

# **ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO PARA FASE LIVRE LEVE NO SUBSOLO DE UMA ÁREA EM OSASCO, SP.**

Leandro Gomes de Freitas<sup>1</sup>; Marcela Maciel de Araújo<sup>1</sup>; Nestor Kenji Yoshikawa<sup>1</sup>; Marco Aurélio Zequim Pede<sup>2</sup>

## **RESUMO**

A seleção adequada de tecnologias de remediação para locais com presença de fase livre leve requer uma abordagem racional, envolvendo a caracterização detalhada do meio físico e do comportamento dos contaminantes em questão. No presente trabalho realizou-se uma investigação complementar na área de estudo visando à aplicação do método proposto por API (2004) [1] para seleção das técnicas de remediação mais adequadas. Os resultados demonstraram grande influência das características do óleo sobre as alternativas de remediação testadas, o que foi comprovado pelas baixas taxas de recuperação constatadas nos ensaios pilotos de campo e nas simulações computacionais realizadas. Estes dados, associados à ausência de risco à saúde humana, indicaram que, para um projeto de remediação mais eficiente e uma melhor alocação de recursos, uma abordagem focada na fração residual seria, tecnicamente, mais adequada. O método utilizado para a tomada de decisão demonstrou-se apropriado para o caso em questão.

## **ABSTRACT**

The adequate selection of remediation technologies for sites with presence of light non aqueous phase liquid (LNAPL) requires a rational approach, involving detailed site characterization and appropriate understanding of the contaminants behavior. In the present work a complementary site investigation was conducted aiming the application of the method proposed by API (2004) for selecting the appropriate techniques of remediation. The results showed a significant influence of the oil characteristics on the remediation alternatives tested, which were confirmed by the low recovery rates observed in field pilot tests and by computer simulations. These informations, combined with the absence of toxicological risk to human health, indicated that for a better efficiency of the remediation project and better resources allocation, an approach focused on the residual fraction would be technically more appropriate. The method used for decision making showed to be suitable for the present case.

**PALAVRAS-CHAVE:** remediação, fase livre leve, estudo de alternativas, LNAPL residual.

<sup>1</sup>IPT–Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP. Av. Prof. Almeida Prado, 532. C. Universitária. São Paulo/SP. F.11-3767-4251. E-mail: lfreytas@ipt.br

<sup>2</sup>ISR- In-Situ Remediation. Av. Brig. Faria Lima, 1903, cj. 62. São Paulo/SP. F. 11-3812-2068. E-mail: marcopede@insiturediation.com.br

## 1 - INTRODUÇÃO

A ocorrência de fase livre leve (FL), também denominada como LNAPL (*Light Non-Aqueous Phase Liquid*), apresenta-se como a causa de muitos casos de contaminação do ambiente subterrâneo na atualidade. Sua simples presença em poços de monitoramento (PMs) determina legalmente a necessidade imediata de ações de remediação.

Conforme citado por Pede (2009) [2], em muitos casos, abordagens imediatista, pautadas unicamente nas espessuras de FL, podem levar à escolha de métodos de remediação inapropriados, com baixa eficiência. Caracterizações hidrogeológicas inadequadas e a falta de conhecimento das características do produto tendem a implicar, ainda, em falsos diagnósticos, onde, frequentemente, o volume e as taxas de recuperação são superestimados e o tempo de remediação, subestimado.

Segundo API (2004), diferentes abordagens de remediação devem ser consideradas ao se tratar de LNAPLs “móveis” ou residuais na matriz do solo, devendo a seleção do método adequado se pautar em critérios técnicos, legais e financeiros. A partir deste contexto, metas podem ser avaliadas e simuladas quantitativamente, tanto em termos de volumes e espessuras finais de FL, como do tempo necessário para atingir estes objetivos.

Este trabalho apresenta um estudo de caso de uma área no município de Osasco-SP, com presença de LNAPL proveniente da disposição inadequada de resíduos líquidos, onde após diversas abordagens inconclusivas de gerenciamento e remediação adotadas no passado, o IPT realizou um novo estudo pautado na metodologia de seleção de alternativas de remediação proposta por API (2004) e adotada por Pede (2009).

## 2 - OBJETIVOS

Apresentar os métodos adotados para a caracterização do comportamento da FL e para a avaliação da eficiência de diferentes técnicas de remediação, bem como para a seleção das alternativas de remediação mais adequadas para o caso apresentado.

## 3 - MÉTODOS

O trabalho se iniciou com a etapa de investigação complementar, revisando-se todo o histórico dos estudos já realizados na área, além de entrevistas com antigos funcionários e análises de fotos aéreas multitemporais. Concomitantemente, realizou-se a coleta e caracterização físico-química de amostras do óleo, além do monitoramento mensal das espessuras de FL, concentrações de gases e dos níveis d'água subterrânea em todos os poços da área, com o intuito de avaliar o comportamento do LNAPL.

Foram executadas diversas sondagens com o uso de *Geoprobe*<sup>®</sup>, envolvendo a coleta de amostras de solo para análises químicas e caracterização geotécnica, instalação

de novos PMs, incluindo multiníveis, amostragem de água subterrânea, além de ensaios hidráulicos e topografia. Através da nova malha de poços, associada à já existente, pode-se realizar a delimitação e o monitoramento da pluma de LNAPL. Adicionalmente, executaram-se ensaios piloto com equipamento de extração multifásica (MPE), aplicando *Bioslurping*, durante dois meses, em diversos poços com FL. Com os resultados obtidos, realizaram-se simulações computacionais do comportamento da FL e de diferentes técnicas de remediação por meio do software *API Interactive LNAPL Guide*<sup>®</sup> (API, 2004). Estas informações forneceram subsídios para um estudo de alternativas de remediação.

Conforme a metodologia sugerida por API (2004), as áreas podem ser classificadas em três categorias de mobilidade e estabilidade: 1) LNAPL não é móvel; 2) LNAPL potencialmente móvel, mas a pluma é estável; e 3) LNAPL é móvel e a pluma está migrando. Da mesma forma, dos pontos de vista legal e financeiro, podem ser elencados três níveis de prioridade: 1) Alto, necessária uma ação imediata, 2) Moderado, necessária uma ação, mas o tempo não é um elemento determinante, e 3) Baixo, apenas ações limitadas são requeridas e o tempo não é preponderante. Através desta abordagem, puderam-se avaliar as alternativas de remediação, conforme apresentado no **Quadro 1**.

Business/ Regulatory Level of Action	LNAPL Character	
	LNAPL Not Mobile	LNAPL is Mobile and Migrating
High ↑ ↓ Low	Aggressive Remediation of Residual LNAPL	Containment with Aggressive Remediation of Mobile LNAPL Required
	Passive Remediation of Residual LNAPL or Monitoring	Containment with Passive Remediation of Mobile LNAPL

**Quadro 1.** Matriz de decisão para diversos cenários de ocorrência de LNAPL (API, 2004).

Conforme apresentado, em casos onde há migração da FL, ações de remediação devem focar-se na contenção e na remoção de LNAPL. Por outro lado, em casos onde não há mobilidade, as ações devem concentrar-se na remoção de massa residual ou no monitoramento, podendo ainda ser adotadas múltiplas abordagens ao longo do ciclo de execução para melhorar a eficiência. As taxas de recuperação ou o tempo para cumprir as metas podem levar à adoção de ações "passivas" ou "agressivas" de remediação.

Ações agressivas geralmente envolvem intervenções mais efetivas e custosas. O canto superior direito do Quadro 1 representa os piores casos, envolvendo plumas migrando e alto grau de prioridade, o que requer ações imediatas e técnicas de contenção. Em contraste, ações passivas dependem menos de tempo e em geral contam com fatores naturais para promover a degradação dos hidrocarbonetos. O canto inferior esquerdo reflete áreas de baixa prioridade, quando o nível de preocupação é menor, o LNAPL não é móvel, e a probabilidade de uma significativa recuperação do volume da pluma é baixa.

## 4 - RESULTADOS

Concluiu-se que as fontes do LNAPL estão associadas a antigos despejos de óleos usados praticados no local. A caracterização da FL mostrou tratar-se de uma mistura complexa de hidrocarbonetos, com alto teor de degradação, elevada viscosidade e peso molecular, e característica de reter poluentes apolares, como os PAHs, pesticidas e PCBs. As análises químicas de água subterrânea mostraram não haver geração de fase dissolvida, assim como o monitoramento de gases confirmou a ausência de VOCs. Não foram constatados riscos toxicológicos à saúde humana em cenários reais de exposição.

Na pluma delimitada identificou-se três *hot-spots* (setores com maiores espessuras). Os ensaios piloto com MPE mostraram que a técnica é capaz de extrair a FL acumulada nos poços, porém com limitações para extrair o óleo viscoso da formação. As simulações computacionais indicaram que mais de 95% do volume da pluma é residual, e a mesma não se encontra migrando. Essas características foram determinantes para as baixas taxas de recuperação constatadas nas simulações de remediação, que mostraram remoções máximas, em três anos de operação, de menos de 2% do volume total da pluma.

Estes resultados indicaram que, para um projeto de remediação mais eficiente e uma melhor alocação de recursos no gerenciamento do caso, uma abordagem de remediação focada no LNAPL residual seria, tecnicamente, mais adequada. Com relação aos níveis de prioridades, a abordagem proposta, para curto prazo, foi de extração multifásica nos *hot-spots* (técnica agressiva), associada a um programa de monitoramento da atenuação natural a médio e longo (técnica passiva), levando-se em conta as características de imobilidade, não formação de fase dissolvida, vapor e ausência de risco à saúde humana.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação complementar realizada, associada às simulações em campo e computacionais de diferentes métodos de remediação, forneceram subsídios importantes para a compreensão do comportamento da FL e das limitações a cerca das técnicas avaliadas. O método proposto por API (2004) para a seleção de alternativas de remediação mostrou-se aplicável para o caso avaliado.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN PETROL INSTITUTE (API). **API Interactive LNAPL Guide – Version 2.0.4**. Park City, Utah-USA, 2004.
- [2] PEDE, M.A.Z. **Flutuação do lençol freático e sua implicação na recuperação de hidrocarbonetos: um estudo de caso**. 2009. 126 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP.