

Metodologia para Ajuste de EOS para Uso em Simulação Composicional com CO₂

Helena Finardi Álvares Scanavini

"Na simulação composicional, o emprego da EOS é necessário na modelagem do fluido para prever o equilíbrio de fases num processo de injeção miscível de CO₂"

INTERESSES ESPECIAIS:

- [UNISIM](#)
- [Publicações UNISIM](#)
- [Portal de Simulação de Gerenciamento de Reservatórios](#)
- [UNIPAR](#)
- [Edições anteriores](#)

LINKS:

- [Unicamp](#)
- [Cepetro](#)
- [Dep. Eng. Petróleo](#)
- [Fac. Eng. Mecânica](#)
- [Ciências e Eng. de Petróleo](#)

PÓS-GRADUAÇÃO:

Ciências e Engenharia de Petróleo: interessados em Mestrado e Doutorado na área de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios de Petróleo [cliquem aqui](#).

1. Introdução

Processos com injeção de CO₂ são métodos de recuperação melhorada (EOR) de óleo, recomendados para reservatórios carbonáticos, como, por exemplo, os campos no pré-sal brasileiro. Este tipo de injeção, por promover a estocagem de CO₂ e assim diminuir sua liberação para a atmosfera, pode ser considerado como uma alternativa para ajudar na prevenção contra o efeito estufa.

Na simulação composicional de processos com injeção de CO₂, o emprego da Equação de Estado (EOS) é necessário na modelagem do fluido do reservatório a fim de prever o equilíbrio de fases num processo de injeção miscível de CO₂. A correta modelagem é essencial para obter uma previsão de produção confiável.

A EOS é amplamente utilizada devido à sua capacidade em descrever o comportamento de fases dos fluidos contidos no reservatório, sendo necessária a concordância satisfatória entre os resultados preditos pela EOS e dados experimentais de PVT relevantes para o fluido e para o processo de recuperação. O processo de ajuste dos parâmetros de uma EOS é chamado de *tuning* ou caracterização da EOS, sendo este um processo multi-estágios. No processo de ajuste, a escolha do número de pseudocomponentes usado para representar a EOS é muito importante, uma vez que pode ter impacto significativo no tempo computacional e na precisão de resultados de simulações composicionais.

2. Metodologia

A metodologia de ajuste proposta é resumida no fluxograma apresentado na Figura 1. Após a inserção da composição e, quando desejado, realização da pseudoização (*lumping*), o ajuste dos dados PVT experimentais deve ser realizado simultaneamente, todos dentro de uma mesma regressão: Psat, DL, CCE, teste de inchamento. Somente os ajustes da viscosidade e da PMM (pressão de mínima miscibilidade) devem ser feitos separadamente, após o ajuste das anteriores.

A regressão das propriedades deve ser sempre feita com o menor número de parâmetros possível, sendo sempre iniciada com poucos parâmetros, como propriedades críticas (Pc, Tc) para as frações pesadas. Caso seja necessário, outros parâmetros podem ser incluídos, como coeficientes de interação binários, *volume shift* e fator acêntrico.

Após uma primeira regressão, analisando os gráficos gerados (pontos experimentais e curva ajustada), é possível perceber se o ajuste ocorreu ou não. Se houver proximidade entre as curvas experimental e ajustada, o arquivo de saída é analisado, verificando os desvios dos dados calculados após a regressão pela EOS gerada em relação aos dados de PVT experimentais, calculados ponto a ponto. Exemplos de limites aceitáveis entre dados ajustados e experimentais são: Psat < 1%; viscosidade ≤ 5% e demais dados ≤ 3%.

Tendo estas propriedades modeladas, é feito o ajuste da viscosidade e então elabora-se o envelope de fases. O envelope serve como comparativo entre a composição original (caso base) com os

demais testes de pseudoização também ajustados. Se os envelopes de fase forem coincidentes, ao menos no ponto de saturação, o ajuste pode ser aprovado e então gerado o modelo da EOS para o fluido. Mais detalhes em Scanavini *et al.* (2013).

3. Aplicação

A metodologia de ajuste de EOS foi aplicada a um óleo leve, com 8% de CO₂, cujos dados foram retirados de Moortgat *et al.* (2010). As EOS geradas com 24, 7 e 3 pseudocomponentes foram utilizadas para representar o comportamento de fases do óleo leve no modelo de simulação composicional submetido ao processo de injeção contínua de CO₂. O modelo é constituído por uma malha Cartesiana regular com 24x24x10 células e com dois poços: um produtor e outro injetor (1/4 *five-spot*). As condições operacionais dos poços foram estabelecidas de modo a estabelecer uma vazão constante de injeção de CO₂ e manter as pressões dos poços e do reservatório acima da pressão de saturação do fluido. Procurou-se manter as condições de miscibilidade do CO₂ no óleo do reservatório. Como os resultados das simulações foram empregados na validação do ajuste de EOS, as propriedades petrofísicas do reservatório foram consideradas homogêneas.

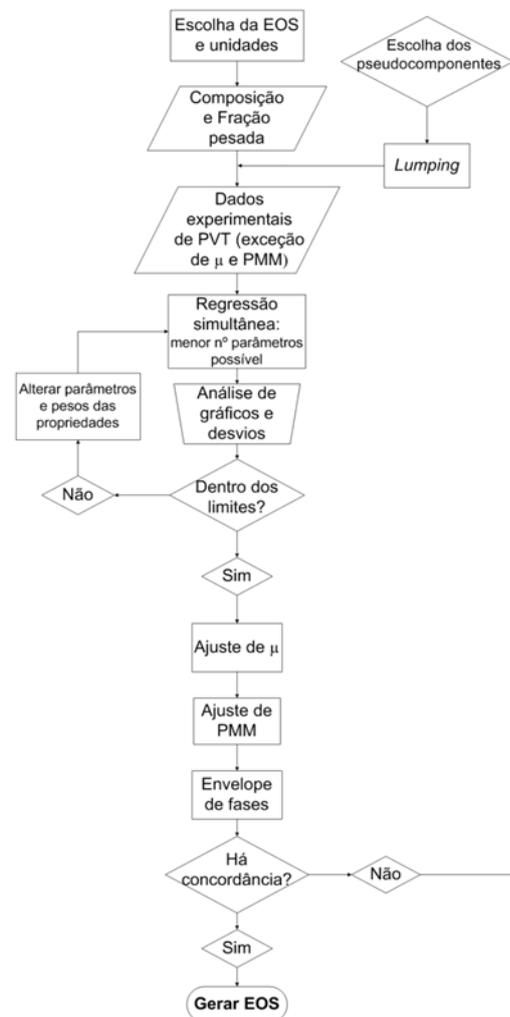


Figura 1: Fluxograma da metodologia de ajuste EOS.

"A metodologia desenvolvida é adequada para o ajuste da EOS para um óleo leve com certo teor de CO₂ em condições de baixa temperatura e elevada pressão."

OPORTUNIDADES NO UNISIM:

Se você tem interesse em trabalhar ou desenvolver pesquisas no UNISIM, entre em contato conosco.

Interesse imediato em:

- Pesquisador na área de simulação, gerenciamento e caracterização de reservatórios.

Para mais detalhes, [clique aqui](#).



Grupo de Pesquisa em Simulação e Gerenciamento de Reservatórios

Depto. Eng. Petróleo
Fac. Eng. Mecânica
Centro de Estudos de Petróleo
Univ. Estadual de Campinas
Campinas-SP

Tel: 55-19-3521-1220

Fax: 55-19-3289-4916

unisim@dep.fem.unicamp.br

4. Resultados

A Tabela 1 mostra os desvios obtidos considerando 7 pseudocomponentes. A EOS ajustada prediz bem as propriedades, sendo que o maior erro corresponde à viscosidade (4,17%), enquanto que o menor é da Psat (0,02%). Mas todos dentro dos limites aceitáveis.

Outro ponto a ser analisado é o envelope de fases para 7 pseudocomponentes (Figura 2), comparando-o ao envelope obtido para a composição completa (24). A coincidência entre os envelopes indica uma alta possibilidade da EOS modelada para a composição pseudoizada gerar os mesmos resultados que a simulação com a EOS para a composição original. Observa-se que os envelopes são coincidentes ao longo das condições de (P, T). Na região da temperatura do reservatório (137,75°F), as linhas de qualidade também são coincidentes, indicando uma boa predição do equilíbrio de fases com 7 pseudocomponentes, em relação ao de 24 componentes. Vale lembrar que um fluido ajustado deve ser usado somente em simulações nas mesmas condições nas quais foi feito o ajuste da EOS – condições de T e P varridas pelos experimentos de PVT.

Tabela 1: Desvios para 7 pseudocomponentes

Dado PVT	Desvios (%)
Lib. Diferencial	
Psat	0,02%
B _o	0,49%
GOR	1,19%
SG	0,84%
B _g	1,74%
Viscosidade	4,17%
Teste de inchamento	
Psat	0,98%
Fator de inchamento	0,72%

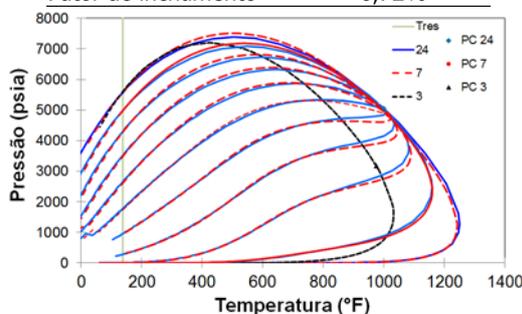


Figura 2: Envelopes de fases - composição completa, 7 e 3 pseudocomponentes.

Para confirmar que a EOS da composição pseudoizada é mesmo válida para representar o fluido original, foi realizada uma simulação com cada EOS e também com uma EOS gerada para apenas 3 pseudocomponentes. Os resultados na Figura 3 mostram a coincidência entre as simulações com 24 e 7 pseudocomponentes. Essa sobreposição das curvas comprova, juntamente com as análises anteriores das propriedades PVT, que a EOS ajustada para este fluido, considerando 7 pseudocomponentes, representa fielmente os resultados previstos pela EOS do fluido com sua composição original (24 pseudocomponentes). Isto é, a EOS de 7 pode ser utilizada em substituição à de 24, sem

Para maiores informações, visite

<https://www.unisim.cepetro.unicamp.br>

O UNISIM é um grupo de pesquisa da UNICAMP (Departamento de Engenharia de Petróleo, Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro de Estudos de Petróleo - CEPETRO) que tem como objetivo desenvolver trabalhos e projetos na área de simulação e gerenciamento de reservatórios.

haver perda de precisão e confiança nos resultados, e isso num menor tempo computacional, reduzido em 82% (24: 22,85 min; 7: 3,96min). Já o caso com 3 pseudocomponentes, apesar da maior redução do tempo de simulação (1,66 min), não apresenta bons resultados. Isso indica que, apesar de haver uma EOS ajustada para 3 pseudocomponentes na temperatura do reservatório (Figura 2), a mesma não é capaz de prever corretamente o comportamento do fluido.

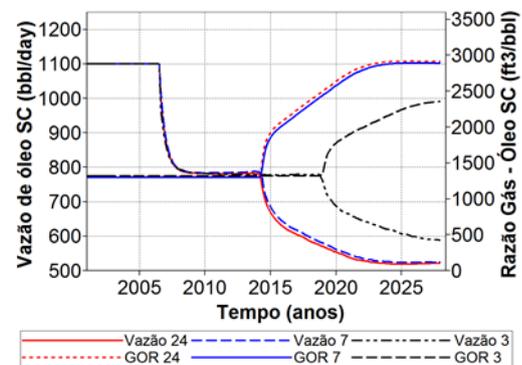


Figura 3: Perfis de vazão de óleo e razão gás-óleo

5. Conclusões

A metodologia desenvolvida é adequada para o ajuste da EOS para um óleo leve com certo teor de CO₂ em condições de baixa temperatura e elevada pressão. Baixos desvios foram obtidos entre os valores previstos pela EOS e os dados de PVT experimentais para o caso com 7 pseudocomponentes. A simulação composicional com 24 e 7 pseudocomponentes forneceram resultados idênticos, comprovando que ambas as EOS ajustadas são capazes de representar com precisão o comportamento do fluido em questão. É possível realizar uma simulação em um menor tempo computacional, utilizando apenas 7 pseudocomponentes, sem a perda de dados devido a pseudoização, ao contrário do que foi observado com 3 pseudocomponentes – nem sempre a redução do tempo computacional é válida frente a qualidade dos resultados obtidos. Isso alerta para a necessidade de um ajuste cuidadoso da EOS e também da escolha do número de componentes. Para números intermediários de componentes é sempre recomendado fazer uma avaliação prévia.

6. Referências

- Moortgat, J.; Firoozabadi, A.; LI, Z.; Espósito, R.: SPE 135563. ATCE, 2010.
Scanavini, H. F. A.; Ligerio, E. L.; Schiozer, D. J.: Metodologia para ajuste de equação de estado para uso na simulação composicional de processos de injeção de CO₂. 2º Congresso Brasileiro de CO₂ na Indústria de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, 2013.

Informações sobre a autora:

Helena F. A. Scanavini possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia de Alimentos pela UNICAMP. Atualmente é pesquisadora no UNISIM atuando na área de simulação composicional de processos envolvendo CO₂.