

INVESTIGAÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO PARA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS UTILIZANDO O PIEZOCONO DE RESISTIVIDADE (RCPTu)

Marcos Tanaka Riyis ¹; Heraldo Luiz Giacheti ²; Rafael Muraro Derrite ³; Mauro Tanaka Riyis ⁴

RESUMO

As remediações de áreas contaminadas têm menor custo e maior eficácia quando são baseadas em um Modelo Conceitual do Site (MCS) sólido. A elaboração de um adequado MCS pressupõe que sejam identificadas, em alta resolução, as heterogeneidades hidrogeológicas, que, são significativas em escala de centímetros nos estudos de áreas contaminadas. Uma das ferramentas utilizadas para a investigação em alta resolução é o piezocone de resistividade (RCPTu), que une o tradicional piezocone (CPTu) com o sensor de condutividade elétrica do solo (EC). O presente trabalho mostra o resultado de quatro investigações geoambientais que utilizaram, como ferramenta principal para elaboração do perfil hidroestratigráfico de alta resolução, o RCPTu. Os ensaios mostraram em detalhes pequenas zonas preferenciais de fluxo e armazenamento, que não foram detectadas com as técnicas tradicionais de investigação. O estudo mostrou que o RCPTu é uma ferramenta de investigação geoambiental de alta resolução, que permite a elaboração de um adequado MCS, portanto, que vai diminuir a chance de falhas na etapa de remediação.

ABSTRACT

A suitable decision-making on managing a contaminated site characterization program is strongly dependent of the diagnosis process. A detailed diagnosis can be done based on a Conceptual Site Model (CSM) elaboration using High Resolution Site Characterization (HSCR) tools. The HRSC has the main goal of determine the hydrogeological heterogeneities because they are critical variables on centimeter scale. The piezocone (CPTu) test is a high resolution tool which allows attaching specific sensors, like the resistivity probe. This hybrid device is called the resistivity piezocone (RCPTu). Four geo-environmental site investigations have been studied. In them, RCPTu tests were used as a primary tool for high-resolution hydrostratigraphic profile elaboration. The test results showed details of transport and storage zones that were not detected by traditional tools (Direct Push Tools and monitoring wells installation). The study shows that RCPTu is a tool compatible with HRSC approach, and improves CSM elaboration, therefore, RCPTu can reduce mistakes on Remediation projects

Palavras-chave: Investigação geoambiental, piezocone, RCPTu, remediação, modelo conceitual

¹ ECD Sondagens Ambientais Ltda – (15) 3222-0522 – marcos@ecdambiental.com.br

² Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB)/UNESP – (14) 3103-6000 – giacheti@feb.unesp.br

³ ECD Sondagens Ambientais Ltda / UNESP-Sorocaba – rafael@ecdambiental.com.br

⁴ ECD Sondagens Ambientais Ltda – (15) 3222-0522 – mauro@ecdambiental.com.br

1 – INTRODUÇÃO

Muitos exemplos têm demonstrado que a maior causa de erros nas remediações de áreas contaminadas são as falhas na etapa de diagnóstico, ou seja, na elaboração do Modelo Conceitual do Site (MCS) [1]. Nos EUA, a tendência atual para a elaboração de um adequado MCS é a utilização de ferramentas de investigação geoambiental de alta resolução (*High Resolution Site Characterization – HRSC*) [2], preferencialmente aliadas a estratégias como o *Triad Approach* [3]. Dentre as ferramentas indicadas pela EPA estão os ensaios de piezocone (CPTu ou uCPT) [4]; e de condutividade elétrica do solo (EC) [5]. O presente trabalho propõe a utilização no Brasil, como ferramenta de HRSC, do piezocone de resistividade (RCPTu), que, em linhas gerais, é a união do CPTu com o EC.

Os ensaios RCPTu têm lugar de destaque na abordagem HRSC [2] porque coletam grande volume de dados, em curto espaço de tempo, em alta resolução, com custo relativamente baixo, e proporcionam um entendimento muito bom das heterogeneidades hidrogeológicas, variável mais crítica para a elaboração do MCS [1]. Além disso, os ensaios permitem a elaboração de um perfil hidroestratigráfico [4] e a obtenção de dados do solo e água subterrânea em pontos que seriam muito difíceis (ou impossíveis) de se obter [3]. Esses ensaios são utilizados com muita frequência nos estudos de áreas contaminadas nos EUA [2]; [5].

O presente trabalho apresenta casos no Brasil em que o ensaio RCPTu foi utilizado como ferramenta para a elaboração de um MCS com baixo grau de incerteza, comparando-se os resultados obtidos com ferramentas tradicionais. O objetivo dos ensaios foi verificar o RCPTu como ferramenta de HRSC para determinar as heterogeneidades hidrogeológicas, e elaborar um perfil hidroestratigráfico que permita identificar as zonas preferenciais de fluxo e armazenamento [4].

2 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

O equipamento utilizado nos ensaios é de propriedade da ECD Sondagens Ambientais Ltda. Os ensaios obedeceram à norma ASTM D3441/1998. Foram avaliados 16 ensaios RCPTu, sendo 10 em Bauru-SP, um em Campinas-SP, quatro em um *site* no bairro da Vila Guilherme, em São Paulo-SP e um no bairro de Jurubatuba, na mesma cidade.

Em Bauru, os ensaios RCPTu proporcionaram a elaboração de um MCS mais rico e detalhado que o inicial, formulado apenas com ferramentas tradicionais de investigação

geoambiental. Além disso, os ensaios obtiveram dados que as amostragens *Direct Push* não foram capazes de coletar, por conta da limitação do método naquela situação. Foram detectadas as heterogeneidades em escala de centímetros, o perfil hidroestratigráfico foi adequadamente definido, e os poços de monitoramento instalados corroboraram esse perfil. Em resumo, os 10 ensaios RCPTu realizados em Bauru se mostraram adequados a uma abordagem que prioriza o diagnóstico do meio físico em alta resolução. A Figura 1 mostra um ensaio típico interpretado, indicando as zonas preferenciais de fluxo e armazenamento.

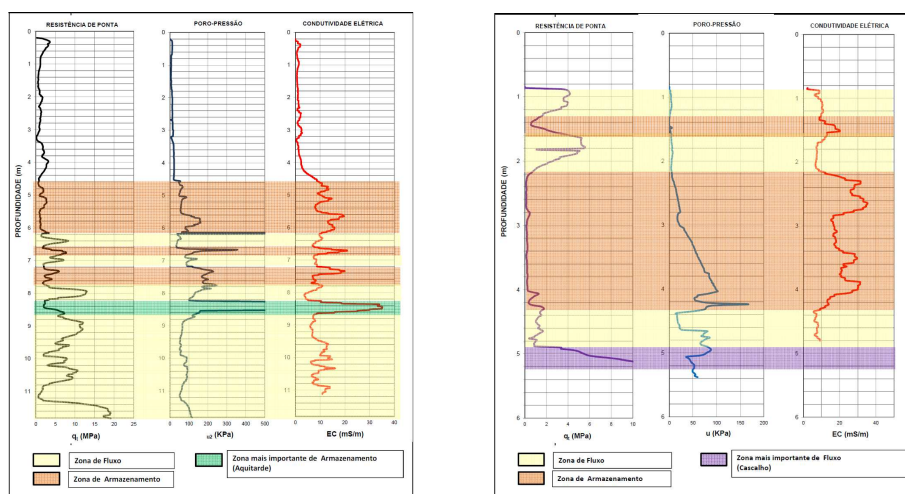


Figura 1: Ensaios típicos interpretados, indicando as zonas preferenciais de fluxo e armazenamento

Em Campinas, em um solo predominantemente argiloso, o ensaio RCPTu realizado detectou uma camada de material de condutividade hidráulica bem maior. Após o ensaio, realizou-se uma sondagem com Trados Ocos Helicoidais para a instalação de um poço de monitoramento, onde pôde-se perceber a presença de material de granulometria mais grossa no ponto indicado pelo ensaio.

No ensaio realizado em Jurubatuba, as informações foram coerentes com diversos estudos realizados nessa área pelos métodos tradicionais, e foram obtidas com uma resolução maior, detectando variações de condutividade hidráulica relativa em camadas com poucos centímetros de espessura.

Os quatro ensaios realizados na Vila Guilherme, possibilitaram a detecção das falhas no processo de remediação da área, decorrentes do MCS inadequado que a investigação pela abordagem tradicional havia proporcionado. O novo MCS, remodelado após os ensaios RCPTu, redirecionou e redimensionou a instalação dos poços de bombeamento.

3 – CONCLUSÕES

- A interpretação dos resultados obtidos nos ensaios RCPTu são compatíveis com os resultados obtidos pelos métodos tradicionais de investigação geoambiental, porém, têm maior nível de detalhamento. As heterogeneidades são detectadas com precisão de centímetros, o que não ocorre com as amostragens de solo *Direct Push*, mesmo quando realizadas da melhor forma possível (*Piston Sampler*) e analisadas por profissionais experientes;

- Com os ensaios RCPTu é possível elaborar um perfil hidroestratigráfico de alta resolução e detectar as zonas preferenciais de fluxo e armazenamento;

- Em três áreas estudadas, os ensaios RCPTu apresentaram menor limitação que os métodos tradicionais, principalmente as amostragens de solo *Direct Push*, pois obteve informações em profundidades maiores, não teve problemas de amostra não confiável, nem de não recuperação de amostra em um determinado ponto;

- A instalação de poços de monitoramento, deve ser precedida da elaboração de um adequado MCS. Caso esse modelo prévio não exista, e a única informação do meio seja a própria sondagem para a instalação do poço, as incertezas associadas ao processo de instalação e ao meio físico são tão grandes que podem inviabilizar qualquer tomada de decisão adequada;

4 – REFERÊNCIAS

[1] Clearly, R. 2009. **Por que a maioria dos sistemas de remediação falha?** Anais do I Congresso Internacional do Meio Ambiente Subterrâneo (CIMAS). São Paulo-SP. 2009

[2] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **What is HRSC?** Disponível em

<http://clu-in.org/characterization/technologies/hrsc/hrscintro.cfm>. Acesso em 01/03/2013.

[3] RIYIS, Marcos Tanaka. **Investigação Geoambiental com Tomada de Decisão em Campo Utilizando o RCPTu como Ferramenta de Alta Resolução.** Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da FEB/UNESP. Bauru-SP. 2012.

[4] Quinnan, J.A.; Welty, N.R.H.; Killinbeck, E. 2010. **Hydrostratigraphic and permeability profiling for groundwater remediation projects.** Anais do 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'10), Huntington Beach, CA. Paper 3-33. 2010

[5] SCHULMEISTER, M. K.; BUTLER JR, J.J.; HEALEY, J. M.; ZHENG, L.; WISOCKY, D. A.; McCALL, G. W. **Direct-Push Electrical Conductivity Logging for High-Resolution Hydrostratigraphic Characterization.** Ground Water Monitoring & Remediation 23, n. 3: 52–62. 2008