

# 1 Introdução

A presença na superfície do solo de poluentes imiscíveis com a água (NAPLs<sup>1</sup>) devido a vazamentos de tanques de armazenamento ou dutos e acidentes de transporte é de grande interesse, pois o NAPL e seus constituintes podem migrar através do subsolo até atingir o lençol freático e, eventualmente, contaminar as fontes de água. Estes, em geral, constituem um grave problema para a remediação do subsolo.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estima que existam mais de 1,5 milhões de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina nos Estados Unidos, nos quais semanalmente, são encontrados mais de mil novos vazamentos (Bratberg e Hopkins, 1995). No Brasil, de acordo com os dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2003), existem aproximadamente 31.435 estabelecimentos em operação, dos quais a grande parte surgiu na década de 70, quando houve um significativo aumento no número de postos no país (Cordazzo, 2000). Como a vida útil destes tipos de tanques de armazenamento, que é em torno de 25 anos, já ultrapassou ou está próxima do final, pode-se esperar um aumento da ocorrência de vazamentos nos postos do país (Corseuil e Martins, 1997). Estudos realizados pela Prefeitura de Joinville - SC com os 65 postos da cidade, constatou que somente um deles não continha algum tipo de contaminação do lençol freático (Cadorin, 1996 *apud* Cordazzo, 2000), comprovando que estes vazamentos constituem um grave problema para o meio ambiente.

Na década de 80, devido à escassez e ao alto custo do petróleo, alguns países do mundo, inclusive o Brasil, começaram a usar, como fonte de energia alternativa, gasolina misturada com compostos oxigenados, tais como álcoois e éteres. Com a crise do petróleo e a grande dependência do país nesta fonte de energia, houve a criação no Brasil do Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, com o objetivo de substituir o hidrocarboneto por uma fonte

---

<sup>1</sup> NAPL: Sigla em inglês para denominar os líquidos de fase não aquosa (Nonaqueous Phase Liquid), ou seja, hidrocarbonetos imiscíveis com a água (Bedient *et al.*, 1994).

renovável e reduzir o uso da gasolina pura nos automóveis (Melo e Pelin, 1984). Além disso, o uso da gasolina oxigenada tem se tornado umas das soluções para se reduzir a emissão de dióxido de carbono, que agrava o efeito estufa, para a atmosfera. O Metil-Terc-Butil-Eter (MtBE) é o composto oxigenado mais comumente adicionado à gasolina, embora tenha apresentado baixa toxicidade, sua baixa biodegradação no subsolo, cheiro e gosto fortes, mesmo em baixíssimas concentrações, tornam este composto um sério contaminante da água subterrânea. Na Califórnia ele foi utilizado até o final de 2002. O etanol é o segundo composto oxigenado mais comumente adicionado à gasolina, e tem se tornado o principal substituto do MtBE (Schirmer, 1999).

Em contato com a água subterrânea, a gasolina se dissolve parcialmente, liberando os compostos chamados BTEX, que são os constituintes da gasolina que têm maior solubilidade em água, como hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (orto, meta e para), sendo estes os que primeiro atingem o lençol freático (Corseuil, 1992). Mesmo que não ocorra um acidente com grandes volumes de combustível, estes compostos podem migrar por difusão na água presente no solo ou advecção com a infiltração da água de chuva. Estes constituintes são considerados substâncias perigosas por afetarem o sistema nervoso central e serem cancerígenos. O limite de potabilidade de água doce para o benzeno, por exemplo, é de 0,005 mg/L e para águas onde haja pesca ou cultivo de organismos para consumo intensivo este valor é ainda menor, 0,018 µg/L (Resolução CONAMA Nº 357, 2005).

A adição de etanol à gasolina faz com esta presente um comportamento diferente da gasolina pura quando infiltra-se no solo, devido ao efeito de co-solvência deste composto oxigenado nas propriedades físico-químicas da mistura. Assim, um vazamento de gasolina com etanol no solo tem um padrão de comportamento diferente daquele apresentado pela gasolina pura.

Muitos estudos têm sido realizados com principal interesse na zona saturada e pouco se sabe sobre o comportamento dos contaminantes, antes mencionados, na zona não saturada (McDowell e Powers, 2003). No entanto, é fundamental o conhecimento do comportamento na zona não saturada ou vadosa, pois na maioria das vezes, os acidentes com combustíveis acontecem nestas regiões e algumas vezes nem atingem a região saturada.

Os fatos acima explicados foram as motivações para a realização do presente estudo, cujo objetivo consiste em avaliar o fluxo e transporte de gasolina pura e gasolina misturada com etanol em um meio poroso não

saturado, sendo o constituinte benzeno avaliado quanto à massa retida na coluna para ambos os tipos de gasolina.

Para isto, foi utilizado o programa *Hydrocarbon Spill Screening Model* – HSSM<sup>2</sup> (Weaver *et al.*, 1994), o qual simula o fluxo e o transporte de hidrocarbonetos de petróleo (menos denso do que a água) em uma dimensão.

Os dados utilizados para a avaliação do programa e do modelo foram obtidos a partir de ensaios de coluna realizados com um material granular inerte (esferas de vidro) com o objetivo de simular os vazamentos de gasolina pura e misturada com etanol na zona não saturada.

Como objetivos mais gerais, podem-se citar:

- Aportar informações de ensaios de coluna em laboratório com meio poroso não saturado, contaminado por gasolina pura e com etanol.
- Comparar o comportamento de ambas as gasolinas ao infiltrar em um meio poroso não saturado com principal interesse na massa de constituinte retida.
- Avaliar se o Modelo de Infiltração de LNAPL no solo, HSSM (Hydrocarbon Spill Screening Model), e o modelo implementado para considerar o efeito de co-solvência, em função da adição de etanol na gasolina comercial brasileira, representam bem este tipo de problema.
- Ampliar o conhecimento deste tipo de contaminação do solo e da água subterrânea.

A apresentação deste trabalho foi feita em 6 capítulos.

No segundo capítulo faz-se uma revisão bibliográfica que abrange conceitos gerais dos vazamentos de hidrocarbonetos líquidos derivados de petróleo, fluxo multifásico.

No capítulo 3, descreve-se o programa HSSM e a implementação do modelo de infiltração para gasolina com etanol.

Já no capítulo 4, apresentam-se os ensaios de laboratório para caracterização física do material e dos contaminantes, para determinação de curva característica, determinação da permeabilidade e por fim os ensaios de coluna.

---

<sup>2</sup> O programa *Hydrocarbon Spill Screening Model* – HSSM se encontra disponível gratuitamente no sítio da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) ou no Laboratório de Pesquisa de Meio Ambiente Robert S. Kerr (RSKERL).

Dentro do capítulo 5 são apresentados os resultados dos ensaios de coluna e do modelo.

Finalmente, no capítulo 6 apresentam-se as conclusões e sugestões.