornecidas, como por exemplo, o óleo é caracterizado como "Black Oil", considerando a presença de gás dissolvido no óleo. O software comercial modela a dissociação do gás e trata o escoamento na coluna de produção como multifásico. O modelo apresentado nesse trabalho, contudo não faz essa consideração, estando a comparação limitada a alguns cenários de produção onde não há muita desassociação de gás. O escoamento monofásico analisado é a produção de óleo 23 API.

A Fig. 5.4 apresenta para três valores de temperatura de canhoneados (80°C, 90°C e 100°C), o perfil de temperatura axial, da base do poço até o nível do mar, na posição radial correspondente ao centro do espaço anular. Considerou-se uma vazão igual a 1800 m³/dia na entrada da coluna de produção. Observa-se que a temperatura cai à medida que a profundidade diminui, i.e., se aproxima do fundo do mar (1000 m), que encontra-se a 4°C. Observa-se também, que a temperatura do anular mais afastado da coluna de produção é mais baixa, como é de se esperar. O perfil axial de temperatura nos três anulares apresenta o mesmo comportamento, porém com níveis diferentes. Note, nas posições dos anulares B e C, um aumento de temperatura, quando a cota na região onde existe fluido (região do anular) é alcançada. Note que o presente modelo e o software comercial apresentam o mesmo tipo de comportamento para o perfil de temperatura. Pode-se afirmar que os valores obtidos no presente trabalho, com o modelo monofásico simplificado, apresentam boa concordância com os resultados obtidos com o software comercial.

80



Figura 5.4: Comparação da temperatura nos anulares do modelo presente com software comercial

Analisando a Fig. 5.4 pode-se notar uma quebra brusca de temperatura, nos últimos metros, antes de chegar ao nível do mar (1000m), a qual não é observada nos resultados do presente modelo. A razão desta queda acentuada é o efeito da perda de calor dos anulares do poço na direção axial, com a lâmina de água, que se encontra a 4 °C. No presente modelo, a perda de calor, foi considerada como um fluxo puramente radial e a proximidade do fundo do mar à baixa temperatura com o topo dos anulares do poço não foi considerada. Para melhor observar esta queda acentuada de temperatura na região próxima ao fundo do mar, os resultados anteriores correspondentes à temperatura de 80°C são representados na Fig. 5.5, onde pode-se notar a temperatura dos anulares se aproximando da temperatura de 4°C do fundo do mar.



Figura 5.5: Queda de temperatura próximo à lâmina de água, para os três anulares. T_{in} = 80°C, Q=1500 m³/dia

(c) Anular C

A influência da vazão de produção nos perfis de temperatura é ilustrada na Fig. 5.6, considerando temperatura no canhoneado constante e variando a vazão de 1500 m³/dia, 1800 m³/dia e 2000 m³/dia.



Figura 5.6: Temperatura nos anulares variando a vazão de produção para a temperatura do revervatório de 80 C, 90 C e 100 C

A Fig. 5.6 mostra que apesar do pequeno efeito da vazão no perfil de temperatura, o aumento da vazão de produção aquece mais o poço fazendo a variação de temperatura ser maior à medida que nos afastamos radialmente do eixo do poço. Observa-se também, como já ilustrado na Fig.5.4, que o nível de temperatura nos anulares do poço acompanha o nível de temperatura na entrada da coluna de produção (80°C, 90°C e 100°C).

Para melhor visualizar o efeito da vazão de produção nas diferenças de temperaturas entre os anulares, apresenta-se na Fig. 5.7 (parte inferior), os incrementos das temperaturas médias dos anulares, devido às variações de vazões,

mantendo as temperaturas de canhoneado constante. As figuras superiores mostram os correspondentes incrementos percentuais nas temperaturas. Pode-se observar que o anular C, mais afastado do poço sofre a maior influência com relação à variação da vazão. Os incrementos de temperatura dos anulares A e B são análogos para todos os casos. Nota-se ainda, que apesar das temperaturas dos anulares serem mais altas, quando a temperatura do reservatório é maior, as diferenças percentuais são equivalentes. Na Fig. 5.7 pode-se observar que para temperatura de 90 °C no reservatório e a vazão variando de 1500 m³/dia para 2000 m³/dia (coluna verde), temos uma diferença da temperatura média no anular de 1 °C para anular A, 1,4 °C para anular B e 2,2 °C para anular C, equivalendo respectivamente a 1,3%, 1,8% e 3,2%.





Os mesmos resultados podem ser analisados mantendo-se a vazão constante e variando-se a temperatura do reservatório. Observa-se na Fig. 5.8 mais claramente o efeito da temperatura do canhoneado para uma vazão fixa. Como já mencionado, os perfis axiais de temperatura são similares, porém com nível deslocado.



Figura 5.8: Temperatura nos anulares variando a temperatura do revervatório para vazão de 1500 m³/dia, 1800 m³/dia e 2000 m³/dia

O mesmo procedimento utilizado na Fig. 5.7 de apresentar as diferenças de incremento de temperatura médias nos anulares é ilustrado na Fig. 5.9, com relação a diferenças de temperatura do canhoneado. Analisando os anulares individualmente, a diferença média da temperatura dos fluidos nos anulares é praticamente a mesma para as variações de temperatura do reservatório consideradas. Diferentemente do caso anterior, a mudança da temperatura no reservatório tem uma influência maior no anular mais próximo do eixo do poço.







Figura 5.9: Variação de temperatura nos anulares com variação da temperatura do reservatório para diferentes vazões.

Analisando o aumento de temperatura nos dois casos apresentados, a variação de vazão para mesma a temperatura no canhoneado e variação de temperatura no canhoneado para mesma vazão, vemos que o impacto da alteração

Resultados

da temperatura no canhoneado é maior que a alteração de vazão, a diferença máxima de temperatura nos anulares alterando vazão foi de 2,4 °C enquanto que a diferença máxima alterando temperatura no canhoneado foi de 9,5 °C, em torno de 4 vezes maior.

5.4 Aumento de pressão e volume dos fluidos nos anulares

Conforme descrito no Capítulo 3, o fluido confinado no anular do poço é aquecido durante a produção. Este aumento de temperatura causa uma expansão térmica do fluido e deformação dos revestimentos, causando um aumento de pressão nos espaços anulares. De acordo com o modelo matemático apresentado, considerou-se que a variação de pressão no poço não apresenta influência no campo de temperatura. Dessa forma, uma vez conhecido o perfil de temperatura nos anulares e revestimentos do poço, é possível calcular a variação de volume dos anulares do poço e estimar o aumento de pressão dos fluidos confinados, de forma a garantir a conservação de massa em cada anular. Vale ressaltar, no entanto, que a deformação de um elemento do poço influencia na deformação de outro elemento, e portanto, o aumento de pressão de todos os anulares deve ser calculado de forma acoplada. Pode-se também calcular o aumento de volume do fluido, caso não haja restrição para sua expansão.

A determinação do aumento de pressão nos espaços anulares foi realizada após a obtenção do campo de temperatura, apresentado nas seções anteriores. A malha utilizada para a determinação do campo de temperatura também foi utilizada para avaliar o aumento de pressão nos anulares, através dos termos de aumento de volume associados com a pressão hidrostática e de dilatação térmica.

Uma vez que o acréscimo de pressão ΔP_{apb} é uniforme dentro de cada região anular, para a sua obtenção, subdomínios englobando somente as regiões dos anulares devem ser definidos. Conforme descrito no Capítulo 3, a resistência à deformação de um elemento depende se o mesmo encontra contato com fluido em ambos os lados, ou se possui um lado em contato com o fluido anular e outro com camadas de diferentes sólidos. Dependendo no número de camadas de diferentes materiais, a resposta do sistema à diferença de pressão do anular/formação é diferente. Dito isso, concluiu-se que é necessário dividir o poço em trechos, em função do número de camadas sólidas em contato com o anular mais externo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA

(mais afastado do poço produtor). A Fig. 5.10a mostra que o poço selecionado para análise neste trabalho deveria ter sido sub-dividido em 6 regiões. Contudo, na implementação do modelo, a divisão foi feita em somente 3 trechos, onde havia mudança na quantidade de anulares com fluido, conforme mostrado Fig. 5.10 b.



Figura 5.10: Divisão do poço em trechos

A principal razão da adoção desse procedimento foi a simplificação da presente análise, pois a relação deformação da fronteira externa da parede do revestimento do último anular com o diferencial de pressão do anular e formação, desenvolvida no Capítulo 3, só considerou uma região com cimento em contato com a formação. Porém, uma vez que o cimento e formação tem módulo de elasticidade da mesma ordem de magnitude, muitos autores (Sathuvalli et al, 2005) desconsideram estas variações, pois não apresentam influência no resultado final.

Apesar da literatura disponível indicar que a aproximação usada é satisfatória, realizou-se uma análise no intuito de confirmar a validade da simplificação. Utilizando o software comercial, o poço foi simulado com e sem a simplificação, para verificar a influência destas subdivisões no aumento de pressão do fluido confinado e no aumento de volume. Os resultados obtidos encontram-se ilustrados na Tabela 5.4, onde observa-se uma diferença de apenas 1% em somente um anular. Este resultado demonstra que a simplificação empregada com o presente modelo não compromete os resultados obtidos.

Anular	Software Comercialcom esquema do poçoAnularsem simplificação		Software com esque com sim	Comercial ema do poço plificação	Diferença (%) Esquema do poço com simplificação e sem	
Δ APB (psi)		Δ Vol (m³)	Δ APB (psi)	Δ Vol (m³)	Δ APB (psi)	Δ Vol (m ³)
С	6141	2,42	6202	2,44	-0.99%	-0.83%
В	4892	2,28	4895	2,29	-0.06%	-0.44%
А	4149	1,84	4148	1,84	0.02%	0.00%

Tabela 5.4: Impacto da simplificação do esquema do poço

A Tabela 5.5 apresenta os resultados para aumento de pressão do fluido confinado em cada anular e aumento de volume do fluido, caso esse não esteja confinado para temperatura do reservatório de 90 °C e vazão de óleo de 1800 m³/dia. A variação de volume do fluido em todos os anulares é um pouco maior que a do software comercial, resultado esperado já que a temperatura obtida nos anulares com modelo presente é um pouco maior que a do software comercial, como apresentado na Fig. 5.4. Essa diferença de aumento de volume, para todos os anulares, corresponde a menos de 1% do volume total do anular. O aumento de pressão apresentou diferença máxima de 4%, correspondendo a 170 psi, diferença considerada aceitável. Cabe ressaltar que o modelo utilizado no software comercial não é conhecido, não sendo possível afirmar qual das duas modelagens é mais representativa da realidade. A boa comparação entre os resultados obtidos com a presente modelagem e obtidos com o software comercial indicam que o modelo presente é capaz de estimar valores similares ao de uma aplicação amplamente utilizadas na indústria.

Tabela 5 5: Comparação do aumento de pressão e volume entre modelo presente e software comercial

	Software Comercial		Presente		Diferença Presente e	
Anular	Δ APB (psi)	Δ Vol (m³)	Δ APB	A Vol (m ³)	Software Comercial (%)	
			(psi)			
С	6141	2,42	6005	2,44	2%	-1%
В	4892	2,28	4823	2,31	1%	-1%
А	4149	1,84	4319	1,89	-4%	-3%

5.4.1 Análise de sensibilidade

Nesta seção apresenta-se uma análise de sensibilidade para o aumento de pressão e volume do fluido no anular, considerando a influência de diferentes parâmetros, como vazões, temperatura de produção, fluidos e flexibilidade da estrutura.

A influência da temperatura do reservatório e das vazões de produção no aumento de pressão nos anulares apresentada na Fig. 5.11a. Na mesma figura, o aumento de pressão obtido para cada um dos anulares é apresentada. A Fig. 5.11b corresponde ao impacto da temperatura do reservatório e vazões de produção na variação do volume. Observa-se que o aumento de pressão do fluido confinado e o aumento de volume é maior à medida que a temperatura do reservatório cresce. O mesmo é observado com o aumento das vazões de produção. Note que todos os anulares apresentam a mesma tendência. O Anular C, mais afastado do poço produtor apresenta o maior incremento de pressão, e consequentemente, a maior variação de volume caso o anular pudesse expandir livremente. A depender da configuração do poço, esse pode ser o anular mais crítico para possíveis problemas de colapso da estrutura, por apresentar maior aumento de pressão. No entanto, para a configuração do poço em questão, o anular A, por apresentar maior diferencial de pressão, é o mais crítico para dimensionamento ao colapso enquanto que o anular C, a depender das considerações da operadora, o mais crítico para dimensionamento da pressão interna.

Na seção 5.3 vimos que a variação de temperatura no anular era 4 vezes maior com o aumento de temperatura do canhoneado do que com o aumento de vazão. O aumento de pressão do fluido confinado apresentou em torno de 2% de aumento com a variação da vazão, para todos os anulares e variação entre 9% e 13% em relação ao aumento de temperatura dos canhoneados, em torno de 5,5 vezes maior, comprovando a grande influência da temperatura nesse fenômeno e demonstrando a importância do modelo térmico nesse tipo de análise.

A próxima análise consistiu em verificar a influência do tipo de fluido no anular e sua caracterização através da sua equação de estado, no aumento de pressão e volume do fluido. Essa última análise é uma contribuição desse trabalho tendo em vista que não foi encontrada análise similar na bibliografia estudada.



Figura 5.11: Aumento de pressão e volume com variação temperatura reservatório e variação da vazão.

Algumas vezes na indústria, o diesel é utilizado como aproximação para o fluido sintético. Também é comum na perfuração de poço a utilização de fluido de perfuração do tipo sintético e aquoso. Para verificar a validade desta substituição, e no intuito de verificar qual tipo de fluido contribui para um maior aumento de pressão, investigou-se o impacto do fluido no aumento de pressão e volume dos anulares. Os fluidos nos anulares foram caracterizados como aquoso através da Eq. 3.44 (Sorelle et al,1982). Os fluidos dos anulares também foram representados

com fluido sintético utilizando a Eq. 3.39 apresentada por Zamora, e com a equação do diesel (Eq. 3.47) apresentada por Sorelle et al. (1982).Finalmente, a equação de estado para diesel apresentada por Zamora (Eq. 3.49) também foi empregada.

A Fig. 5.12 apresenta o resultado de aumento de pressão e volume do fluido em cada anular para temperatura do reservatório de 90 C e vazão de 1800 m³/dia, variando o fluido no anular do poço, sintético, diesel (Zamora e Sorelle) e aquoso. Comparando-se os resultados obtidos, considerando fluido sintético de Zamora, com a previsão, utilizando a equação do diesel apresentada por Sorelle et al. (1982), obtemos uma diferença de até 40% no aumento de pressão do anular. Contudo a diferença para o aumento de pressão é insignificante se utilizarmos a equação de estado para diesel apresentada por Zamora (Eq. 3.48). Analisando os resultados, observa-se uma diferença de 45% a 47% no aumento de pressão nos anulares para fluido sintético e aquoso.

Este resultado mostra que é necessário cuidado ao selecionar o fluido a ser utilizado na anular, demonstrando a importância da equação de estado e do tipo de fluido nesse tipo de análise. As equações apresentadas por Sorelle são lineares para pressão e temperatura, enquanto que a equação apresentada por Zamora não é linear. Esses resultados são referentes à temperatura do reservatório de 90 °C e vazão de 1800 m³/dia.

Observa-se que o fluido aquoso foi o que gerou o maior aumento de pressão do fluido confinado. Esse resultado está de acordo com o comportamento observado por Oudeman e Kerem (2004). O segundo maior aumento de pressão foi o encontrado com o diesel apresentado por Sorelle, e por último o fluido sintético junto com diesel apresentados por Zamora. O aumento de volume acompanhou a tendência apresentada pelo aumento de pressão, com exceção que o fluido sintético apresentado por Zamora tem um aumento de volume superior ao diesel também apresentado por Zamora.

A Tabela 5.6 fornece uma estimativa do aumento de pressão para cada grau adicional. A temperatura para fluido sintético e diesel Sorelle e Zamora, é praticamente a mesma, diferença de menos 0,5 °C. A temperatura do fluido aquoso é 3% superior (em torno de 3 °C) ao fluido sintético/diesel no Anular C. Ressalta-se que a condutividade térmica e o calor específico do fluido sintético/diesel é em torno de 50% menor que o aquoso.



Figura 5.12: Aumento de pressão e volume para diferentes tipos de fluido

	psi/F						
Anular	Zamora- Sintético	Zamora- Diesel	Sorelle- Diesel	Sorelle- Agua			
А	65	66	91	118			
В	60	60	81	102			
С	57	57	75	92			

Tabela 5.6: Aumento de pressão por grau com diferentes fluidos

Por fim, investigou-se a influência de considerar revestimentos flexíveis ou

rígidos no aumento de pressão. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.7. Analisando a diferença em considerar os revestimentos rígidos ou com flexibilidade, verificamos que a diferença no aumento de pressão atingiu 21% no Anular C considerando fluido sintético e temperatura de reservatório de 90 °C e vazão 1800 m³/dia. O volume acomodado devido à flexibilidade do sistema em percentagem, em relação ao volume total do anular é 0,2%, 1,2% e 5,5% para os Anulares A, B e C, respectivamente. Esses resultados colaboram com os obtidos por Oudeman e Kerem (2004), que a variação do volume do anular tem um impacto da ordem de 10% a 20%.

	flexível	
	Aumento de pressão (psi)	

Tabela 5.7: Comparação do aumento de pressão considerando sistema rígido e

	Aumento de pressão (psi)					
Anular			Diferença			
	Sistema rígido	Sistema flexível	(%)			
C	7609	6005	21%			
В	5709	4823	16%			
А	4578	4319	6%			

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA