

CONSISTÊNCIA TERMODINÂMICA DOS DADOS DE EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR A 373,15 K PARA O SISTEMA METANOL (CH₄O) E POLIETILENO GLICOL DIMETIL ÉTER (PEGDME 250)

João Miller de Melo Henrique¹, Giovanni Silva de Oliveira², Leandro Silva Ferreira Junior³, Mayra Kerolly Sales Monteiro⁴

^{1,2,3,4} Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica de Engenharia Química
joaomiller@ufersa.edu.br, giosilva.07@hotmail.com, leandroferreirajunior@hotmail.com, mayra.kerolly@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho consiste em testar a consistência termodinâmica dos dados experimentais obtidos da literatura para o equilíbrio isotérmico (T=373,15 K) do sistema Metanol – CH₃OH (1) e Polietileno glicol dimetil éter (PEGDME 250) - CH₃O(C₂H₄O)_nCH₃ (2), os quais foram submetidos aos testes de área e dos desvios. Além disso, fez-se uso da modelagem e simulação, com aplicação de modelos termodinâmicos, para predição dos dados experimentais com o auxílio de simuladores e ferramentas matemáticas como o CONSIST, ANTOINE e SPECS. Para calcular as propriedades críticas do PEGDME 250, utilizou-se o método de contribuição de grupos de Constantinou e Gani (1994). Em referência aos modelos, utilizou-se a abordagem gama-phi com o modelo de coeficiente de atividade UNIFAC aliado a equação de Soave-Redlich-Kwong (SRK) e a regra de mistura QMR, além da abordagem phi-phi, ao empregar a equação de Soave-Redlich-Kwong com associação CPA (Cubic-Plus-Association) aliado a regra de mistura QMR. Por fim, fez-se uso do modelo de cálculo do coeficiente de atividade com a equação de Hildebrand & Scatchard. Em relação ao teste da área, os dados isotérmicos do sistema trabalhado não foram consistentes, uma vez que o logaritmo da razão entre os coeficientes de atividade resultou em um valor acima de 0,01. O modelo que melhor ajustou-se aos dados experimentais foi através do UNIFAC aliado a equação de Soave-Redlich-Kwong (SRK). Por fim, observou-se um erro médio com a equação de Hildebrand & Scatchard para o cálculo da fase vapor de 0,58% e 31,54% no cálculo da pressão.

Palavras-chave: Consistência termodinâmica, Metanol, PEGDME 250

1. INTRODUÇÃO

Os dados de equilíbrio líquido-vapor são informações fundamentais para o projeto, otimização e operação de processos. Além de várias aplicações, as propriedades do ELV contribuem para o entendimento do comportamento das soluções, sendo a qualidade dos dados experimentais bastante importantes (OLIVEIRA, 2003).

Testes de consistência termodinâmica para dados de equilíbrio de fases (equilíbrio líquido-vapor) são frequentemente empregados para comprovar a veracidade e confiabilidade dos valores obtidos experimentalmente (ou encontrados na literatura) de forma a utilizá-los como base para trabalhos mais complexos sem oferecer riscos relacionados a erros de projeto. Para isso, faz-se uso de técnicas computacionais e numéricas associadas a modelos

termodinâmicos e abordagens específicas e, assim, analisam-se os dados a fim de analisar a sua consistência sob a ótica termodinâmica.

As equações de estado cúbicas (EdE) são frequentemente empregadas nos cálculos de equilíbrio de fases a baixas e altas pressões e, por isso, são muito utilizadas na aplicação de testes de consistência termodinâmica. A obtenção de parâmetros nessas equações vem da termodinâmica estatística. No entanto, modelos empíricos, como o de Peng-Robinson (PR) são muito mais simples, embora sejam equações cúbicas, e permitem que os valores necessários para a aplicação das abordagens utilizadas nos testes, como as abordagens gamma-phi e phi-phi, sejam mais facilmente obtidos. Por isso, esses modelos termodinâmicos são os mais utilizados na Engenharia Química (ARCE, 2003; VALDERRAMA, 2003).

Em relação ao sistema escolhido, a mistura de propriedades termodinâmicas de álcoois + n-etileno glicol dimetil éter tem sido extensivamente estudada nos últimos anos, devido a sua aplicação em absorção nos sistemas de refrigeração e bombas de calor. Dessa forma, Baranniko *et al.* (2011) sugere o estudo da mistura orgânica entre o polietileno glicol dimetil éter (PEGDME 250) com o metanol.

Dessa forma, visando analisar a consistência termodinâmica dos dados

isotérmicos de equilíbrio líquido-vapor para o sistema metanol-PEGDME 250, utilizou-se como ferramentas o teste de área e o teste dos desvios, baseados em abordagens phi-phi e gamma-phi, com modelos termodinâmicos como o UNIFAC, Hildebrand & Scatchard e equações de estado cúbicas como SRK e SRK+CPA, além de simuladores e ferramentas matemáticas para facilitar a predição do modelo como o CONSIST e SPECS v5.63.

2. METODOLOGIA

Em princípio, calcularam-se as propriedades críticas do PEGDME 250 baseado no método de contribuição de grupos sugerido por Constantinou e Gani (1994), como a temperatura, pressão e volume crítico. De posse dos dados experimentais, realizou-se o teste de consistência da área e dos desvios e, em seguida, a predição do modelo.

Para realização dos testes de consistência, fez-se uso das ferramentas Excel e Consist. Em relação a predição do modelo, foi utilizado o Microsoft Excel (2010) e o SPECS v5.63, sendo necessário alimentar os dados do componente PEGDME 250 no simulador a fim de contemplar o que foi proposto, dados estes como: fator de compressibilidade, fator acêntrico, constantes



de Antoine (obtidos pelo simulado Antoine.exe), pressão e temperatura críticas.

Os dados de equilíbrio isotérmico para o sistema binário em estudo foram obtidos por Herraiz *et al.* (1998), dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Dados experimentais de ELV para o sistema metanol (1) + PEGDME (2) a temperatura constante (373,15 K)

P (kPa)	φ_1	φ_2
21,64	0,0841	0,9304
41,47	0,1587	0,9660
63,21	0,2371	0,9796
87,40	0,3196	0,9868
112,61	0,3991	0,9908
141,17	0,4799	0,9936
167,20	0,5557	0,9954
200,29	0,6428	0,9970
231,07	0,7167	0,9980
268,50	0,8072	0,9989
305,54	0,8827	0,9995
340,69	0,9703	0,9999

2.1 Propriedades críticas

Para a estimativa das propriedades críticas do PEGDME 250, admitiu-se o método de contribuição de grupos. Tal estimativa é realizada a dois níveis: o nível básico usa as contribuições de grupos de 1ª ordem, enquanto o nível superior seguinte utiliza um pequeno conjunto de grupos de 2ª ordem com os grupos de primeira ordem como blocos de construção. As previsões baseiam-se exclusivamente na estrutura molecular do composto, e o método é capaz de distinguir entre os isômeros. Em

comparação com os métodos atualmente utilizados, esta técnica demonstra melhorias significativas na precisão e aplicabilidade (CONSTANTINOU & GANI, 1994).

Para calcular a temperatura, pressão e o volume críticos, sugerem-se as Equações 1, 2 e 3 (CONSTANTINOU & GANI, 1994; REID *et al.*, 1987):

$$T_c(K) = 181,128 \ln[\sum N_k(tc1k) + W\sum M_j(tc2j)] \quad [1]$$

$$P_c(bar) = [\sum N_k(pc1k) + W\sum M_j(pc2j) + 0,10022]^{-2} + 1,3705 \quad [2]$$

$$V_c(cm^3 mol^{-1}) = -0,00435 + [\sum N_k(vc1k) + W\sum M_j(vc2j)] \quad [3]$$

O fator de compressibilidade foi determinado a partir da Equação 4:

$$Z = \frac{P_c V_c}{RT_c} \quad [4]$$

2.2 Teste da área

O teste é aplicado assumindo a fase vapor ideal. Logo, avalia-se os coeficientes de atividade (γ) a partir dos dados experimentais do ELV na lei de Raoult, representados pela Equação 5.

$$\gamma_i = \frac{y_i P}{x_i P_i^{SAT}} \quad [5]$$

A análise da consistência termodinâmica dos dados isotérmicos baseia-se na razão da curva acima e abaixo de

$\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ igual a zero em função de x_1 , devendo tal resultado ser maior que 0,7. Para uma descrição mais detalhada, segue a Tabela 2:

Tabela 2: Critério de qualidade dos dados de equilíbrio líquido vapor baseado no teste de consistência dos desvios e da área.

Classe	ΔT ou ΔP^{**} (%)	A/B ^{***}	Definição
A	<0,25	0,95-1,00	Dados precisos, adequados para qualquer uso
B	0,25-0,50	0,90-0,95	Bons dados, aplicáveis para projeto e correlação
C	0,50-1,00	0,80-0,90	Aplicáveis para trabalhos onde alta precisão não é requerida
D	1,00-2,00	0,70-0,80	Podem ser aplicados mas com bastante precaução
E	>2,00	<0,70	Inaceitáveis, sugere-se estimar o ELV por outro caminho

* O desvio absoluto médio em y deve, ser menor que 0,01 para dados consistentes ($\Delta y_1 < 0,01$)

** Desvio relativo ***A/B Área menor sobre área menor do gráfico $\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ versus x_i .

As pressões de saturação dos componentes puros foram calculadas pela equação de Antoine e mostradas na Tabela 3.

Tabela 3: Constantes de Antoine para o Metanol (1) e PEGDME 250 (2), para dados de T em °C e pressão de saturação em mmHg

Componente	A	B	C
Metanol (1)	8,08097	1582,271	239,726
PEGDME 250 (2)	6,77197	1978,766	164,769

2.3 Teste de consistência dos desvios

Esse teste de consistência termodinâmica é realizado por meio do simulador CONSIST, no qual fornece os desvios relativos do cálculo da composição da fase vapor em relação aos dados experimentais, além de fornecer parâmetros importantes como os coeficientes de atividade e fugacidade. Para obtenção dos desvios e dos

demais parâmetros, faz-se necessário criar um arquivo de entrada com dados de composição, temperatura, pressão, temperatura e pressão críticas, fator de compressibilidade, raio de giração, momento dipolo, parâmetros de associação e solvatação.

O programa gera um arquivo de saída, com desvio médio de pressão e composição de vapor estimados ou temperatura e composição da fase vapor, uma vez que o mesmo é flexível para alimentar dados isobáricos e isotérmicos.

2.4 Predição dos dados de ELV

Três modelos para predição dos dados foram utilizados. Para realização de dois desses, utilizou-se o software SPECS v5.63. O primeiro consiste na abordagem phi-phi ao empregar a equação de estado de Soave-

Redlich-Kwong com associação CPA (*Cubic-Plus-Association*) que irá calcular os parâmetros de ambas as fases combinada com a regra de mistura QMR. A segunda abordagem utilizada foi a gamma-phi com o modelo de coeficiente de atividade UNIFAC aliado a equação de estado de Soave-Redlich-Kwong (SRK) e a regra de mistura QMR. Por fim, o modelo de Hildebrand & Scatchard (Prausnitz *et al.*, 2004) no programa Microsoft EXCEL (2010) para obtenção dos dados de pressão e composição na fase vapor e assim compará-los aos dados experimentais por meio do erro relativo, representado pela Equação 6.

$$E_{\text{relativo}} = \left(\frac{X_{\text{experimental}} - X_{\text{simulado}}}{X_{\text{experimental}}} \right) \times 100 \quad [6]$$

Para o modelo de Hildebrand & Scatchard, o coeficiente de fugacidade é dado por meio das Equações 7 e 8:

$$RT \ln \gamma_1 = v_1 \phi_2^2 (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad [7]$$

$$RT \ln \gamma_2 = v_2 \phi_1^2 (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad [8]$$

Uma vez que,

$$\phi_1 = \frac{x_1 v_1}{x_1 v_1 + x_2 v_2} \quad [9]$$

$$\phi_2 = \frac{x_2 v_2}{x_1 v_1 + x_2 v_2} \quad [10]$$

Dessa forma, calculam-se os valores de pressão e composição da fase vapor por meio das Equações 11 e 12, respectivamente:

$$P_c = x_1 \gamma_1 P_1^{SAT} + x_2 \gamma_2 P_2^{SAT} \quad [11]$$

$$y_i^c = \frac{x_i \gamma_i P_i^{SAT}}{P_c} \quad [12]$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades termodinâmicas do sistema binário

O PEG utilizado no presente estudo é uma mistura de poli(etileno glicol) éteres dimetílicos, cuja fórmula é $\text{CH}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{CH}_3$ em que $n=3$ a 9. Herraiz *et al.* (1998) afirma que o PEG foi analisado por cromatografia em fase gasosa e espectrometria de massa, resultando nas seguintes composições: para $n=3$, 14,19%; $n=4$, 16,97%; $n=5$, 22,76%; $n=6$, 21,93%; $n=7$, 12,99%; $n=8$, 8,51% e $n=9$, 2,64%.

Pelo método de contribuição de grupos sugerido por Constantinou & Gani (1994), as propriedades críticas calculadas e outras informações do PEGDME 250 e do metanol estão relacionadas na Tabela 4.

Tabela 4: Propriedades termodinâmicas do sistema binário Metanol(1) + PEGDME250
(2)

Substância	Tc (K)	Vc (m ³ .kmol ⁻¹)	Pc (atm)	MM (g.mol ⁻¹)	Z
Metanol	512,58	0,118	79,88	32,04	0,22
PEGDME 250	749,07	0,789	26,163	283,33	0,33

3.2 Teste de consistência da área

A Figura 1 denota o teste de área para o sistema binário a temperatura constante, na qual plotou-se os valores de $\ln(Y_1/Y_2)$ em função da composição na fase líquida.

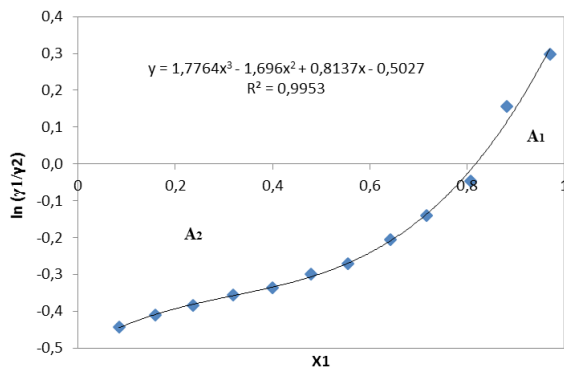


Figura 1: Relação de $\ln(Y_1/Y_2)$ em função de x_1 para o sistema Metanol (1) + PEGDME 250 (2) a T cte (373,15 K)

A equação gerada a partir do ajuste fornece as áreas A1 e A2. Por meio do método

integral, mensuraram-se os valores dessas áreas e, a partir da razão entre A1 e A2, foi encontrado um valor de 0,1262. Ao recorrer a Tabela 2, percebe-se que os dados experimentais são inconsistentes pelo teste da área, sendo sugerido estimar o ELV por outro caminho. Isso pode ser justificado pelo fato que um dos componentes se concentra muito na fase vapor (metanol) e que os coeficientes de atividade são muito próximos a 1.

3.3 Teste de consistência dos desvios

Com o auxílio do CONSIST, obtiveram-se os desvios relativos para a pressão e para a fase vapor em comparação aos dados experimentais através de iterações realizadas pelo simulador. Os dados simulados podem ser observados pela Tabela 5:

Tabela 5: Teste de consistência dos desvios para os dados experimentais do sistema em estudo.

X	PEXP	PEST	YEXP	YEST	GAMMA1	GAMMA2	G/R/T	TEMP	FUG10	FUG20	PHI1	PHI2
0.0841	0.2136	0.2093	0.9304	0.2670	0.2135	0.7833	-0.3535	373.15	30.996	0.2117	0.9960	0.9902
0.1587	0.4092	0.4157	0.9660	0.6977	0.5841	0.6920	-0.3951	373.15	31.005	0.2120	0.9910	0.9826
0.2371	0.6238	0.6158	0.9796	0.8195	0.6767	0.6683	-0.4000	373.15	31.015	0.2124	0.9860	0.9744
0.3196	0.8625	0.8633	0.9868	0.8890	0.7590	0.6393	-0.3925	373.15	31.026	0.2128	0.9806	0.9655
0.3991	11.113	11.225	0.9908	0.9268	0.8189	0.6131	-0.3737	373.15	31.037	0.2132	0.9750	0.9564
0.4799	13.932	13.805	0.9936	0.9494	0.8522	0.5943	-0.3474	373.15	31.050	0.2136	0.9688	0.9461
0.5557	16.500	16.484	0.9954	0.9650	0.8875	0.5686	-0.3171	373.15	31.062	0.2141	0.9631	0.9368
0.6428	19.766	19.909	0.9970	0.9780	0.9318	0.5288	-0.2730	373.15	31.077	0.2146	0.9560	0.9252
0.7167	22.803	22.716	0.9980	0.9852	0.9535	0.5040	-0.2283	373.15	31.091	0.2151	0.9494	0.9144
0.8072	26.497	26.422	0.9989	0.9921	0.9827	0.4550	-0.1659	373.15	31.108	0.2157	0.9414	0.9015
0.8827	30.232	30.403	0.9995	0.9967	10.295	0.3510	-0.0971	373.15	31.125	0.2163	0.9334	0.8886
0.9703	33.621	33.174	0.9999	0.9988	10.157	0.5313	-0.0037	373.15	31.141	0.2169	0.9262	0.8770



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Em análise aos dados simulados, verifica-se que ambos os coeficientes de atividade e fugacidade para o sistema estudado distanciam-se consideravelmente da unidade, indicando que ambas as fases líquida e vapor não são bem descritas por este modelo de cálculo. Os desvios relativos a fase vapor e a pressão foram de 0,1362 e 0,0137, respectivamente. Dessa forma, como $\Delta y_1 > 0,01$ conclui-se que os dados são inconsistentes, porém os dados de pressão mostraram-se bastante precisos ($\Delta P < 0,25\%$).

3.4 Predição do ELV

Para verificar a predição do equilíbrio líquido-vapor, plotou-se gráficos com os dados gerados pelos modelos e comparados com os dados experimentais. Em relação à abordagem phi-phi, a equação de estado de Soave-Redlich-Kwong com associação CPA (Cubic-Plus-Association) foi escolhida para calcular os parâmetros de ambas as fases combinada com a regra de mistura QMR e, o resultado obtido, pode ser visualizado pela Figura 2:

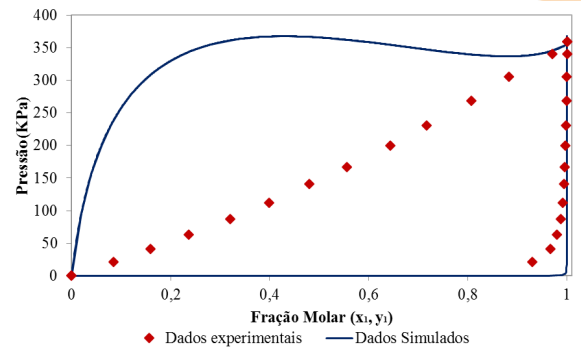


Figura 2: Comparação entre os dados experimentais e os dados simulados pelo modelo SRK+CPA para o ELV do sistema Metanol (1) + PEGDME (2) a 373,15 K

Em relação à abordagem gamma-phi, foi adotado o modelo de coeficiente de atividade UNIFAC aliado a equação de estado de Soave-Redlich-Kwong (SRK) e a regra de mistura QMR. A Figura 3 denota o comportamento dos dados simulados ao utilizar essa abordagem:

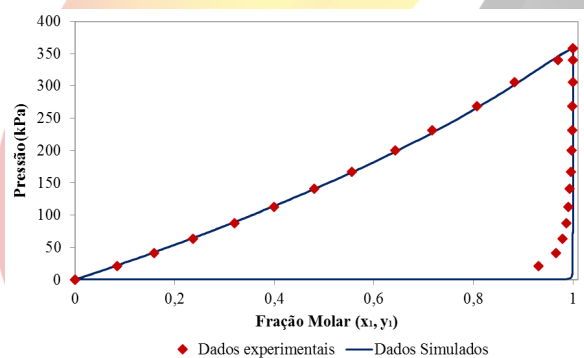


Figura 2: Comparação entre os dados experimentais e os dados simulados pelo modelo SRK+CPA para o ELV do sistema Metanol (1) + PEGDME (2) a 373,15 K

De uma forma geral, ao analisar as Figuras 3 e 4 percebe-se que o modelo que

www.conepetro.com.br

br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

melhor prediz os dados experimentais é o de UNIFAC a 1 coeficiente aliado à equação de Soave-Redlich-Kwong (SRK) e a regra de mistura QMR. Em relação ao modelo UNIFAC, por apresentar o melhor resultado da predição, corrobora o método de contribuição de grupos em que se supõe que a mistura não é formada por moléculas, mas sim por grupos funcionais. Além disso, percebe-se que a predição oriunda da abordagem phi-phi não prediz muito bem os dados, uma vez que se utiliza a equação de estado de Soave-Redlich-Kwong com

associação CPA aliado a regra de mistura QMR.

Por fim, a terceira abordagem adotada para o cálculo dos dados de ELV estudado foi o modelo de coeficiente de atividade de Hildebrand & Scatchard, assumindo a fase vapor ideal. Em análise a Tabela 6, observa-se que a média obtida a partir dos desvios de pressão e composição na fase vapor foram de 31,54 % e 0,58%, respectivamente. Dessa maneira, verifica-se um baixo desvio na fase vapor para o sistema em estudo a temperatura constante.

Tabela 6: Dados obtidos pelo modelo de Hildebrand & Scatchard para o sistema em estudo.

P (kPa)	x1	y1	ϕ_1	ϕ_1^{sat}	ϕ_2	ϕ_2^{sat}	Pc	Desvio P	ϕ_1^{calc}	ϕ_1^{exp}	Desvio y1	Desvio y2
21,64	0,0841	0,9304	0,0625	0,9375	1,2147	1,0009	37,5414	73,48	0,9620	0,0380	3,3943	45,3750
41,47	0,1587	0,9660	0,1204	0,8796	1,1867	1,0032	67,8934	63,72	0,9806	0,0194	1,5160	43,0719
63,21	0,2371	0,9796	0,1841	0,8159	1,1587	1,0075	98,3206	55,55	0,9878	0,0122	0,8399	40,3326
87,40	0,3196	0,9868	0,2543	0,7457	1,1310	1,0144	128,8556	47,43	0,9917	0,0083	0,4925	36,8187
112,61	0,3991	0,9908	0,3253	0,6747	1,1060	1,0237	157,0016	39,42	0,9939	0,0061	0,3128	33,6919
141,17	0,4799	0,9936	0,4011	0,5989	1,0826	1,0362	184,5074	30,70	0,9955	0,0045	0,1864	28,9371
167,20	0,5557	0,9954	0,4758	0,5242	1,0627	1,0514	209,4921	25,29	0,9965	0,0035	0,1133	24,5256
200,29	0,6428	0,9970	0,5664	0,4336	1,0425	1,0736	237,4938	18,57	0,9975	0,0025	0,0487	16,1978
231,07	0,7167	0,9980	0,6474	0,3526	1,0279	1,0972	260,9181	12,92	0,9981	0,0019	0,0145	7,2567
268,50	0,8072	0,9989	0,7524	0,2476	1,0137	1,1335	289,5989	7,86	0,9988	0,0012	0,0075	6,8098
305,54	0,8827	0,9995	0,8453	0,1547	1,0053	1,1713	313,9240	2,74	0,9993	0,0007	0,0182	36,2862
340,69	0,9703	0,9999	0,9595	0,0405	1,0004	1,2260	343,2015	0,74	0,9998	0,0002	0,0065	65,1878

4. CONCLUSÕES

Observou-se que os dados obtidos na literatura para o equilíbrio líquido-vapor do sistema binário Metanol + Polietileno glicol dimetil éter (PEGDME 250) são inconsistentes termodinamicamente para os testes escolhidos, uma vez que não obteve

resultados satisfatórios para os testes de área e nem dos desvios.

Na predição de dados, o modelo de coeficiente de atividade de UNIFAC apresentou resultados satisfatórios quando aliado a equação de estado cúbica de Soave-Redlich-Kwong. Além disso, o modelo de coeficiente de atividade de Hildebrand & Scatchard conseguiu obter baixos desvios para a fase vapor.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, P. F. **Modelagem e computação do equilíbrio multifásico de fluidos e fenômenos críticos em solubilidades de polímeros em misturas de dióxido de carbono supercrítico + co-solvente.** Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP, Pós graduação em Engenharia Química. Faculdade de Eng. Química, SP, Brasil, 2003.

BARANNIKOV, V. P.; GUSEYNOV, S. S.; VYUGIN, A. I. **Enthalpies of solvation of ethylene oligomers $\text{CH}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{CH}_3$ (n= 1 to 4) in diferente H-bonding solvents:**

Methanol, chloroform, and water. Journal of chemical thermodynamics, 2011.

CONSTANTINO, L.; GANI, R. **New group contribution method for estimating properties of pure compounds.** AIChE journal, v. 40, nº 10, p. 1697-1709, 1994.

HERRAIZ, J.; SHEN, S.; CORONAS A. **Vapor-liquid equilibria for methanol + poly(ethylene glycol) 250 dimethyl ether.** Journal Eng. Data, v. 43, p. 191-195, 1998.

OLIVEIRA, H. N. M. **Determinação de dados de equilíbrio líquido vapor para sistema hidrocarbonetos e desenvolvimento de uma nova célula dinâmica.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Pós graduação em Engenharia Química. RN, Brasil, 2003.

PRAUSNITZ, J. M.; TAVARES, F. W. **Thermodynamics of fluid-phase equilibria for standard chemical engineering operations.** AIChE Journal April, v. 50, nº 4, 2004.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

REID, R.C.; PRAUSNITZ, J.M. e POLING,
B.E. **The Properties of Gases and Liquids.**
MacGraw-Hill: New York, 1987.

VALDERRAMA, J. O. **The state of the
cubic equations of state.** Ind. Eng. Chem.
Research, v. 42, p. 1603-1618, 2003.



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

br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br