

# PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DE PRECIPITAÇÃO DE ASFALTENOS EM POÇOS DE ALAGOAS UTILIZANDO EQUAÇÃO DE ESTADO CÚBICA – CPA

Tatiana G. Doria<sup>1</sup>

Yuri O. Melo<sup>2</sup>

Julian B. Castiblanco<sup>3</sup>

Jhonattas C. Carregosa<sup>4</sup>

Alberto Wisniewski<sup>5</sup>

Dheiver Francisco Santos<sup>6</sup>

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

Um estudo realizado em amostras de petróleo da bacia Sergipe-Alagoas, do campo de Pilar e Tabuleiro dos Martins, localizados em Alagoas, tem a finalidade de estudar a precipitação de asfalteno por meio da utilização de um *software* que prevê o comportamento da precipitação por uma equação de estado cúbica que considera a associação entre as moléculas de asfaltenos e a associação entre o asfalteno e aromáticos/ resinas – *Asphaltene Precipitation Calculation by CPA-EOS*. O mesmo utiliza dados de entrada a composição de cada óleo, condições de temperatura e pressão, temperatura crítica ( $T_c$ ), pressão crítica ( $P_c$ ). Os resultados obtidos por meio da simulação numérica foram satisfatórios, mostrando que pode ser uma alternativa para conhecer as condições de precipitação dos óleos localizados nos campos do estado de Alagoas. O *software* exibe condições de temperatura e pressão onde há incidência de haver precipitação de asfaltenos, a partir de diagramas de fase.

## PALAVRAS-CHAVE

Precipitação de Asfalteno. Equações de Estado Cúbicas (CPA). Comportamento das Fases de Precipitação.

## ABSTRACT

A study carried out on oil samples from the Sergipe-Alagoas basin, from the Pilar and Tabuleiro dos Martins field, located in Alagoas, has the purpose of studying the precipitation of asphaltene through the use of software that predicts the behavior of precipitation through a cubic state equation that considers the association between asphaltene molecules and the association between asphaltene and aromatics / resins. The results are satisfactory, showing that the numerical simulation can be an alternative to know the conditions of precipitation of the oils located in the fields of the state of Alagoas.

## KEYWORDS

Asfalteno Precipitation. Cubic State Equations (CPA). Behavior of Precipitation Phases.

## 1 INTRODUÇÃO

O petróleo é oriundo da transformação de matérias orgânicas por meio de processos físicos e químicos, que por meio da deposição de sedimentos de baixa permeabilidade e com inibição da ação da água, em condições termoquímicas apropriadas, dão início aos processos de formação de campos de petróleo. O petróleo sofre alteração na sua composição ao longo da sua extração devido aos processos termodinâmicos, que, com a alteração das condições de temperatura e pressão, suas frações moleculares interagem com outros constituintes presentes no petróleo, como exemplo, constituintes polares e resinas, que acabam influenciando a precipitação de parafina desestabilização e deposição dos asfaltenos (GROENZIN; MULLINS, 1999).

A deposição de asfalteno está presente em diversos poços no Brasil e possui associação com as condições do reservatório e as características do óleo. Traz como consequência danificação de diversos setores operacionais por deposição em válvulas e equipamentos, sua precipitação pode estar presente tanto na extração do petróleo, quanto no transporte e armazenamento, gerando alto custo além da paralisação operacional nas unidades industriais (TRANGENSTEIN; BELL, 2014; ZHAO *et al.*, 2015).

Devido as diversas consequências relacionadas a precipitação de asfalteno, atualmente estão sendo feitas diferentes pesquisas utilizando as Equações de Estado Cubicas com associação (CPA - EOS) tentando explicar seu surgimento, consequências e métodos que minimizem essa precipitação. Assim, alguns trabalhos como Nasrabadi e outros autores (2016), que em sua publicação relatam a implementação do CPA-EOS na modelagem composicional tentando produzir uma técnica para acelerar o achado da raiz da CPA-EOS, empregaram tal equação para a análise de injeções de CO<sub>2</sub> e obtiveram como resultado a demonstração da fase rica em asfaltenos saturados e a aplicação de CPA-EOS na modelagem em fluxos trifásicos de gás, líquido leve e fases ricas em asfalteno.

O trabalho de Li e Firoozabadi (2010b), também utiliza a equação de CPA com associação, porém seu método é aplicado para precipitação de asfalto a partir de n-alcenos, asfalto-tolueno, óleos pesados e betume. Esse modelo gera um parâmetro ajustável à energia de associação cruzada entre asfalto, moléculas aromáticas ou resinas, que dependem do tipo de asfalto e conseguem prever a quantidade de precipitação de asfaltos numa vasta gama de composições, temperatura e pressões.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo o estudo da análise de precipitação do asfalto em campos de petróleo do estado de Alagoas, de acordo com as propriedades específicas dos fluidos por meio da utilização das Equações de Estado Cúbica (CPA) e identificar as condições de pressão e temperatura que influenciam neste processo de precipitação com alteração na composição, além da demonstração por meio de modelagem computacional o comportamento da fase de precipitação do asfalto no óleo em condições de reservatório.

## **2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

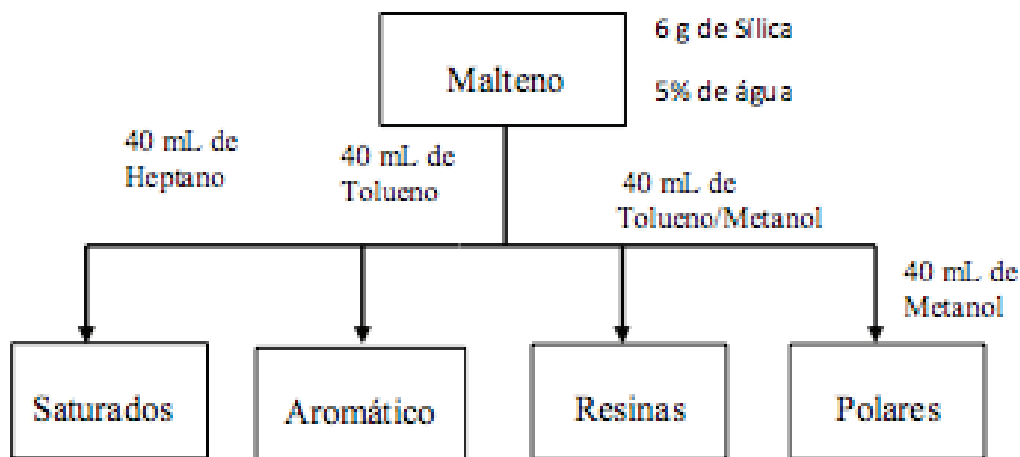
Neste trabalho foram feitas caracterizações de duas amostras de petróleo da Bacia Sergipe-Alagoas, dos campos de Pilar e do Tabuleiro dos Martins que serviram de input (Dados de entrada) para um algoritmo de precipitação de asfalto. Essas caracterizações foram feitas por meio de uma Metodologia de Fracionamento SARA aprimorada (SILVA, 2016) e pela técnica clássica de Cromatografia Gasosa com Detector de Ionização por Chama (GC-FID). Abaixo segue uma descrição das metodologias empregadas.

### **2.1 METODOLOGIA DE FRACIONAMENTO SARA APRIMORADA**

A metodologia SARA utilizada é uma adaptação da metodologia clássica (SILVA, 2016). Nessa técnica, inicialmente 1g de óleo é solubilizado em n-heptano e centrifugado múltiplas vezes para a precipitação dos Asfaltos, que não são solúveis em n-heptano, as demais classes químicas ficam solubilizadas no mesmo, que será posteriormente evaporado, formando assim uma mistura denominada de malteno, que contém os compostos saturados, aromáticos e asfaltos os quais serão separados posteriormente em uma coluna cromatográfica com o uso de solventes específicos para cada uma das classes químicas.

Nesse caso, a coluna utilizada foi uma coluna cromatográfica aberta de vidro de 1,5 cm de diâmetro preenchida com lã de vidro e então empacotada com sílica. Uma massa de 10 mg do malteno foi então transferida para a coluna com o auxílio de n-heptano, e em seguida iniciou-se a eluição (separação) de cada uma das frações. Para a eluição dos compostos saturados, utilizou-se hexano, para os aromáticos uma solução de Tolueno, para as Resinas uma solução de Tolueno/Metanol (1:1) e por fim também se utilizou metanol para eluição de compostos Polares. A utilização de cada um desses solventes é baseada na polaridade de cada classe química.

Figura 1 – Procedimento do Fracionamento SARA



Fonte: Próprio Autor

A medida que cada eluição era feita, a mistura solvente mais compostos de cada classe era coletada em vails previamente pesados, após esses permanecerem evaporando por alguns dias, entorno de 5 dias, para a remoção dos solventes, pesou-se as massas dos vails, contendo a massa de cada fração e comparou-se com a massa de malteno utilizada inicialmente para a determinação do percentual de cada uma das classes químicas.

## 2.2 CROMATOGRAFIA GASOSA COM DETECTOR DE IONIZAÇÃO POR CHAMA (GC-FID)

Para o desenvolvimento da técnica de GC-FID foi empregado um LECO/Agilent 7890A equipado com um forno secundário e modulador de duplo estágio. A aquisição e o processamento de dados foram realizadas com o *software* ChromaTOF 4.34. Todas as amostras de óleo bruto foram submetidas à análise por GC-FID em uma concentração de 50 mg mL<sup>-1</sup> com solubilização em Tetraidrofurano (THF).

Tabela 1 – Parâmetros cromatográficos utilizados nas análises

Coluna	HP-5ms (30 m x 0,32 mm d.i., 0,25 µm) na primeira dimensão; e uma DB-17 (1,5 m x 0,1 mm d.i., 0,1 µm) na segunda dimensão
Forno primário	40 °C (5,0 min); 3°C a 260°C (1,00 min);
Forno secundário	60 °C (5,0 min); 3 °C a 280 °C (1,00 min)
Temperatura do injetor	290°C

Temperatura do detector	320°C
Modo de Operação	Split
Gás de arraste	Hidrogênio (1,20 mL min <sup>-1</sup> )
Volume de injeção	1μL
Tempo de análise	min

Fonte: Próprio Autor

### 2.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL ATRAVÉS DA EQUAÇÕES DE ESTADO CÚBICAS (CPA)

O *software* utilizado para executar o cálculo de precipitação de asfalto usa a equação de estado (CPA-EOS). Na teoria são consideradas a autoassociação entre moléculas de asfaltos, a associação cruzada entre os asfaltos e as moléculas «pesadas», o termo 'moléculas pesadas' está relacionado as resinas, saturados e aromáticos e não há nenhuma associação entre elas. O *software* tem seu cálculo de previsão do comportamento das fases baseado no trabalho Li e Firoozabadi (2018b) tendo como resultado, dados da pressão superior, inferior e pressão bolha, onde a pressão superior apresenta apenas uma fase líquida enquanto a fase inferior apresenta três fases (gás, líquido isento de asfalto e líquido rico em asfalto).

Logo o *software* utilizado para simulação numérica do cálculo da precipitação de asfalto apresenta uma teoria empregada em uma relação da autoassociação entre as moléculas de asfaltos e associação cruzada entre o asfalto e as moléculas pesadas, a exemplo dos aromáticos e resinas presentes em cada amostra de óleo (LI; FIROOZABADI, 2010b).

A teoria é proposta a partir de soluções modelos como óleos pesados reais e betumes, que são caracterizados em pseudocomponentes, ou seja, aromáticos / resinas (apresentam interações polares – polares), saturados e asfalto.

De acordo com as equações de estado cúbicas, o excesso de Helmholtz, a energia de interação de associação entre os sítios A e B,  $A^{ex}$ , consiste na parte física representando a molécula não associada, como repulsões de curto alcance e atrações de dispersão. A parte da molécula associada representa as interações polares – polares de asfalto e moléculas pesadas (autoassociação e associação cruzada, respectivamente). Tal contribuição física se deve a Peng-Robison que calcula a energia em excesso por meio da equação abaixo (LI; FIROOZABADI, 2010a):

$$\frac{A_{nh}^{ex}}{nRT} = -\ln(1-b_{\bar{n}}) - \frac{a}{2\sqrt{2}bRT} \ln\left(\frac{1+(1+\sqrt{2})b_{\bar{n}}}{1+(1-\sqrt{2})b_{\bar{n}}}\right) \quad (1)$$

onde R é a constante universal dos gases, T é a temperatura absoluta, n o número de moles,  $\rho$  é a densidade molar da mistura e a e b são parâmetros de energia e

volume da mistura respectivamente. Essas medidas podem ser estimadas, aplicando o método da mistura quadrática de Van Der Waals e são determinados pelas equações abaixo, levando em conta as propriedades críticas e o fator acêntrico de cada componente (Li e Firoozabadi, 2010a).

$$a_i = 0,45724 \frac{R^2 T_c^2 c_i}{r c_i} + c_i (1 - \sqrt{Tr_i})^2 \quad (2)$$

$$b_i = 0,0778 \frac{RTc_i}{r c_i} \quad (3)$$

$$c_i = \begin{cases} 0,37464 + 1,54226w_i - 0,2699w_i^2 & w_i < 0,5 \\ 0,3796 + 1,485w_i - 0,1644c_i^2 + 0,01667w_i^3 & w_i > 0,5 \end{cases} \quad (4)$$

onde,  $Tr_i$ ,  $T_{c_i}$ ,  $P_{c_i}$  e  $\omega_i$  referem-se a temperatura reduzida, temperatura crítica, pressão crítica e o fator acêntrico do componente  $i$  respectivamente.

A contribuição do excesso de Helmholtz ocorreu devido a associação obtida da perturbação termodinâmica e dessa maneira é assumido que as moléculas de asfaltenos possuam sítios de associações  $N_A$  idênticos, e as moléculas pesadas tenham  $N_R$  de sítios de associações idênticos, logo teremos o excesso de Helmholtz em função das associações  $N_A$  e  $N_R$ :

$$\frac{A_{ass}^{ex}}{nRT} = N_A x_A \left( \ln x_A + \frac{1 - x_A}{2} \right) + N_R x_R \left( \ln x_R + \frac{1 - x_R}{2} \right) \quad (5)$$

os sub-índices A e R representam os componentes de asfaleno e moléculas pesadas que são frações molares não ligadas por meio do sítio A. Assim, poderemos encontrar os valores de  $x_A$  e  $x_R$  através das equações abaixo.

$$x_A = \frac{1}{1 + r_c N_A x_A x_A + r_c N_R x_R x_R} \quad (6)$$

$$x_R = \frac{1}{1 + r_c N_A x_A x_A} \quad (7)$$

onde, os sub-índices A e R representam as moléculas de asfaltenos e aromáticos / resinas, conseqüentemente  $x_A$  e  $x_R$  são as frações de asfaltenos e aromáticos / resinas que serão utilizadas no tratamento computacional para previsão do comportamento de precipitação de asfaleno em amostras de petróleo. O software leva em conta ambas metodologias (Li & Firoozabadi 2010a, Li; Firoozabadi, 2010b), pois as fórmulas descritas acima não são apenas aplicadas na parte de precipitação de asfaleno, mas também em uma análise completa do fluido, levando em consideração todos componentes presentes em cada amostra.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS ANÁLISES

Por meio de cada parcela de massa das amostras de petróleo analisadas na coluna cromatográfica, obteve-se os seguintes dados das frações mássicas de alguns componentes presentes nas amostras, representados na Tabela 2. Devido ao método de armazenamento e extração das amostras em análise, não foi possível a obtenção de dados dos componentes voláteis. Dessa forma, a Tabela 2 está representando uma parcela dos componentes presentes em cada amostra, pois para amostra de Pilar os componentes vão de C12 a C37 e na amostra do Tabuleiro dos Martins estão no intervalo de C12 a C41.

Tabela 2 – Frações mássicas em porcentagem de alguns componentes dos campos de Pilar e Tabuleiro do Martins

	<b>Pilar (%)</b>	<b>Tabuleiro dos Martins (%)</b>
C12	0,44	0,17
C16	2,10	1,34
C19	3,03	2,47
C24	5,95	5,49
C33	2,57	3,36
Asfalteno	1,01	1,26
Resinas / Aromáticos	18,30	18,50
Saturados	63,10	65,90

Fonte: Próprio Autor

Na coluna cromatográfica, as análises dos componentes de cada amostra são representadas de acordo com a intensidade e reproduzidas por picos exibidos em gráficos denominados cromatogramas. Os picos são identificados por meio da passagem de uma fase móvel, sendo está representada pelo hidrogênio e uma fase estacionária da coluna.

Tabela 3 – Condições de pressão e temperatura utilizados no input do software

	<b>Pilar</b>	<b>Tabuleiro dos Martins</b>
Pressão (bar)	300 – 500	300 – 500
Temperatura (°K)	321 – 598	321 – 598

Fonte: Próprio Autor

Tabela 4 – Valores transcritos da literatura Li e Firoozabadi, 2010b, dos componentes 'pesados'

	<b>Asfalteno</b>	<b>Aromáticos/Resinas</b>	<b>Saturados</b>
Tc (°K)	1474	1074	930
Pc (Bar)	6,34	10,85	11,98

	Asfalteno	Aromáticos/Resinas	Saturados
Omega	2,0	1,5	0,9
Mw (g/mol)	1800	660	460

Fonte: Próprio Autor

O tratamento computacional, por meio do *software*, teve como dados de entrada os componentes presentes em cada amostra de petróleo e os valores de pressão e temperatura representados na Tabela 2 e na Tabela 3 respectivamente. Os subcomponentes utilizados nas amostras foram os compostos saturados, aromáticos, resinas, asfaltenos de cada amostra. Foi necessário também a utilização de parâmetros como temperatura crítica ( $T_{c,i}$ ), pressão crítica ( $P_{c,i}$ ), fator ascêntrico e o peso molar ( $M_w$ ) de todos os componentes presentes em cada amostra, além dos valores associativos das moléculas. Os dados relacionados às frações mássicas dos componentes presentes nas amostras foram obtidos por meio das metodologias desenvolvidas por Li e Firoozabadi (2010b) e pela metodologia proposta pelo trabalho de Li e Firoozabadi (2010a) para os asfaltenos, aromáticos/resinas e os componentes polares respectivamente.

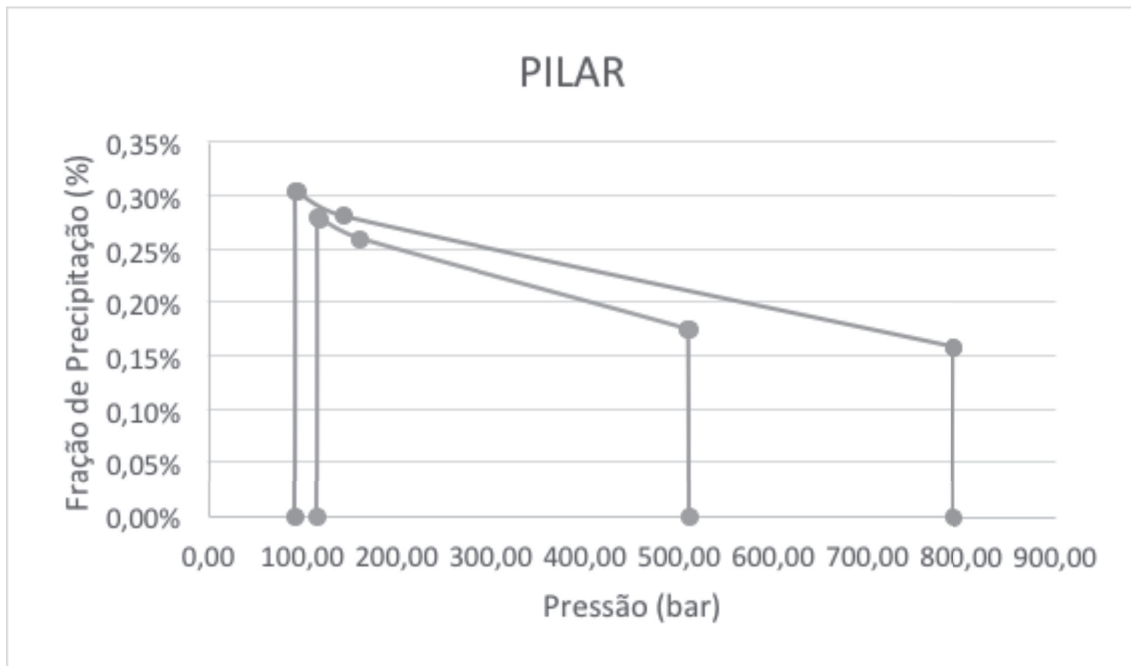
O valor do parâmetro de interação binária  $k_{ij}$  foi a partir aproximação do trabalho proposto por Arya (2016), onde, em seu trabalho, os valores de interações binárias eram todos próximos a zero, então foi adquirido o valor de  $k_{ij}$  a zero. De acordo com o trabalho proposto por Li e Firoozabadi (2010a), foram utilizados, na simulação numérica, os valores dos parâmetros de associação dos saturados e asfaltenos baseados nos cálculos presentes no trabalho e assim foram fixados os valores correspondentes ao parâmetro de volume de associação, energia de autoassociação entre as moléculas de asfaltenos e a energia de associação cruzada entre as moléculas de asfaltenos com as moléculas 'pesadas' em 0,01, 2000 e 885 respectivamente.

As Figuras 2 e 3 apresentam uma diminuição da área fracionária de precipitação quando há um aumento da temperatura tanto para a amostra de pilar quanto para a amostra do tabuleiro. A fim de evitar problemas decorrentes da precipitação de asfalto, os campos de Pilar e Tabuleiro devem operar em condições específicas, onde no campo de Pilar a faixa de pressão seja menor que 100 bar ou maior que 800 bar para temperatura de 320 K e pressão menor que 110 bar ou maior que 500 bar para a temperatura de 340 K, ilustrado na Figura 2. Enquanto no campo do Tabuleiro, as unidades operacionais devem operar em condições onde a pressão seja menor que 110 bar ou maior que 525 bar para temperatura de 340 K e pressão a baixo de 130 bar ou maior que 370 bar para a temperatura de 360 K, representado na Figura 3.

Na indústria de petróleo existe a necessidade de evitar ao máximo a precipitação de asfalto em qualquer unidade operacional, de acordo com essa simulação realizada, é possível gerar uma previsão de comportamento das fases e das frações de precipitação relacionadas às condições de temperatura e pressão. Com os dados obtidos, tanto pelas análises cromatográficas quanto pelos dados transcritos dos trabalhos de referência, foi possível identificar as condições onde são prováveis a ocorrência de uma precipitação de asfalto.

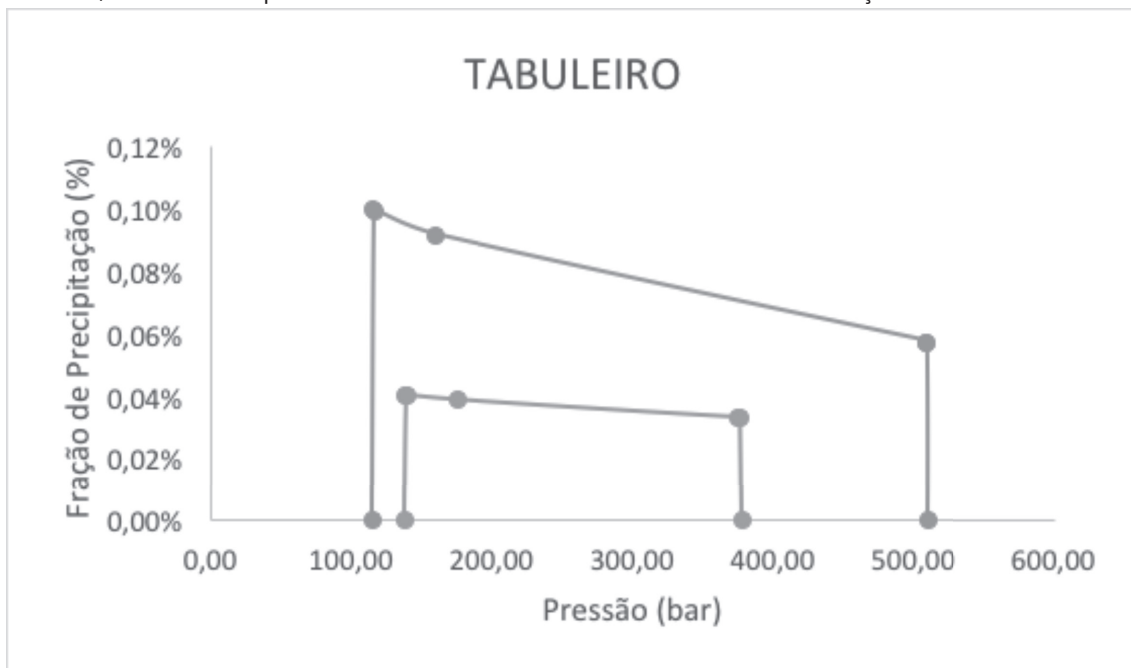


Figura 2 – Fração de asfalto precipitado em função da pressão para amostra de pilar, as linhas representando os resultados obtidos da simulação



Fonte: Próprio Autor

Figura 3 – Fração de asfalto precipitado em função da pressão para amostra do tabuleiro, as linhas representando os resultados obtidos da simulação



Fonte: Próprio Autor

O programa também é utilizado para simular as pressões de bolha e as pressões superior e inferior em função da temperatura em uma dada composição, demonstrando o comportamento do envelope de precipitação do asfalteno para cada amostra de petróleo analisada, exibidos na Figura 4 e na Figura 5. Resultados como esse são de extrema necessidade na avaliação do comportamento de precipitação, já que se fazem necessários em aplicações onde existe uma variação das condições de temperatura e pressão, a exemplo de poços localizados em águas profundas que as condições variam do poço até as instalações da superfície. O parâmetro de solubilidade do óleo de cada amostra pode explicar o comportamento de cada fase, sabendo que a medida que a pressão diminui da condição de reservatório para condição da pressão de bolha, a solubilidade do óleo também diminui, tornando o asfalteno menos estável por causa da diminuição da densidade do óleo.

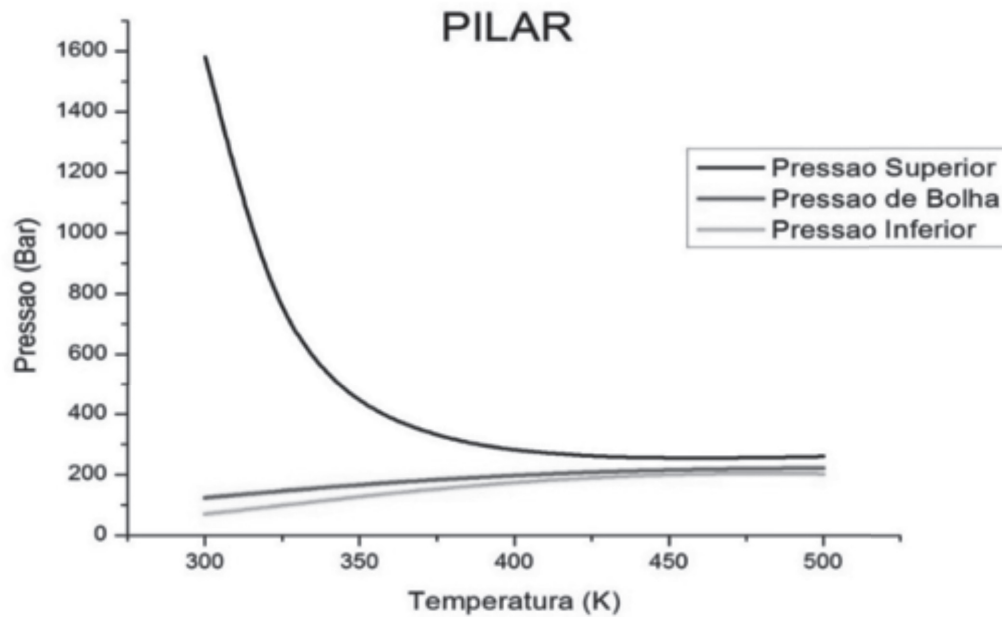
Pressões abaixo da pressão de bolha são condições de favorecimento do asfalteno, pois ocorre uma liberação de hidrocarbonetos leves tornando o óleo um bom solvente para o asfalteno. Assim, quando a pressão é maior que a pressão superior, o óleo se apresenta em fase monofásica, ocorrendo então a precipitação de asfalteno nas condições onde a pressão está entre a pressão superior e a pressão de bolha bem como entre o ponto de bolha e a pressão inferior, estando desse modo em um equilíbrio de duas fases óleo-asfalteno e equilíbrio trifásico gás-óleo-asfalteno para as condições respectivamente relatadas anteriormente (Li; Firoozabadi, 2010a).

Ao analisar a pressão inferior, tem-se que em temperaturas e pressões baixas, ou seja, no início da curva da pressão inferior, não há precipitação de asfalteno, pois o óleo se apresenta em duas fases gás-óleo. Com o aumento da temperatura ocorre uma diminuição da densidade do óleo, porém ao mesmo tempo acontece a entropia da solução, resultando em um efeito compensador de equilíbrio, ou seja, a precipitação de asfalteno pode ou não ser favorecida (Li; Firoozabadi, 2010a).

De acordo com as características termodinâmicas exemplificadas anteriormente sobre a solubilidade, densidade e condições das pressões de bolha inferior e superior, notamos que nas Figuras 4 e 5 em temperaturas acima de 450K existe uma estabilização entre as pressões, e conseqüentemente uma menor precipitação de asfalteno, tornando as condições mais apropriadas para operar, em razão de uma menor área entre as pressões superior e pressão de bolha bem como entre a pressão de bolha e pressão inferior.

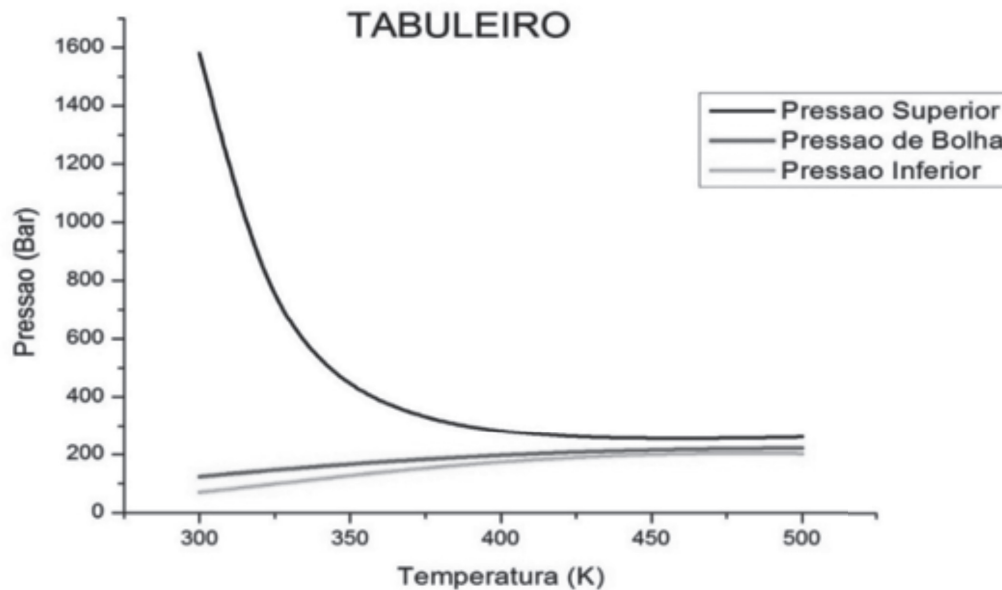
Entretanto, há uma condição crítica de precipitação de asfalteno na temperatura na faixa de 300K e 380K devido a presença de uma extensa área, demonstrando a ocorrência de um equilíbrio de duas fases óleo – asfalteno no intervalo de pressão 410 Bar – 1600 Bar. Nota-se também a pequena existência de um equilíbrio trifásico entre a pressão de bolha e a pressão inferior representada por uma pequena área, logo, uma menor variação de pressão.

Figura 4 – Pressões do ponto de bolha e precipitação superior e inferior em função da temperatura para o campo de Pilar



Fonte: Próprio Autor

Figura 5 – Pressões do ponto de bolha e precipitação superior e inferior em função da temperatura para o campo de Tabuleiro



Fonte: Próprio Autor

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho a equação de estado CPA foi utilizada para modelar o comportamento das fases de precipitação de asfalto em amostras de petróleos oriundos da bacia Sergipe-Alagoas. A equação de estado está implementada no simulador PVT para fluidos de reservatórios e por meio dessa implementação foi possível observar a previsão de comportamento das fases de cada fluido analisado, sendo dos campos de Pilar e Tabuleiro dos Martins, que serviram para o estudo de identificação de condições de pressão e temperatura onde existe uma precipitação de asfalto favorecida, de acordo com as condições submetidas nas análises computacionais.

Essas análises são bastante eficazes nas unidades petrolíferas, pois identificam problemas operacionais que podem vir a ocorrer durante a etapa de produção, armazenamento e transporte, ocasionados pela acumulação de asfaltos decorrentes das variações das condições de pressão e temperatura que o fluido é submetido. No âmbito de resultado, as amostras tiveram características diferentes em seu comportamento, onde a amostra de pilar, em comparação com amostra do Tabuleiro, mostrou-se bastante diferenciada no tocante às condições de fração de precipitação, apesar da composição semelhante em algumas frações.

## REFERÊNCIAS

ARYA, A. *et al.* Modeling of asphaltene onset precipitation conditions with cubic plus association (CPA) and perturbed chain statistical associating fluid theory (PC-SAFT) equations of state. **Energy and Fuels**, v.30, p.6835-6852, 2016.

GROENZIN, H.; MULLINS, O.C. Asphaltene molecular size and structure. **The Journal of Physical Chemistry A**, v.103, n.50, p.11237-1245, 1999.

LI, Z.; FIROOZABADI, A. Cubic-plus-association equation of state for asphaltene precipitation in live oils. **Energy and Fuels**, v.24, p.2956-2963, 2010a.

LI, Z.; FIROOZABADI, A. Modeling asphaltene precipitations by n-alkanes from heavy oils and betumes using cubic-plus-association equation of state. **Energy and Fuels**, v.30, p.1106-1113, 2010b.

NASRABADI, H.; MOORTGAT, J.; FIROOZABADI, A. New three-phase multicomponent compositional model for asphaltene precipitation during CO<sub>2</sub> injection using CPA – EOS. **Energy and Fuels**, v.30, 3306-3319, 2016.

SILVA, S. **Avaliação da metodologia de classificação SARA de óleos bruos e estudo da redução de escala.** 2016. Dissertação (Pós-Graduação em química) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão-SE, 2016.

TRANGENSTEIN, J.A.; BELL, J. B. Mathematical structure of the black-oil model for petroleum reservoir simulation. **Siam Journal on Applied Mathematics**, v.49, p.749-783, 2014.

ZHAO, L.; TAO, L.; LIN, S. Molecular dynamics characterizations of the supercritical CO<sub>2</sub> – mediated hexane-brine interface. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v.54, p.2489-2496, 2015.

---

**Data do recebimento:** 14 de Julho de 2018

**Data da avaliação:** 29 de Julho de 2018

**Data de aceite:** 3 de Agosto de 2018

---

---

1 Engenharia de Petróleo, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL. Email: tatiana.doria@outlook.com

2 Engenharia de Petróleo, Universidade Federal de Sergipe – UFS-SE. E-mail: ymx13@outlook.com

3 Engenharia de Petróleo, Universidade Federal de Sergipe – UFS-SE. E-mail: julianbc@outlook.com

4 Engenharia de Petróleo, Universidade Federal de Sergipe – UFS-SE. E-mail: jhonattas.carregosa@live.com

5 Engenharia de Petróleo, Universidade Federal de Sergipe – UFS-SE. E-mail: albertowj@ufs.br

6 Engenharia de Petróleo, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL. Email: dheiver.francisco@souunit.com.br

