

EFEITO DO ETANOL NO AUMENTO DA SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS AROMÁTICOS PRESENTES NA GASOLINA BRASILEIRA¹

Henry Xavier Corseuil

PhD em Engenharia Ambiental pela Universidade de Michigan. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Marilda Fernandes

Química, Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Doutoranda em Química - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

RESUMO: Este estudo avalia o efeito potencial do etanol no aumento da solubilidade dos compostos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) em derramamentos de gasolina. A análise de diversas proporções de misturas de água-gasolina em equilíbrio, correspondentes a diferentes frações de etanol em fase aquosa, indica que o etanol aumenta a solubilidade dos hidrocarbonetos de petróleo na água. Foi constatado que frações de etanol na fase aquosa na faixa de 10% aumentam em 30% a massa dos compostos BTEX, sendo que o efeito foi maior para o xileno (composto mais hidrofóbico), seguido do tolueno e benzeno.

ABSTRACT: This study evaluates the potential effect of ethanol on solubility enhancement of monoaromatic compounds such as benzene, toluene and xylenes (BTX) in ethanol-amended gasoline spills. The analysis of several ratios of water-gasoline mixtures in equilibrium, corresponding to different ethanol fractions in the aqueous phase, indicates that ethanol enhances aqueous solubility of petroleum hydrocarbons. It was verified that, for ethanol fractions in the aqueous phase of 10%, BTX mass increases to 30%. This effect was greater for xylene (the more hydrophobic BTX compound), followed by toluene and benzene.

PALAVRAS-CHAVE:

Água-subterrânea, Gasolina, Efeito Co-solvência, Etanol, BTX, Biorremediação.

¹ . **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.4, n.1 e 2, p.71-75, 1999.

1. INTRODUÇÃO

A contaminação de aquíferos causada por derramamentos de gasolina em tanques de armazenamento de combustível tem sido uma preocupação constante à nível mundial e começa a ser discutida com mais intensidade também no Brasil (CORSEUIL ET AL., 1996; CORSEUIL E MARINS, 1997). Os maiores problemas de contaminação são atribuídos aos hidrocarbonetos monoaromáticos denominados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) que são os constituintes da gasolina mais solúveis e com maior potencial de migração na água subterrânea (BARKER ET AL., 1990). Estes contaminantes são considerados substâncias perigosas por serem depressantes do sistema nervoso central. Dentre os BTEXs, o benzeno é considerado o mais tóxico e o mais solúvel em água.

A gasolina comercializada na maioria dos estados brasileiros é uma mistura de 76% de gasolina e 24% de etanol (Decreto Lei nº 2607). Vários estudos já foram feitos para avaliar os impactos desta mistura no caso de poluição atmosférica (BRASIL, 1979; GROSJEAN ET AL., 1998). No entanto, apesar da grande quantidade de trabalhos que foram realizados no mundo todo nos últimos 15 anos sobre remediação de locais contaminados por hidrocarbonetos de petróleo, pouco se pesquisou sobre os efeitos que a mistura do etanol na gasolina pode causar em aquíferos. Um destes efeitos está ligado ao possível aumento da solubilidade dos BTEXs em águas que contém altas concentrações de etanol.

A solubilidade efetiva em água de um composto orgânico particular presente na gasolina ou em uma mistura de líquidos de fase não aquosa (NAPL) pode ser estimada conhecendo-se a solubilidade do composto puro e sua fração na gasolina. Esta solubilidade poderá aumentar se a esta gasolina forem misturados compostos oxigenados tais como álcoois e éteres. Quando ocorre um derramamento dos tanques de armazenamento e a gasolina entra em contato com a água, o álcool existente neste combustível, sendo completamente miscível em água, formará uma pluma de contaminação na água subterrânea. Uma alta concentração de etanol na água pode, então, facilitar a transferência dos BTEXs presentes na gasolina para a fase aquosa, aumentando a solubilidade dos hidrocarbonetos monoaromáticos na água subterrânea, processo este denominado efeito co-solvência (FERNANDES e CORSEUIL, 1996).

A principal consequência do efeito co-solvência é a possibilidade do aumento da magnitude da contaminação pelo aumento da concentração de contaminantes na água, caso a gasolina comercial brasileira entre em contato direto com a água subterrânea. O aumento da massa de

contaminantes na fase aquosa poderia onerar sensivelmente os custos de remediação dos locais contaminados. O objetivo deste estudo é avaliar o efeito co-solvência para o caso de misturas de etanol e compostos BTX em derramamentos de gasolina que atinjam o lençol freático e propor um modelo matemático simples para prever o possível aumento da solubilização dos contaminantes na presença do etanol em águas subterrâneas.

2. SOLUBILIDADE E CO-SOLVÊNCIA

A solubilidade é um dos principais parâmetros que afetam a distribuição e transporte de compostos químicos no ambiente. A solubilidade dos hidrocarbonetos monoaromáticos puros em água é de 1.791 mg/L, 535 mg/L e 175 mg/L para o benzeno, tolueno e *o*-xileno, respectivamente (HOWARD, 1990). De acordo com a Lei de Raoult (SIENKO e PLANE., 1961), a partir da solubilidade aquosa do componente puro e da fração deste componente na gasolina pode-se calcular a concentração dos constituintes na fase aquosa. Admitindo-se que a gasolina se comporta como uma mistura orgânica ideal, a lei de Raoult é expressa por:

$$C_w^i = s^i x_g^i \quad (1)$$

onde C_w^i é a concentração em equilíbrio do componente i na fase aquosa, s^i é a solubilidade do componente puro i na água e x_g^i é a fração molar do componente i na gasolina. Para exemplificar, considerando a solubilidade do benzeno de 1.791 mg/L e a fração molar de benzeno na gasolina pura de 1%, a concentração de benzeno em água em equilíbrio com a gasolina deverá ser de aproximadamente 18 mg/L. Este valor é 1.800 vezes superior ao padrão de potabilidade para o benzeno que é de 10 µg/L (FERNANDES, 1997).

Em função da presença de compostos oxigenados na gasolina, como o etanol e o MTBE, a solubilidade dos hidrocarbonetos de petróleo pode aumentar sensivelmente. O aumento da solubilidade dos BTX e outros contaminantes orgânicos hidrofóbicos (COH) em misturas complexas de água e solventes orgânicos completamente miscíveis (SOCM) (denominados co-solventes) tem sido avaliado por muitos autores (YALKOWSKY e ROSEMAN, 1981; RUBINO e YALKOWSKY, 1987; BANERJEE e YALKOWSKY, 1988; PINAL ET AL., 1990). Estes estudos concluíram que a solubilidade aquosa dos COH aumenta log-linearmente com o aumento da fração de volume dos SOCM em uma mistura de solventes binários para frações. Essa relação é expressa matematicamente como (YALKOWSKY e ROSEMAN, 1981):

$$\log S_m = \log S_w + \beta f_c \quad (2)$$

onde S_m é a solubilidade do COH na mistura de solventes binários, S_w é a solubilidade do COH em água (obtido através da Equação 1), β representa o fator de co-solvência (aumento relativo da solubilidade dos compostos orgânicos hidrofóbicos com o aumento da fração de co-solvente e f_c é a fração de volume do co-solvente na mistura de solventes binários.

Conhecendo-se os valores de β para os compostos BTX pode-se, através da equação abaixo, determinar este coeficiente para outros constituintes da gasolina (RAO, 1989):

$$\beta = a \log (K_{ow}) + b \quad (3)$$

onde K_{ow} é o coeficiente de partição água octanol do COH, e os coeficientes a e b são parâmetros de regressão aplicados a um grupo de contaminantes orgânicos hidrofóbicos. Desta forma, o modelo de co-solvência (Equação 2) pode ser então utilizado para se determinar o efeito do etanol no aumento da solubilidade de outros compostos presentes na gasolina.

3. METODOLOGIA

Uma série de experimentos com reatores em batelada foram realizados para avaliar o efeito da solubilização dos compostos BTX em presença de etanol. Os reatores consistiam de frascos de vidro de 60 mL com tampa de teflon e lacres de alumínio. Nestes experimentos, utilizou-se inicialmente benzeno, tolueno, *o*-xileno e etanol puros para se obter a fator de co-solvência (β) destes compostos em um sistema etanol-água destilada para aplicação do modelo linear (Equação 2). Posteriormente foram feitos testes de co-solvência com gasolina pura sem etanol (GP) e com gasolina comercial brasileira (GCB) com 22% de etanol para avaliação do efeito co-solvência e para validação do modelo linear de co-solvência. Os experimentos com BTXs puros foram preparados em triplicatas na proporção de 10:1 de água-BTX (experimentos realizados na presença de um único hidrocarboneto de cada vez) com 1,0; 2,2; 4,0; 10,0; 16,0 e 22,0% de etanol. Os experimentos feitos com gasolina pura e com a gasolina comercial brasileira foram preparados nas proporções de 1:1; 1:2; 1:5, 1:10 e 1:20 de gasolina-água destilada. No caso da gasolina comercial brasileira estas proporções representavam frações de etanol de 15,8%, 8,47%, 3,62%, 1,81% e 0,93%, respectivamente. Após o preparo, os frascos foram fechados com tampa de teflon e lacrados sob pressão com lacres de alumínio.

As amostras contendo as misturas de hidrocarbonetos e água foram colocadas em um banho dubnoff a 25°C, com agitação até o completo equilíbrio entre as fases. O equilíbrio foi atingido em 72, 48 e 120 horas respectivamente para o benzeno, tolueno e *o*-xileno. Após este período, os

frascos eram colocados invertidos em uma centrífuga por 15 minutos a 3000 rpm para separar o excesso existente nas duas fases. Com o auxílio de uma seringa Hamilton com vedação de gás de 5 mL, parte da fase aquosa era retirada dos reatores e colocada em um frasco de vidro de 10 mL, de onde se retirava 2 μ L de amostra para análise dos hidrocarbonetos monoaromáticos.

As análises cromatográficas foram realizadas em cromatógrafo a gás Varian Modelo 2440, usando-se uma coluna de vidro preenchida com 5% OV-17, Chromosorb W-AW-DWCS 80/100 mesh em temperatura constante de 50° C. As análises com as frações dos compostos BTX presentes nas amostras de gasolina pura sem etanol e da gasolina comercial brasileira foram fornecidas pelo Cenpes, Petrobrás (Tabela 1).

Tabela 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos iniciais realizados com os hidrocarbonetos monoaromáticos puros foram utilizados para a determinação do coeficiente β e para aplicação do modelo linear (Equação 2). Os resultados do logaritmo da solubilidade dos compostos BTEX puros em função do percentual de volume de etanol na fase aquosa estão apresentados na Figura 1. Os valores experimentais obtidos para as solubilidades do benzeno, tolueno e *o*-xileno puros em água sem a presença de etanol foram de 1757, 567 e 202 mg/L, respectivamente. Estes valores estão próximos aos apresentados por Howard, 1990. Com o aumento da fração de etanol na fase aquosa pode-se observar o aumento da solubilidade dos BTEXs. Na presença de 10% de etanol, as solubilidades dos BTEXs excederam a solubilidade em água pura (no sistema sem etanol) em 20, 40 e 50% para o benzeno, tolueno e *o*-xileno, respectivamente.

Figura 1.

Conhecendo-se o fator de co-solvência (β) e a fração de etanol presente na fase aquosa pode-se prever, através do modelo linear, o aumento da solubilidade dos BTEX em águas contendo etanol. De acordo com a Equação 3, obtêm-se os valores de β para benzeno, tolueno e *o*-xileno pela inclinação das curvas da figura 1, que apresenta as solubilidades dos solutos (BTX) em função das frações de etanol na mistura. Os valores obtidos para o benzeno (0,65), tolueno (1,27) e *o*-xileno (1,66) indicam que o fator de co-solvência aumenta de acordo com a maior hidrofobicidade dos BTX. Assim, quanto mais hidrofóbico o contaminante, ou seja, quanto menor for a solubilidade

dos constituintes da gasolina em água, maior será o efeito do etanol no aumento na solubilização destes compostos.

Os experimentos com a gasolina comercial brasileira (com etanol) e com a gasolina pura (sem etanol) foram utilizados para se avaliar em que fração de etanol o efeito co-solvência é significativo e também para se validar o modelo log-linear de co-solvência para a gasolina brasileira. Os resultados dos experimentos com gasolina pura em cinco proporções de água-gasolina, variando de 1:1 até 1:20, mostram que as solubilidades dos compostos BTEX praticamente não variaram. Resultados semelhantes são apresentados por Poulsen et al., 1992. A concentração média de benzeno, tolueno e xilenos totais em equilíbrio nos sistemas água/GP foi de 10,5 mg/L, 28,4 mg/L e 11,7 mg/L, respectivamente (Tabela 2). No caso do benzeno, mesmo sem a presença de etanol, a concentração em equilíbrio já é 1.000 vezes maior do que o padrão de potabilidade no Brasil.

Tabela 2

Os resultados dos experimentos com a gasolina comercial brasileira que avaliam o aumento da solubilização dos compostos BTX em presença de etanol mostram um aumento da concentração aquosa destes contaminantes com o aumento da fração de co-solvente (Tabela 3). Comparando-se os resultados entre a menor e a maior proporção de mistura água/gasolina, onde a fração de etanol na fase aquosa passou de 0,93% para 15,8% observa-se que a solubilização de benzeno, tolueno, e xileno total aumentou em 67%, 89% e 90%, respectivamente. Estes valores são bastante preocupantes tendo em vista a alta miscibilidade do etanol na água e a possibilidade de que frações de etanol superiores à proporção máxima de mistura estudada possam ocorrer nos locais próximos da contaminação, uma vez que os postos de combustíveis armazenam também nos tanques subterrâneos o álcool hidratado .

Tabela 3

Os dados apresentados na Tabela 3 foram utilizados para calibrar o modelo log-linear de co-solvência. As simulações para os compostos BTX mostram que o modelo apresentado pode ser empregado para se prever o aumento da solubilização dos hidrocarbonetos monoaromáticos pela presença do etanol na fase aquosa (Figura 2). Uma análise de erros para avaliação do modelo, apresentada em detalhes em Fernandes (1997), indica que o modelo linear prevê em 90% o efeito do aumento da solubilização dos BTX pelo aumento da fração de etanol, representado pela inclinação das retas na Figura 2. No entanto, a exatidão do modelo, onde 100% indica uma estimativa perfeita, variou entre 105% e 150%. Este erro maior está associado ao conhecimento exato das frações

molares de benzeno, tolueno e xilenos presentes na gasolina que irão indicar as solubilidades dos hidrocarbonetos em água pura de acordo com a Lei de Raoult (Equação 1). Para frações de etanol na água subterrânea de 1% e 10%, o modelo prevê que a massa total de BTX na fase aquosa aumentaria em 3% e 33%, respectivamente.

Figura 2.

Por causa do efeito de co-solvência, compostos altamente hidrofóbicos (e perigosos) como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (naftaleno, antraceno, fenantreno, etc) poderão estar presentes em águas subterrâneas contaminadas com misturas de hidrocarbonetos de petróleo e etanol. Através da Equação 3 é possível determinar os valores de β para outros constituintes da gasolina. Os coeficientes da equação são obtidos pela linearização da reta a partir dos valores do fator de co-solvência (β) e do log do coeficiente de partição água-octanol (K_{ow}) do benzeno (2,13), tolueno (2,73) e *o*-xileno (3,12) (HOWARD, 1990). Deste modo, os valores do fator de co-solvência para outros constituintes da gasolina brasileira podem ser calculados através da seguinte equação:

$$\beta = 1,02 \log (K_{ow}) - 1,52 \quad (4)$$

Baseado nas Equações 2 e 4, e considerando-se uma fração de etanol de 10% presente na água subterrânea, estima-se que o aumento da solubilização do naftaleno ($\log K_{ow} = 3,36$) seria de 55%. Desta forma, o possível aumento da concentração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos na água subterrânea pode ser uma dificuldade a mais a ser enfrentada na remediação dos locais contaminados por derramamentos de gasolina.

5. CONCLUSÕES

Os resultados dos experimentos indicam que contaminações do lençol freático causadas pelo contato da gasolina comercial brasileira com a água subterrânea poderão ser de maior magnitude do que as causadas por gasolinas convencionais de outros países. Isto pode ocorrer em função da habilidade do etanol em aumentar a solubilização dos hidrocarbonetos de petróleo na água. Os experimentos realizados em laboratório mostram que o aumento da massa total de BTX é de aproximadamente 30%, para uma fração de etanol na fase aquosa de 10%. Este efeito é maior para os xilenos que são os compostos menos solúveis dentre os BTX. Como o efeito co-solvência é mais significativo para os constituintes da gasolina mais hidrofóbicos, é provável também que altas concentrações de etanol na água do aquífero facilitem uma maior solubilização de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, que são altamente nocivos a saúde humana.

As simulações realizadas com o modelo log-linear para avaliar o aumento da solubilização dos hidrocarbonetos de petróleo em presença de etanol mostram que este modelo é adequado para prever o efeito co-solvência. A simplicidade da equação log-linear na representação do efeito co-solvência permite que este fenômeno seja facilmente incorporado nos modelos de transporte de contaminantes em águas subterrâneas empregados em avaliações de riscos.

Este estudo indica que o etanol pode ser uma ameaça às águas subterrâneas por causa de sua habilidade em aumentar a concentração inicial dos contaminantes a partir de um derramamento de tanques de armazenamento de combustível para o lençol freático. Plumas de compostos BTX poderão ter maiores concentrações em derramamentos de gasolina misturada com etanol do que em derramamentos de gasolina pura. A possível presença de uma massa maior de hidrocarbonetos de petróleo associada a uma grande massa de etanol pode dificultar e onerar ainda mais a remediação de aquíferos contaminados por gasolina e etanol. Deve-se ressaltar a inexistência de dados de campo que indiquem quais seriam as concentrações de etanol e de BTX normalmente observadas em situações reais no país. Somente com o conhecimento destas informações poderemos saber a significância do etanol no aumento da solubilização dos hidrocarbonetos de petróleo nas águas subterrâneas.

Duas questões importantes que podem ainda ser levantadas sobre o efeito co-solvência estão ligadas ao MTBE e a possibilidade da adição do álcool ao diesel. O MTBE é utilizado no Estado do Rio Grande do Sul como aditivo à gasolina em substituição ao etanol. Para uma mistura de 15% de MTBE na gasolina (fração usada no RS), a solubilidade máxima deste composto em água é de apenas 0,5%. Em função desta pequena fração na fase aquosa, o MTBE não causa aumento da solubilidade dos hidrocarbonetos de petróleo. No entanto, concentrações de MTBE inferiores a 100 µg/L causam gosto e odor na água. Por causa destes efeitos e pela resistência à degradação biológica, o MTBE tem se tornado uma das maiores preocupações em contaminações de gasolina misturadas com este aditivo nos Estados Unidos, e muitos estados americanos estão proibindo a sua utilização. No caso da mistura do álcool ao diesel, este estudo mostrou que o efeito co-solvência é maior para os compostos mais hidrofóbicos. Desta forma, pode-se supor que em caso de derramamentos de combustíveis contendo estas misturas, concentrações maiores de compostos policíclicos aromáticos (presentes em maior quantidade no diesel do que na gasolina) poderão contaminar as águas subterrâneas.

O Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, em parceria com o Cenpes/Petrobrás, está desenvolvendo estudos de campo para avaliar em condições mais próximas da realidade os reais impactos que a mistura do álcool à nossa gasolina pode causar em

contaminações de aquíferos. Estes estudos servirão de base para o desenvolvimento de tecnologias de avaliação e remediação de locais contaminados por derivados de petróleo adequadas à nossa realidade.

Agradecimentos: Agradecemos o apoio recebido do Cenpes/Petrobrás, através do Programa de Meio Ambiente, ao SEREC - Serviço de Recursos Humanos da PETROBRÁS, pela concessão de bolsa de doutorado ao segundo autor, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANERJEE, S., YALKOWSKY, S.H. Cosolvent-Induced Solubilization of Hydrophobic Compounds into Water. *Analytical Chemistry*, v. 60, p. 2153-2155, 1988.

BARKER, J.F., HUBBARD, C.E., LEMON, L.A. The Influence of Methanol and MTBE on the Fate and Persistence of Monoaromatic Hydrocarbons in Groundwater. *Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration*. Houston, TX, October 31 November 2, p.13, 1990.

BRASIL. Presidência da República - Secretaria de Planejamento. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. *Avaliação Tecnológica do Álcool Etílico*. Brasília. 1979.

CORSEUIL, H.X., ALVAREZ, P.J.J. Implications of the Presence of Ethanol on Intrinsic Bioremediation of BTX Plumes in Brasil: *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, v.13, n.2, p. 213-221, 1996.

FERNANDES, M., CORSEUIL, H.X. Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamento de Gasolina: Efeito Cossolvência,” 3º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SIBESA), Gramado, junho/96.

FERNANDES, M. Influência do Etanol na Solubilidade de Hidrocarbonetos Monoaromáticos em Aquíferos Contaminados com Gasolina. Florianópolis, 1997. Pp 115. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina).

GROSJEAN, E., GUNAWARDENA, R., RASMUSSEN, R.A. Ambient Concentrations of Ethanol and Methyl tert-Butyl Ether in Poto Alegre, Brazil, March 1996 - April 1997. *Environmental Science and Technology*, v. 32, n. 6, 1998.

HOWARD, P.H. *Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*. Vol. I and II, Lewis Publishers, Inc, Chelsea, MI, 1990.

PINAL, R., RAO, P.S.C., LEE, L.S., CLINE, P.V., YALKOWSKY, S.H. Cosolvency of Partially Miscible Organic Solvents on the Solubility of Hydrophobic Organic Chemicals. *Environmental Science and Technology*, v. 24, p. 639-647, 1990.

POULSEN, M., LEMON, L., BARKER, J.F. Dissolution of Monoaromatic Hydrocarbons into Groundwater from Gasoline - Oxigente Mixtures. *Environmental Science and Technology*, v. 26, p. 2483-2489, 1992.

RAO, P.S.C. Sorption Processes. Presentation at International Symposium on Processes Governing the Movement and Fate of Contaminants in Subsurface Environments. International Association on Water Pollution Research and Control, Stanford, CA. July 23-26, 1989.

RUBINO, J.T., YALKOWSKY, S.H. Cosolvency and Deviations from Log-linear Solubilization. *Pharm. Res.*, v. 4, p. 231-236, 1987.

SIENKO, M., PLANE, R. *Chemistry*, Second Edition, International Student Edition. 1961.

YALKOWSKY, S.H., ROSEMAN, T. Solubilization of Drugs by Cosolvents. *Techniques of Solubilization of Drugs*. Yalkowsky, S.H., Ed. Marcel Dekker, Inc: New York, p. 91-134, 1981.

Endereço para Correspondência:

Henry Xavier Corseuil

Universidade Federal de Santa Catarina.

CEP: 88010 970 - Florianópolis - SC

Fone: 048 331-7569 Fax: 048 331-9823

E-mail:corseuil@ens.ufsc.br

Tabela 1. Composições Moleculares da Gasolina Pura (sem etanol) e da Gasolina Comercial Brasileira (com etanol).

Solutos	P.M. (g/moles)	Gasolina Pura			Gasolina Comercial Brasileira		
		% vol.	% massa	Fração Molar	% vol.	% massa	Fração Molar
Benzeno	78,11	0,52	0,608	0,0078	0,42	0,494	0,0063
Tolueno	92,13	3,38	3,869	0,0420	2,72	3,144	0,0341
<i>m,p</i> -Xileno	106,16	3,96	4,697	0,0442	3,32	3,816	0,0359
<i>o</i> -Xileno	106,16	1,56	1,847	0,0170	1,28	1,501	0,0141

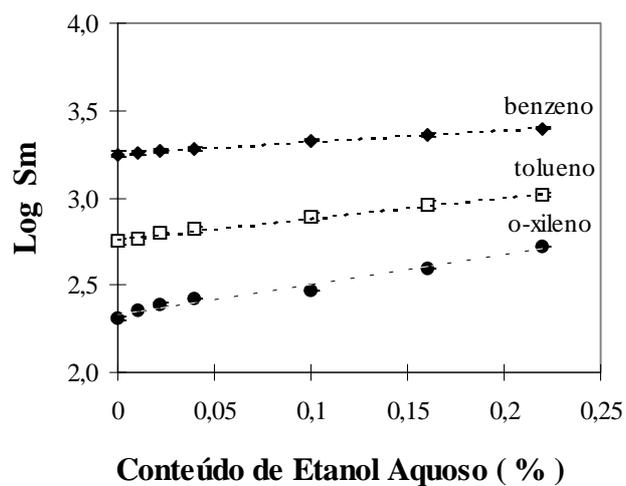


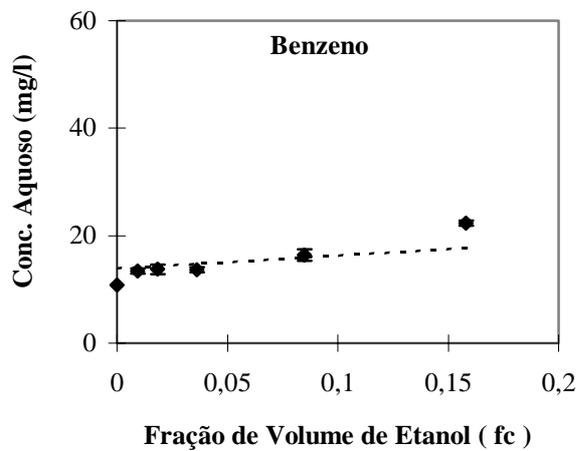
Figura 1. Log da solubilidade dos solutos num sistema de solvente misturado em função da fração de volume do etanol.

Tabela 2 - Concentrações aquosas dos BTX em sistemas água-gasolina pura (sem etanol).

Composto	(mg/L)
Benzeno	10,5 ± 0,2
Tolueno	28,4 ± 1,5
Xilenos Totais	11,7 ± 1,2

Tabela 3. Concentrações aquosas dos BTX (mg/L), na mistura água-gasolina comercial brasileira (com etanol).

Fração de etanol (fc)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Xilenos (mg/L)
15,80%	22,33 ± 0,43	50,37 ± 2,49	25,88 ± 2,61
8,47%	16,37 ± 1,07	32,61 ± 2,26	18,55 ± 2,98
3,62%	13,62 ± 0,47	31,10 ± 1,10	17,64 ± 2,84
1,84%	13,75 ± 0,90	29,27 ± 1,96	13,42 ± 2,30
0,93%	13,39 ± 0,47	26,71 ± 2,44	13,63 ± 1,92



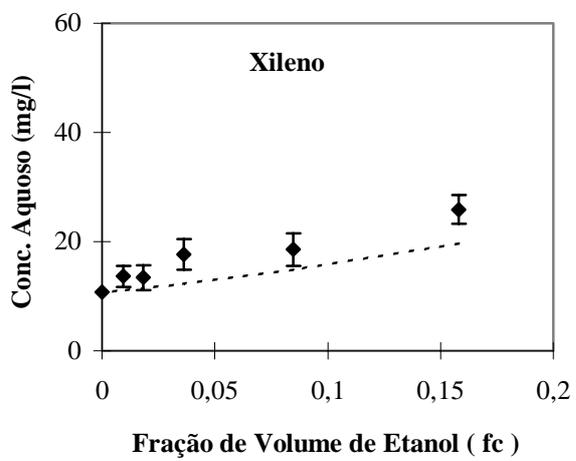
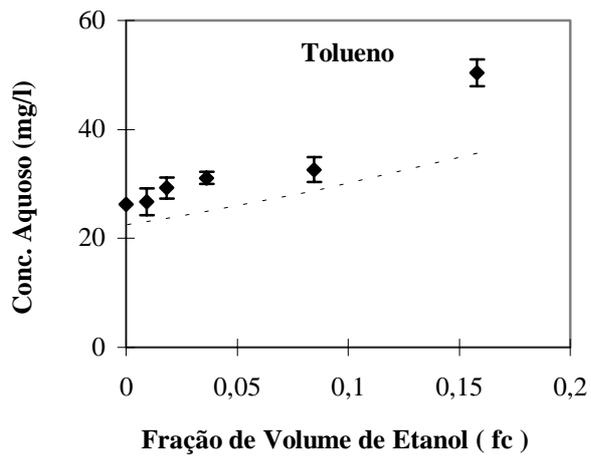


Figura 2. Concentração aquosa dos BTX (mg/L), em função da fração de volume de etanol no sistema gasolina-etanol-água.