

DECLORAÇÃO ANAERÓBICA REDUTIVA EM AQUÍFERO FREÁTICO CONTAMINADO POR FASE DISSOLVIDA DE TETRACLOROETENO: ESTUDO DE CASO

Fabio Luis Covre Coimbra¹; Ana Gabriela Martins Cruto¹; Ricardo Colaneri¹; Lucas de Sousa Rodrigues Leite¹; Maurício Covre Coimbra¹; João Eduardo Addad²

RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um processo remediativo por decloração anaeróbica redutiva, em uma área de uma antiga indústria metal-mecânica, contaminada com tetracloroeteno em fases residual e dissolvida. A máxima concentração inicial de tetracloroeteno encontrada na água subterrânea foi de 3.885 µg/L, sendo determinada uma meta de remediação 249 µg/L. O sistema de remediação incluiu um conjunto de poços de extração/injeção, através dos quais a água subterrânea foi extraída, tratada por carvão ativado, adicionada com substratos orgânicos e injetada por gravidade. O processo remediativo atingiu níveis de redução de 98,1% considerando um balanço de massa e 98,69% em avaliação pontual.

ABSTRACT

This paper discusses the development of remediation based in anaerobic reductive dechlorination, at an area of ancient metal-mechanics industry, contaminated with residual and dissolved phases of tetrachloroethene. Maximum initial tetrachloroethene concentration found in groundwater was 3,885 µg/L, and a remediation target of 249 µg/l. The remediation system included a set of extraction/injection wells, through which groundwater was extracted, treated by activated charcoal, added with organic substrates and injected by gravity. The remediative process reached reduction levels of 98.1%, considering a mass balance, and 98.69% at punctual evaluation.

Palavras-chave: contaminação, remediação, substratos orgânicos.

Key words: contamination, remediation, organic substrates.

¹ CMA Engenharia Ambiental Ltda, Rua Cel. Estevam Lopes de Camargo, 56, Tatuapé, São Paulo, SP, CEP 03088-050, 011-2225-3560, cma@cmaambiental.com.br

² IPECI-UNISANTOS, Av Conselheiro Nebias, 300, Vila Mathias, Santos, SP, CEP 11015-002, 013-3228-1261, joao.addad@unisantos.br

1 - INTRODUÇÃO

Inúmeras atividades industriais e comerciais utilizam tetracloroetano, resultando em cenários de contaminação de grande abrangência. Técnicas comumente empregadas para a remediação *in situ* de cloroetenos em água subterrânea são a oxidação química e extração por bombeamento.

Uma abordagem que tem recebido atenção é a bioremediação, considerando tanto fatores de eficiência e menor custo, quanto às limitações de aplicação de processos físicos e químicos (raio de ação de poços de injeção de oxidantes, longos períodos de bombeamento condicionados por fase residual). Sob condições apropriadas, a bioremediação torna-se uma opção viável, considerando-se principalmente a destruição efetiva dos compostos [1].

Através do condicionamento de um ambiente redutor no aquífero, bactérias (e.g. *Dehalococcoides*, *Dehalobacter*, *Desulfitobacterium*, *Desulfuromonas*) substituem sequencialmente os átomos de cloro por hidrogênio, formando compostos mais reduzidos por decloração anaeróbica redutiva (tetracloroetano \Rightarrow tricloroetano \Rightarrow dicloroetenos \Rightarrow cloreto de vinila \Rightarrow eteno) [2, 3, 4]. Em sistemas de bioremediação, uma variedade de substratos orgânicos pode ser utilizada para gerar as condições redutoras no aquífero [5].

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um processo remediativo por decloração anaeróbica redutiva, em uma área de uma antiga indústria metal-mecânica contaminada com tetracloroetano, com utilização de substrato orgânico.

2 - METODOLOGIA

O cenário de contaminação aqui considerado apresenta uma fonte de fase residual em posição central de um terreno de cerca de 1500 m², com presença de pluma de fase dissolvida. A máxima concentração inicial de tetracloroetano encontrada na água subterrânea foi de 3.885 µg/L, sendo determinada uma meta de 249 µg/L, considerando-se inalação em ambiente fechado.

2.1 - Ensaio de avaliação de comunidade declorante

Foram realizados ensaios de bancada para avaliar a presença de uma comunidade bacteriana capaz de degradar cloroetenos. Em triplicata de amostra de água subterrânea coletada em poço de monitoramento de concentração positiva e mantida em frascos sem presença de ar, foi adicionado substrato baseado em açúcar comum e verificados abatimentos da ordem de 24% de tetracloroetano (3242 µg/L para 2457 µg/L), após 15 dias, sem incremento significativo de cis-1,2-dicloroetano ou produção de cloreto de vinila, indicando a existência de microbiota competente no aquífero.

2.2 - Sistema de remediação

O sistema de remediação incluiu um conjunto de poços de extração/injeção, através dos quais a água subterrânea foi extraída, tratada em carvão ativado, adicionada com substratos orgânicos e injetada por gravidade.

A adição de co-fatores³, juntamente com o substrato orgânico, foi utilizada para otimizar as vias metabólicas bacterianas. Entretanto, a infiltração gravitacional simples não seria suficiente para atingir todo o volume impactado pelos etenos clorados, ficando sua eficiência restrita aos raios de influência de cada poço de injeção. De modo a ultrapassar este limite, foi utilizado um sistema de recirculação, no qual a extração a jusante do volume de solo com presença de fase residual, em conjunto com a injeção por gravidade a montante, possibilitou a percolação através do volume impactado, dentro dos limites do empreendimento. Foram instalados três poços de extração e três poços de injeção, respectivamente alinhados, em posições perpendiculares ao fluxo subterrâneo. A água em recirculação foi adicionada de substrato orgânico e co-fatores, em sistema fechado, evitando a exposição operacional pela presença da carga de etenos clorados. Entre a extração e a injeção, a água sofreu tratamento, de modo a permitir o aproveitamento, pela passagem em reatores de carvão ativado, eliminando a carga contaminante antes do seu retorno ao meio.

2.3 - Monitoramento e método analítico

As amostras coletadas por baixa vazão, em um conjunto de 24 poços de monitoramento, sendo três poços multiníveis, foram analisadas por cromatografia gasosa em instalação analítica acreditada para os ensaios considerados. Foram realizadas 6 campanhas de coleta em um intervalo de 27 meses.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das somatórias de todos os poços, ao longo das seis campanhas amostrais, apresentam inicialmente uma diminuição da concentração de tetracloroetano e incremento de cis-1,2-dicloroetano, como metabólito do primeiro (Figura 1). Outros etenos clorados não se mostraram significativos ao longo das campanhas.

Foi considerado que o pulso de elevação de concentração na quarta campanha amostral, corresponde à desorção de tetracloroetano de trechos com fase residual. A partir desta campanha, os valores voltaram a cair (Figura 1).

O processo remediativo determinou níveis de redução de tetracloroetano de 98,1%, de 4862,3 µg/L para 92 µg/L, também considerando o balanço de somatório de massa, e

³ Formulação proprietária.

98,69%, em avaliação pontual (poço com maior concentração da primeira campanha em relação à sexta campanha).

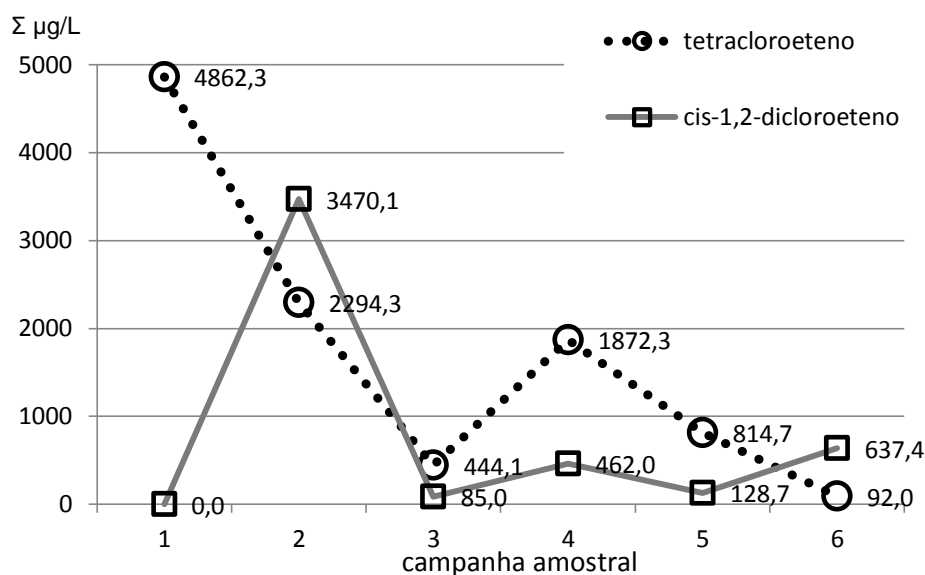


Figura 1. Evolução das somatórias de concentrações (µg/L) de tetracloroeteno e cis-1,2-dicloroeteno ao longo das seis campanhas amostrais.

4 - CONCLUSÃO

A biodegradação de cloroetenos apresentou-se como tecnicamente viável e com relação custo-benefício satisfatória. O processo remediativo atingiu níveis de redução de tetracloroeteno de 98,1%, considerando um balanço de somatório de massa, e 98,69%, em avaliação pontual.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ITRC. *Permeable Reactive Barrier: Technology Update*. PRB-5. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, PRB: Technology Update Team. 2011.
- [2] Cupples, A. M., Spormann, A. M., McCarty, P. L. Comparative evaluation of chloroethene dechlorination to ethene by *Dehalococcoides*-like microorganisms. **Environmental Science & Technology**, v. 38, p. 4768–4774. 2004.
- [3] Duhamel, M. A., Edwards, E. A.. Microbial composition of chlorinated ethene-degrading cultures dominated by *Dehalococcoides*. **Microbiology Ecology**, v. 58, p. 538–549. 2006.
- [4] Yang, Y., Pesaro, M., Sigler, W., Zeyer, J. Identification of microorganisms involved in reductive dechlorination of chlorinated ethenes in an anaerobic microbial community. **Water Research**, v. 39, p. 3954–3966. 2005.
- [5] Newman, W. A., Pelle, R. C. Enhanced anaerobic bioremediation of chlorinated solvents utilizing vegetable oil emulsions. **Remediation**, v. 16, p. 109–122. 2006.