

PREDIÇÃO DA ENERGIA DE ATIVAÇÃO VISCOSA DOS LÍQUIDOS IÔNICOS IMIDAZÓLICOS [HMIM][PF₆] E [BMIM][TF₂N]

PREDICTION OF ACTIVATION ENERGY FOR VISCOUS FLOW OF IMIDAZOLIUM IONIC LIQUIDS [HMIM][PF₆] AND [BMIM][TF₂N]

César Augusto Canciam¹

Resumo. Os líquidos iônicos são compostos com estrutura iônico-covalente que apresentam pontos de fusão abaixo de 100°C, baixas pressões de vapor, não são inflamáveis e são relativamente atóxicos. Devido a essas características, os líquidos iônicos têm despertado grande interesse principalmente com relação à potencialidade de substituir os solventes orgânicos convencionais nos mais diversos processos. O presente trabalho teve por objetivo prever a energia de ativação viscosa dos líquidos iônicos imidazólicos hexafluorofosfato de 1-metil-3-hexilimidazólio [HMIM][PF₆] e bis(trifluorosulfonilo)imidato de 1-butil-3-metilimidazólio [BMIM][Tf₂N]. Para tanto, realizou-se uma análise de regressão linear de dados experimentais da viscosidade de cada líquido iônico imidazólico em função da temperatura a 0,1MPa. Estes dados experimentais foram obtidos do trabalho de Harris e colaboradores (2007). Os valores da energia de ativação viscosa foram iguais a 46,6211kJ.mol⁻¹ para o [HMIM][PF₆] e 29,1744kJ.mol⁻¹ para o [BMIM][Tf₂N]. Nos dois casos, os coeficientes de correlação foram próximos da unidade.

Palavras-chave. Predição. Energia de ativação viscosa. Líquidos iônicos.

Abstract. The ionic liquids are compounds of ionic-covalent structure which have melting points below 100°C, low vapor pressures, they are not flammable and are relatively nontoxic. Due to these characteristics, ionic liquids have attracted great interest especially in relation to potential to replace conventional organic solvents in various processes. This work aimed to predict values for the ac-

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

tivation energy for viscous flow of imidazolium ionic liquids 1-methyl-3-hexylimidazolium hexafluorophosphate [HMIM][PF₆] and 1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluorosulfonyl) imide [BMIM][Tf₂N]. For this purpose, there was a linear regression analysis of experimental data of the viscosity of each imidazolium ionic liquid according to the temperature at 0.1MPa. These experimental data were found in the work of Harris and collaborators (2007). The values of activation energy for viscous flow were equal to 46.6211kJ.mol⁻¹ for [HMIM][PF₆] and 29.1744kJ.mol⁻¹ for [BMIM][Tf₂N]. In both cases, the correlation coefficients were close to unity.

Keywords. Prediction. Activation energy for viscous flow. Ionic liquids.

INTRODUÇÃO

Os líquidos iônicos pertencem à classe dos sais orgânicos e são constituídos por cátions orgânicos relativamente grandes e ânions orgânicos ou inorgânicos menores. Esta assimetria na sua composição química reduz a energia reticular do sal, impedindo a formação de uma estrutura cristalina ordenada. Por este motivo, ocorre nos líquidos iônicos uma redução do ponto de fusão. Este ponto de fusão pode estar à temperatura ambiente ou próxima (VALENTE, 2008).

De forma geral, os líquidos iônicos apresentam uma energia livre de Gibbs de solvatação negativa (em consequência dos grandes cátions orgânicos e ânions pouco coordenantes e/ou bastante flexíveis), resultando em uma baixa energia reticular e grande entropia (implicando em baixo ponto de fusão). Ou seja, o estado líquido é termodinamicamente favorável para estes compostos, mesmo em baixas temperaturas (RODRIGUES, 2010).

A ausência de uma estrutura cristalina ordenada confere aos líquidos iônicos estar no estado líquido em grande intervalo de temperatura. Além disso, confere aos líquidos iônicos: elevada capacidade calorífica, volatilidade extremamente baixa, baixas inflamabilidade e toxicidade; estabilidade térmica e condutividade iônica elevadas, densidades superiores à da água, viscosidades comparadas a óleos, miscibilidade em substâncias polares e apolares (em decorrência da elevada capacidade de solvatação) e capacidade de absorver moléculas menores (CO₂, SO₂, CS₂, entre outras) (VALENTE, 2008; ANDO e SANTOS, 2011).

Devido à reduzida volatilidade (evitando a emissão de compostos orgânicos) e baixa toxicidade, os líquidos iônicos são ambientalmente aceitáveis e considerados “amigos” do ambiente (SILVA *et al.*, 2005; VALENTE, 2008). Lima (2011) classificou os líquidos iônicos como “meios alternativos ambientalmente seguros”, pois oferecem poucos riscos ao ambiente durante o processo, além de possibilitar a separação dos produtos e a recuperação do solvente com baixo consumo de energia.

Utilizam-se líquidos iônicos como solventes (em reações orgânicas, em catálise bifásica, na extração líquido-líquido e na análise espectroscópica de compostos metálicos) e como fase estacionária para cromatografia gasosa. Os líquidos iônicos também são utilizados como tensoativos, catalisadores ácidos nas reações orgânicas e cossolventes em reações enzimáticas. Em eletroquímica, os líquidos iônicos são eletrólitos para diversas tecnologias, por exemplo, em baterias secundárias, células fotoelétricas e de combustíveis, capacitores elétricos de dupla camada e outros dispositivos eletroquímicos (CONSORTI *et al.*, 2001; VALENTE, 2008).

Os líquidos iônicos, em comparação com os líquidos moleculares convencionais,

possuem estrutura mais organizada, apresentando regiões com características bastante distintas. São compostos com regiões polares e apolares, onde ocorrem interações intermoleculares dos tipos eletrostáticas, de hidrogênio e de van der Waals. Como exemplo, enquanto os líquidos moleculares convencionais possuem um arranjo estrutural somente a curta distância (primeiros vizinhos) e por um curto espaço de tempo; nos sólidos cristalinos a organização estrutural pode ser vista a longas distâncias e por grandes períodos de tempo. Neste sentido, os líquidos iônicos representam um meio termo, pois apresentam arranjo estrutural a médias distâncias e por tempos relativamente longos para um líquido (RODRIGUES, 2010).

Os líquidos iônicos imidazólicos apresentam-se como estruturas supramoleculares poliméricas, altamente organizadas, onde cada cátion imidazólio é circundado de ânions e cada ânion é circundado de cátions imidazólios, através das ligações de hidrogênio existentes entre os hidrogênios do ciclo imidazólico e os ânions (MIGLIORINI, 2009).

Com relação aos líquidos iônicos imidazólicos, existe um grande interesse na sua utilização, pois apresentam: estabilidade ao ar e umidade (não sofrem decomposição na presença de ar e água), baixa inflamabilidade, alta estabilidade térmica, pressão de vapor muito baixa, amplas janelas eletroquímicas, altas condutividades (elétrica e térmica), altas mobilidades iônicas e fácil recuperação e reutilização (DUPONT, 2004; MIGLIORINI, 2009).

Os líquidos iônicos imidazólicos [HMIM][PF₆] (C₁₀H₁₉N₂PF₆) e [BMIM][Tf₂N] (C₁₀H₁₅N₃O₄S₂F₆) apresentam-se como líquidos viscosos, de coloração que vai de incolor a levemente amarelada. São insolúveis em água e sem odor característico. O ponto de fusão para o [HMIM][PF₆] é de -73,5°C e para o [BMIM][Tf₂N] é de -5°C (ROGERS *et al.*, 2002).

A viscosidade é uma propriedade de transporte fundamental para o projeto de processos nas mais diferentes indústrias químicas e petroquímicas, em que envolvem o transporte de fluidos, agitação, mistura, filtração, concentração e transferência de calor, comentam Lin e colaboradores (2007).

A viscosidade de um fluido mede a resistência interna oferecida ao movimento relativo das diferentes partes desse fluido (resistência ao fluxo) (SHAMES, 1999).

Neste sentido, a determinação da viscosidade de líquidos tem como base na Teoria do Estado Ativado de Eyring (1941). Essa teoria considera que um líquido é constituído por moléculas intercaladas por posições desocupadas (vacâncias), e essas moléculas, mesmo com o líquido em repouso, movem-se com o propósito de ocuparem as vacâncias adjacentes a elas. A viscosidade está relacionada com a força que tende a se opor a esse movimento, sendo uma medida de fricção interna do fluido. Dessa maneira, quanto maior a barreira potencial que uma molécula terá que vencer a fim de “saltar” para a vacância adjacente, maior é a viscosidade. Essa barreira potencial é conhecida como energia de ativação viscosa (RIBEIRO *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2007).

A temperatura é um parâmetro relacionado com a energia interna de uma substância. Vários estudos têm demonstrado que a viscosidade de um líquido é altamente influenciada por mudanças na temperatura (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Shames (1999) comentou que a viscosidade é diretamente proporcional à força de atração entre as moléculas. Com o aumento da temperatura, essa força de atração diminui, diminuindo também a viscosidade. Dessa maneira, observa-se nos líquidos que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura.

A redução da viscosidade dos líquidos com o aumento da temperatura é atri-

buída ao aumento das distâncias intermoleculares provocadas durante o aquecimento. O aumento das distâncias intermoleculares reduz as forças atrativas entre as moléculas, diminuindo a viscosidade (GRANJEIRO *et al.*, 2007).

Giap (2010) comentou que o efeito da temperatura sobre a viscosidade é modelado por uma relação do tipo Arrhenius, conforme a Equação (1).

$$\eta = \eta_{\infty} \cdot e^{\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right)} \quad (1)$$

Em que E_a corresponde à energia de ativação viscosa; R , à constante universal dos gases ideais; T , à temperatura absoluta; η , à viscosidade e η_{∞} , à viscosidade quando a temperatura tende ao infinito.

A Equação (1) pode ser reescrita na forma da Equação (2). A Equação (2) indica a dependência da viscosidade de um fluido com a temperatura e a mesma pode ser utilizada com dados experimentais da viscosidade, na determinação da energia de ativação viscosa e do parâmetro η_{∞} . O conhecimento destes parâmetros permite verificar os efeitos da temperatura sobre a viscosidade, além de modelar matematicamente o comportamento reológico desse fluido (GRATÃO *et al.*, 2004).

$$\ln \eta = \ln \eta_{\infty} + \left(\frac{E_a}{R}\right) \cdot \frac{1}{T} \quad (2)$$

Um gráfico de $\ln \eta$ versus $\frac{1}{T}$, segundo Cancian (2008), fornece uma reta, em que o coeficiente angular é numericamente igual à razão $\left(\frac{E_a}{R}\right)$ e o coeficiente linear, à $\ln \eta_{\infty}$.

Com relação à energia de ativação viscosa (E_a), esta grandeza indica a sensibilidade da viscosidade devido à mudança de temperatura, de maneira que, quanto maior for a energia de ativação viscosa, maior será a influência da temperatura, ou seja, alta energia de ativação viscosa indica uma mudança mais rápida na viscosidade com a temperatura (PEREIRA *et al.*, 2003; SILVA, 2008).

O objetivo deste trabalho foi prever a energia de ativação viscosa de líquidos iônicos imidazólicos. Os líquidos iônicos imidazólicos considerados foram o hexafluorofosfato de 1-metil-3-hexilimidazólio ([HMIM][PF₆]) e bis(trifluorosulfonilo)imidato de 1-butil-3-metilimidazólio ([BMIM][Tf₂N]).

MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 indica os dados da viscosidade dos líquidos iônicos imidazólicos [HMIM][PF₆] e [BMIM][Tf₂N] (à pressão de 0,1MPa) em função da temperatura. Estes dados foram adaptados do trabalho de Harris e colaboradores (2007).

Tabela 1. Efeito da temperatura na viscosidade dos líquidos iônicos imidazólicos [HMIM][PF₆] e [BMIM][Tf₂N]

Temperatura (K)	Viscosidade do [HMIM][PF ₆] (Pa.s)	Viscosidade do [BMIM][Tf ₂ N] (Pa.s)
273,15	3,924	0,192
278,15	2,428	0,140
283,15	1,566	0,106
288,15	1,036	0,082
293,15	0,705	0,064
298,15	0,497	0,051
303,15	0,357	0,042
313,15	0,197	0,029
323,15	0,118	0,021
333,15	0,075	0,016
343,15	0,050	0,012
348,15	0,041	0,011
353,15	0,035	0,010

Fonte: Adaptado de Harris *et al.* (2007).

Os valores da viscosidade em função da temperatura foram determinados em um viscosímetro de esfera. Este equipamento é constituído de um tubo (preenchido do fluido que se deseja medir a viscosidade) e uma esfera. Nesse tubo deixa-se cair a esfera, medindo o tempo para ela percorrer uma distância conhecida dentro do tubo. Com os valores do tempo de queda da esfera, associados às densidades (do fluido e do material constituinte da esfera), é possível determinar a viscosidade. A incerteza global é estimada em $\pm 2\%$ (HARRIS *et al.*, 2007).

Para a análise de regressão linear foram consideradas as equações de (3) a (12). Estas equações são adaptações do trabalho de Triola (2008).

A equação (3) e a equação (8) determinam, respectivamente, razão $\frac{E_a}{R}$ e $h \eta_\infty$.

$$\frac{E_a}{R} = \frac{(n \cdot c) - d}{(n \cdot f) - g} \quad (3)$$

Em que:

$$c = \sum \left(\frac{1}{T} \cdot h \eta \right) \quad (4)$$

$$d = \left(\sum \frac{1}{T} \right) \cdot \sum h \eta \quad (5)$$

$$f = \sum \left(\frac{1}{T} \right)^2 \quad (6)$$

$$g = \left(\sum \frac{1}{T} \right)^2 \quad (7)$$

$$h \eta_\infty = \frac{(n \cdot f \cdot h) - (d \cdot i)}{(n \cdot f) - g} \quad (8)$$

Em que:

$$h = \sum h \eta \quad (9)$$

$$i = \sum \frac{1}{T} \quad (10)$$

A equação (11), também adaptada de Triola (2008), fornece o coeficiente de correlação (r^2) para a análise de regressão linear dos dados de $\ln \eta$ versus $\frac{1}{T}$.

$$r^2 = \frac{(n \cdot c) - d}{\sqrt{[(n \cdot f) - g] \cdot [(n \cdot j) - h^2]}} \quad (11)$$

Em que:

$$j = \sum (\ln \eta)^2 \quad (12)$$

Sendo n correspondente ao número de dados amostrais emparelhados.

De acordo com a Tabela 1, n corresponde a 13.

A multiplicação da razão $\frac{E_a}{R}$ por R fornece como resultado a energia de ativação viscosa (E_a). Para este cálculo, foi considerado que a constante dos gases ideais (R) é igual a $8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

RESULTADOS

A Figura 2 ilustra o gráfico de $\ln \eta$ versus $\frac{1}{T}$ para os líquidos iônicos imidazólicos [HMIM][PF₆] e [BMIM][Tf₂N].

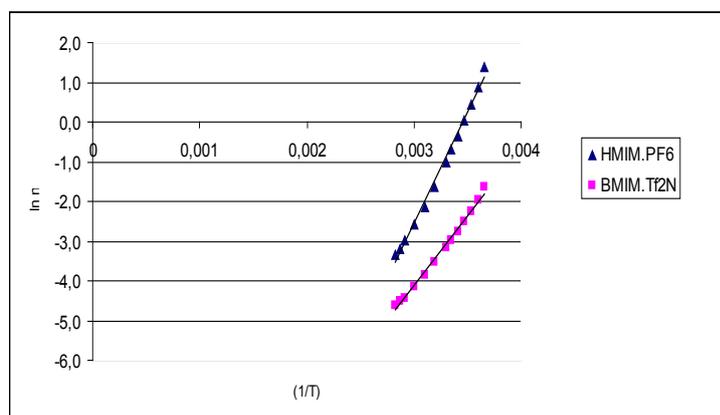


Figura 1. Gráfico de $\ln \eta$ versus $\frac{1}{T}$ para os líquidos iônicos imidazólicos estudados

A Tabela 2 indica os resultados obtidos através das equações (3), (8) e (11). En-

quanto que a Tabela 3 fornece os valores obtidos para η_∞ (em Pa.s) e E_a (em $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Tabela 2. Resultados da análise de regressão linear

Substância	$\ln \eta_\infty$ (Pa.s)	$\frac{E_a}{R}$ (K)	r^2
[HMIM][PF ₆]	-19,3835	5607,5384	0,9971
[BMIM][Tf ₂ N]	-14,6528	3509,0692	0,9966

Tabela 3. Valores obtidos para η_{∞} e E_a

Substância	η_{∞} (Pa.s)	E_a (kJ.mol ⁻¹)
[HMIM][PF ₆]	3,8182 x 10 ⁻⁹	46,6211
[BMIM][Tf ₂ N]	4,3288 x 10 ⁻⁷	29,1744

DISCUSSÃO

Foi realizada uma pesquisa na literatura e constatou-se a ausência de valores experimentais para a energia de ativação viscosa dos líquidos iônicos imidazólicos

[HMIM][PF₆] e [BMIM][Tf₂N]. Dessa maneira, dificulta a comparação dos resultados obtidos neste trabalho.

A Tabela 4 relaciona os valores para a energia de ativação viscosa de alguns materiais líquidos, encontrados na literatura.

Tabela 4. Energia de ativação viscosa de alguns materiais líquidos

Materiais	E_a (kJ.mol ⁻¹)	Faixa de temperatura (°C)	Referência
Solução aquosa de 40% (em massa) de sacarose	22,7144	10 a 85	Canciam (2008)
Solução aquosa de 60% (em massa) de sacarose	34,8019	10 a 85	Canciam (2008)
Óleo bruto de mamona cultivar BRS-149 Nordestina	51,1468	-15 a 80	Canciam (2011)

Comparando as Tabelas 3 e 4, pode-se observar que a energia de ativação viscosa para [BMIM][Tf₂N] encontra-se situada entre as energias de ativação viscosa para a solução aquosa de 40% (em massa) de sacarose e a solução aquosa de 60% (em massa) de sacarose. Já para [HMIM][PF₆], a energia de ativação viscosa encontra-se entre as energias de ativação viscosa para a solução aquosa de 60% (em massa) de sacarose e o óleo bruto de mamona cultivar BRS-149 Nordestina.

Segundo Ribeiro *et al.* (2005), pela Teoria do Estado Ativado de Eyring, quanto maior for a viscosidade, maior será a barreira potencial (energia de ativação viscosa) que uma molécula terá que vencer a fim de “saltar” para uma vacância adjacente.

Por sua vez, maiores valores da energia de ativação viscosa implicam que a viscosidade é relativamente mais sensível à mudança de temperatura (PEREIRA *et al.*, 2003).

Dessa forma, os resultados sugerem que a energia de ativação viscosa para o líquido iônico imidazólico [HMIM][PF₆] é considerada “alta” em relação à energia de ativação viscosa para o líquido iônico imidazólico [BMIM][Tf₂N], implicando que a viscosidade é relativamente mais sensível à mudança de temperatura, ou seja, pequenas variações de temperatura são necessárias para modificar rapidamente a viscosidade do líquido iônico imidazólico [HMIM][PF₆] em comparação com o líquido iônico imidazólico [BMIM][Tf₂N].

Considerando a temperatura, a própria equação do tipo Arrhenius (equação 1) indica a dependência da viscosidade, de maneira que o aumento da temperatura provoca uma diminuição da viscosidade. Com o aumento da temperatura, esta redução de viscosidade é atribuída, segundo Granjeiro *et al.* (2007), ao aumento das distâncias intermoleculares provocadas pelo aquecimento. O aumento das distâncias reduz as forças atrativas intermoleculares, diminuindo a viscosidade.

De acordo com Triola (2008), o coeficiente de correlação (r^2) mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados das variáveis dependente e independente em uma amostra, avaliando assim, a “qualidade” do ajuste. O mesmo autor comenta que o coeficiente de correlação quanto mais próximo for da unidade, melhor é a “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão.

Callegari-Jaques (2003), citado por Lira (2004), comenta que para valores do coeficiente de correlação maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0, a correlação linear é classificada como muito forte.

Dessa maneira, para os líquidos iônicos imidazólicos estudados, a correlação linear é classificada como muito forte.

CONCLUSÃO

A modelagem de dados experimentais da viscosidade em função da temperatura permitiu prever os valores para a energia de ativação viscosa dos líquidos iônicos imidazólicos [HMIM][PF₆] (hexafluorofosfato de 1-metil-3-hexilimidazólio) e [BMIM][Tf₂N] (bis(trifluorosulfonilo)imidato de 1-butil-3-metilimidazólio).

O valor encontrado para a energia de ativação viscosa do [HMIM][PF₆] foi de 46,6211 kJ.mol⁻¹, enquanto que para o

[BMIM][Tf₂N], o valor foi de 29,1744 kJ.mol⁻¹. Esses resultados sugerem que o [HMIM][PF₆] apresenta uma maior sensibilidade da viscosidade quanto ao aumento de temperatura, quando comparado ao [BMIM][Tf₂N].

A ausência na literatura de valores experimentais para a energia de ativação viscosa dos líquidos iônicos imidazólicos estudados dificultou a comparação com os valores preditos.

Comparando com outros trabalhos, pode-se observar que a energia de ativação viscosa para [BMIM][Tf₂N] encontra-se situada entre as energias de ativação viscosa para a solução aquosa de 40% (em massa) de sacarose e a solução aquosa de 60% (em massa) de sacarose. Já para [HMIM][PF₆], a energia de ativação viscosa encontra-se entre as energias de ativação viscosa para a solução aquosa de 60% (em massa) de sacarose e o óleo bruto de mamona cultivar BRS-149 Nordestina.

Nas análises de regressão linear dos líquidos iônicos imidazólicos estudados, os valores do coeficiente de correlação encontraram-se próximos da unidade, caracterizando como correlações lineares muito fortes.

REFERÊNCIAS

- ANDO, R.A. & SANTOS, P.S. Interação de SO₂ e CS₂ com líquidos iônicos imidazólicos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 34, 2011, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SBQ, 2011.
- CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica e da energia de ativação do óleo bruto de mamona através da aplicação da análise de regressão linear. *Rev. E-xacta*, 4(3): 7-18, 2011.
- CANCIAM, C.A. Efeito da temperatura na viscosidade de soluções de sacarose. In: SANTOS JÚNIOR, G.; ALMEIDA, D.M.; MICHALOSKI, A.O. (ed.). *Série em Ciência*

- e *Tecnologia de Alimentos: agroindústria, energia e meio ambiente*. Ponta Grossa: UTFPR, 2008.
- CONSORTI, C.S.; SOUZA, R.F.; DUPONT, J. Líquidos iônicos contendo o cátion dialquilimidazólio: estrutura, propriedades físico-químicas e comportamento em solução. *Rev. Quím. Nova*, 24(6): 830-837, 2001.
- DUPONT, J. On the solid, liquid and solution structural organization of imidazolium ionic liquids. *J. Braz. Chem. Soc.*, 15(3): 341-350, 2004.
- GIAP, S.G.E. The hidden property of Arrhenius-type relationship: viscosity as a function of temperature. *J. Phys. Sc.*, 21(1): 29-39, 2010.
- GRANJEIRO, A.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; MATA, M.E.R.M.C. Viscosidades de polpas concentradas de figoda-Índia. *Rev. Bras. de Agrociência*, 13(2): 219-224, 2007.
- GRATÃO, A.C.A.; BERTO, M.I.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. *Rev. Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 24(4): 652-656, 2004.
- HARRIS, K.R.; KANAKUBO, M.; WOOLF, L. A. Temperature and pressure dependence of the viscosity of the ionic liquids 1-hexyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate and 1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide. *J. Chem. Eng. Data*, 52(3): 1080-1085, 2007.
- LIMA, P.G. Micro-ondas na síntese de líquidos iônicos. *Rev. Virtual Quim.*, 3(4): 325-338, 2011.
- LIN, C.F.; HSIEH, H.M.; LEE, L.S. Estimations of the viscosities of binary mixtures with different equations of state and mixing rules. *J. Chin. Inst. Chem. Eng.*, 38(1): 1-19, 2007
- LIRA, S.A. *Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação*. Curitiba: UFPR, 2004. 196p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, 2004.
- MIGLIORINI, M.V. Líquidos iônicos para a preparação de híbridos de sílica e suas aplicações na formação de compósitos poliméricos. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 90p. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- OLIVEIRA, R.C.; BARROS, S.T.D.; ROSSI, R.M. Aplicação da metodologia Bayesiana para o estudo reológico da polpa de uva. *Rev. Bras. de Produtos Agroindustriais*, 11(1): 73-80, 2009.
- PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Comportamento reológico de mel da abelha uruçú (*Melipona scutellaris*, L.). *Rev. Cien. Ex. Nat.*, 5(2): 179-186, 2003.
- RIBEIRO, L.D.; CRUZ, S.R.A. da; REIS, R.A. Cálculo de viscosidade de misturas não eletrolíticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6, 2005, Campinas. Anais... Campinas: Unicamp, 2005.
- RODRIGUES, F. Espectroscopia Raman de líquidos iônicos imidazólicos: interações inter-iônicas, organização estrutural e efeitos de micro-ambiente. São Paulo: USP, 2010. 173p. Tese (Doutorado em Química), Universidade de São Paulo, 2010.
- ROGERS, R.D.; SEDDON, K.R.; VOLKOV, S. *Green Industrial Applications of Ionic Liquids*. Dordrecht: Editora Kluwer Academic Publishers, 2002.
- SHAMES, I.H. *Mecânica dos Fluidos – volume 1*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999.
- SILVA, A.A.; PAREDES, M.L.L.; REIS, R.A. Modelagem de viscosidade de misturas não eletrolíticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7, 2007, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCAR, 2007.
- SILVA, F.M., LACERDA, P.S.B.; JONES JUNIOR, J. Desenvolvimento sustentável e Química Verde. *Rev. Quím. Nova*, 28(1): 103-110, 2005.

SILVA, S.A. Estudo do comportamento reológico dos adesivos *hot melt* PSA e a sua relação com a composição e as propriedades adesivas. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

TRIOLA, M.F. *Introdução à Estatística*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.

VALENTE, M.V. Polimerização de PMMA em microemulsão com LIs tensioativos. Aveiro: UA. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade de Aveiro, 2008.