

# AQUISIÇÃO DE DADOS PARA CONFEÇÃO DE MODELO CONCEITUAL: INVESTIGAÇÃO CONVENCIONAL VERSUS INVESTIGAÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO

Sousa, Lyvia <sup>1</sup>, Riyis, Marcos Tanaka <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Golder Associates Ltda. Avenida Queiróz Filho, 87. São Paulo (SP). lyvia.sousa@gmail.com

<sup>2</sup> ECD Sondagens Ambientais Ltda., Avenida América de Carvalho, 790. Sorocaba (SP).  
marcos@ecdambiental.com.br

**Palavras-Chave:** modelo conceitual; investigação de alta resolução; HRSC; Triad; gerenciamento de áreas contaminadas; amostragem de solo

## INTRODUÇÃO

As técnicas convencionais de Investigação Ambiental utilizadas no Gerenciamento de Áreas Contaminadas, nas etapas de Investigação Confirmatória e Detalhada, possuem um custo de execução, em grande parte dos casos, inferior à etapa de remediação, que se configura como a etapa de custo mais elevado em todo o processo. As técnicas de Investigação de Alta Resolução (*High Resolution Site Characterization – HRSC*) são capazes de gerar uma redução significativa no custo da remediação. Segundo Suthersan et al. (2015) a cada dólar gasto em investigação de alta resolução são economizados de três a cinco dólares na etapa de remediação. A etapa de remediação vem sendo criticada em relação ao seu tempo de realização, custo e, principalmente, eficácia, situação que pode ser revertida com o melhor entendimento do modelo conceitual da área com a aplicação de técnicas de investigação de alta resolução. A investigação convencional possui uma escala de estudo que não é compatível com as heterogeneidades do meio, que, geralmente, são compostas estruturas centimétricas. Com o detalhamento do meio físico é possível observar as lacunas de informação no modelo conceitual da área, o que reduz significativamente o grau de incerteza do diagnóstico.

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma comparação dos custos entre as investigações convencional e de alta resolução para o desenvolvimento do modelo conceitual da área com foco no mercado brasileiro em contrapartida ao valor gasto na remediação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado tendo como base o conceito de *High Resolution Site Characterization (HRSC)* da *United States Environmental Protection Agency (USEPA)* e a abordagem Triad (*Triad Approach*) do *Triad Resource Center* dos Estados Unidos publicada sob a forma do Guia de Implementação Triad (ITRC, 2003).

A HRSC é definida como estratégias e técnicas usadas para obtenção de medidas em escala apropriada e alta densidade de amostragem com objetivo de definir a distribuição dos contaminantes, o contexto físico do meio impactado com alto grau de certeza, assim embasando remediações mais rápidas e efetivas. A HRSC tem como base o detalhamento aprimorado do meio físico e a redução de incertezas.

A abordagem Triad é a combinação de três estratégias: Planejamento Sistemático de Projeto, Tecnologias de Medição em Tempo Real e Estratégias Dinâmicas de Trabalho. De acordo com o Guia de Implementação Triad (ITRC, 2003), as tecnologias de medição em tempo real são sistemas de medição ou técnicas analíticas utilizadas para produzir dados breves o suficiente para afetar as decisões durante a execução dos trabalhos. Os dados podem ser obtidos instantaneamente (por exemplo, raios gama), em alguns minutos (por exemplo, varredura por fluorescência de raios X) ou até mesmo em alguns dias (por exemplo, análises químicas em 48 horas em laboratório móvel ou até mesmo convencional). A abordagem Triad trabalha com dados chamados de segunda geração, que são compostos por um número significativo de amostras de custo menos elevado que possam guiar a escolha de poucas amostras de custo mais elevado. O número de amostras de custo menos elevado deve ser proporcional à heterogeneidade do meio.

Como pode-se observar na figura (Figura 1) apresentada a seguir, o meio estudado pode apresentar heterogeneidades que condicionam o fluxo da água subterrânea assim como a retenção de massa de um contaminante (por exemplo, lentes argilosas). A investigação de alta resolução, com a coleta de amostras de solo mesmo em camadas centimétricas, pode caracterizar fontes secundárias não mapeadas, que podem inviabilizar a reabilitação da área e colocar a prova toda a etapa de investigação e remediação.

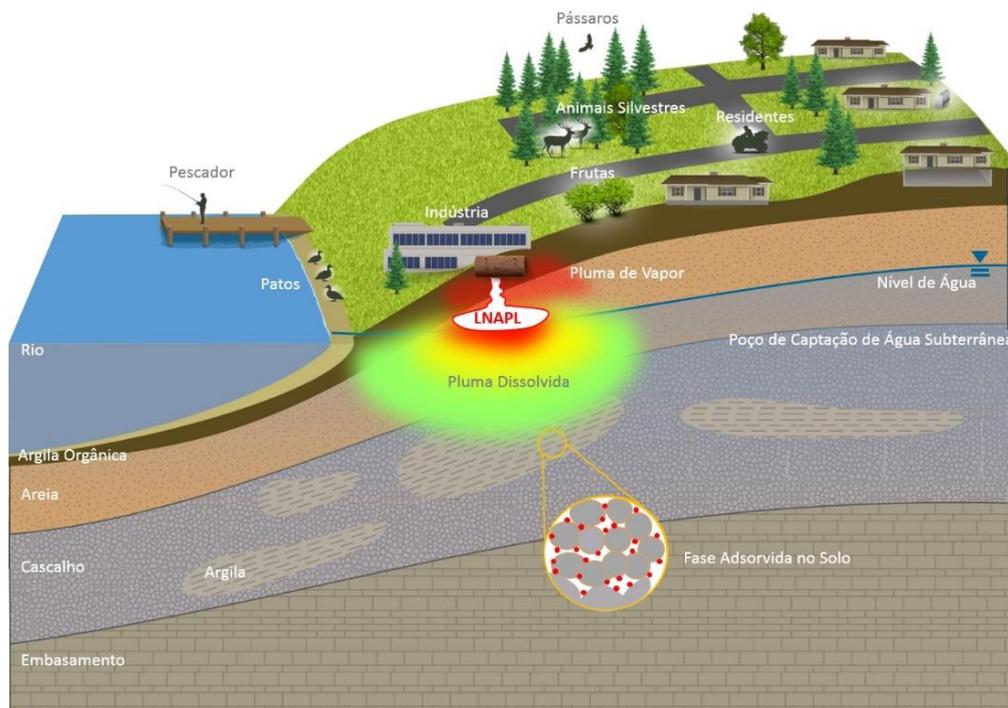


Figura 1. Modelo Conceitual (Sousa, 2018)

Segundo o Guia de Implementação Triad (ITRC, 2003), a estratégia de Investigação de Alta Resolução aliada a tecnologias de medições em tempo real é fundamental para se definir o modelo conceitual de uma área pois o meio geológico é regido pela heterogeneidade das camadas geológicas que condicionam de maneira diferente a retenção e o fluxo de massa dos contaminantes. A partir do alinhamento da abordagem Triad com o conceito HRSC, para este trabalho foram escolhidas técnicas de baixo custo já consagradas no mercado, porém com um maior critério de execução aliada a uma escala de alta resolução, por exemplo, varredura a cada 10 cm de compostos orgânicos voláteis no solo em campo com equipamento fotoionizante (atividade exigida para investigação de compostos orgânicos voláteis – VOCs – pela norma ABNT NBR 16.434:2015), coleta de amostras menos espaçadas e em maior quantidade do que a prática atual pelo protocolo *whole core soil sampling* definido em Suthersan et al. (2015), assim como o uso da tecnologia RCPTu (*Cone Penetration Test* com módulo de Resistividade). O módulo de medição CPTu é normatizado pela ABNT MB-3406 (1991) e de acordo com Tumay e Titi (2000) o ensaio do tipo CPT mede resistência de ponta e poro-pressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação dos custos de uma investigação convencional com os de alta resolução foi realizada com base no valor da aquisição dos dados pertencentes a cada abordagem e atribuindo-se uma diária de campo e a necessidade de se incrementar o volume de amostras de solo para caracterizar um meio heterogêneo. É apresentada na tabela a seguir (Tabela 1) a comparação entre os custos de aquisição dos principais dados para a confecção de um modelo conceitual.

Tabela 1. Comparação dos custos: Investigação Convencional e Alta Resolução

Dado	Convencional		Alta Resolução	
	Método	Custo <sup>1</sup> (R\$)	Método	Custo <sup>1</sup> (R\$)
Condutividade Hidráulica	<i>Slug / Bail Test</i> 5 Unidades	4.000	RCPTU <sup>2</sup> 40 m	6.500
Massa Imóvel (Adsorvida, Sorvida ou residual)	Amostra solo (VOC) Unidade	180	Amostras de solo (VOC) 5 Unidades	900
	<b>Total</b>	4.180	<b>Total</b>	7.400

<sup>1</sup>: custos levantados no mês de maio de 2018; <sup>2</sup>: Piezocone de Resistividade

Os ensaios de permeabilidade do tipo Slug/Bail test são executados em poços de monitoramento e ensaiam o litotipo predominante adjacente ao filtro, que, em grande parte dos casos tem uma extensão que engloba diversas camadas, assim não gerando um valor de condutividade hidráulica específico e sim uma média das condutividades das camadas compreendidas pelo filtro. Já o teste com o RCPTU é capaz de gerar um perfil contínuo de alta resolução de condutividade elétrica, poro-pressão e resistência de ponto que quando aliados geram informações sobre os litotipos penetrados e suas condutividades hidráulicas. A tabela (Tabela 1) compara o custo de cinco ensaios do tipo Slug/Bail test, realizados em aproximadamente um dia de campo, com uma diária do RCPTU que é capaz de se fazer 40 metros por dia.

A etapa de investigação tem como objetivo produzir um modelo conceitual apurado, portanto deve-se investigar o meio com uma escala apropriada e uma densidade de amostras suficientes para caracterizar, com o menor grau de incerteza possível, a heterogeneidade do meio. Atualmente, o volume de amostras de solo coletadas ao longo das sondagens, são em média cinco vezes menor do que o necessário para se investigar o meio com alta resolução. A tabela (Tabela 1) compara o custo da coleta de uma amostra de solo com a coletada de cinco amostras. A coleta de amostras de solo em alta densidade é capaz de gerar corretamente e precisamente a massa de fase adsorvida que nas futuras etapas de remediação, quando não descrita, pode servir como fonte secundária de contaminação incrementando as concentrações dos contaminantes nos poços de monitoramento utilizados para observar a eficiência e eficácia da remediação.

Os custos da investigação de alta resolução ficaram 77% mais altos quando comparados com os da investigação convencional. De acordo com diversos estudos de caso publicados na página virtual do EPA o uso da Investigação de Alta Resolução foi responsável por reduzir de maneira significativa os valores da etapa de remediação. Alguns exemplos podem ser observados na tabela (Tabela 2) apresentada a seguir:

Tabela 2. Redução dos custos em projetos a partir do uso de investigação de alta resolução

Local	Principal SQI	Redução de custo (%)
Nova Jersey, EUA <sup>1</sup>	PCB	94
Fort Lewis, WA <sup>2</sup>	Solventes Organoclorados	50

<sup>1</sup>Albert Steel Drum Site, Newark, NJ; <sup>2</sup>Evergreen Former Infiltration Range, Fort Lewis, WA

De acordo com o praticado no mercado atual brasileiro a etapa de remediação pode chegar a um custo dez vezes maior em relação às etapas de investigação. Tendo isso em vista e a economia já observada nos projetos que implementaram a Investigação de Alta resolução, o valor a ser economizado em todo o projeto pode chegar a 50%. O gráfico apresentado a seguir (Gráfico 1) demonstra que o aumento no custo das etapas de investigação é inferior à redução dos custos da etapa de remediação.



Gráfico 1. Comparação dos custos investigações convencional e de alta resolução

## CONCLUSÕES

A investigação convencional vem sendo executada com uma escala de resolução inapropriada em relação à heterogeneidade do meio. Esta lacuna de informação gera modelos conceituais que não representam a realidade e que direcionam erroneamente a etapa de remediação. A investigação de alta resolução demanda uma investigação do meio em escala apropriada de acordo com a heterogeneidade do meio, a coleta de amostras de baixo custo que guiem a coleta de amostras de custo mais elevado. Essa abordagem gera custos mais elevados nas etapas iniciais do gerenciamento de áreas contaminadas, porém os custos da etapa de remediação, tarefa mais dispendiosa, podem sofrer decréscimos significativos, inclusive superiores aos gastos da etapa de investigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. MB-3406 Solo – Ensaio de Penetração de cone *in situ* (CPT). Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.434 Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos – Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- INTERSTATE TECHNOLOGY REGULATORY COUNCIL – ITRC. **Technical and Regulatory Guidance for the Triad Approach: A New Paradigm for Environmental Project Management**, 2003. Disponível em <https://www.itrcweb.org/Guidance/GetDocument?documentID=90>. Acesso em 23/04/2018.
- TRIAD RESOURCE CENTRAL. **Characterization of Volatile Organic Compounds (VOC) and Polychlorinated Biphenyls (PCB) Using Immunoassay PCB Test Kits and Field Gas Chromatography (GC) Analysis at the Albert Steel Drum Site**, Newark, New Jersey. Disponível em [https://triadcentral.clu-in.org/user/includes/dsp\\_profile.cfm?Project\\_ID=16](https://triadcentral.clu-in.org/user/includes/dsp_profile.cfm?Project_ID=16). Acesso em 23/04/2018.
- TRIAD RESOURCE CENTRAL. **Expedited Site Characterization of Mixed Chlorinated Solvents and Petroleum Dense Non-Aqueous Phase Liquid (DNAPL) Using Multiple Investigative Techniques in Conjunction with Mobile and Fixed Labs at Fort Lewis Logistics Center**, Fort Lewis, WA. Disponível em [https://triadcentral.clu-in.org/user/includes/dsp\\_profile.cfm?Project\\_ID=13](https://triadcentral.clu-in.org/user/includes/dsp_profile.cfm?Project_ID=13). Acesso em 23/04/2018.
- TUMAY, M.T., e TITI, H.H. **Louisiana Continuous Intrusion Miniature Cone Penetration Test (CIMCPT) System. Research Pays Off, TR News, Transportation Research Board**, Washington, D.C., 2000.
- SUTHERSAN, S.; QUINNAN, J.; WELTY, N. **The New ROI: Return of Investment by Utilizing SMART Characterization Methods. Ground Water Monitoring and Remediation**, 35-n3. Summer: 25-33. 2015
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **What is HRSC?** Disponível em <http://clu-in.org/characterization/technologies/hrsc/hrscintro.cfm>. Acesso em 05/02/2018.