

# **Análise da mobilidade de elementos em saprolito de gnaiss do aterro sanitário da CTRS – BR040 com ensaios de coluna e modelagem PHREEQC.**

Ferreira, Quênia de Cássia Goulart<sup>1</sup>, Bacellar, Luis de Almeida Prado<sup>2</sup>

**Resumo:** Dentre as fontes de contaminação de solo e aquíferos, o aterro de resíduos sólidos urbanos é um dos mais importantes, pois sua carga contaminante (lixiviado) possui muitos elementos nocivos. Os horizontes superficiais do solo são normalmente considerados como de elevada capacidade de atenuação destes elementos, mas no aterro sanitário de Belo Horizonte os resíduos foram localmente dispostos sobre saprolito, tidos como de menor capacidade. A capacidade do saprolito de atenuar elementos foi estimada em ensaios laboratoriais de coluna, com apoio de modelagem geoquímica efetuada com o programa PHREEQC 2.18. Os resultados de análises físico-químicas e químicas de lixiviado efluente e de solo e as modelagens comprovam que o saprolito tem capacidade de reter parte dos elementos químicos maiores e traços, apesar de sua menor concentração de constituintes adsorventes.

Palavras-chave: saprolito, aterro sanitário, ensaios de coluna, PHREEQC.

**Abstract:** Among the sources of contamination of soil and groundwater, the solid waste landfill is one of the most important because of their contaminant load (leachate), with many harmful elements. The surface soil horizons have usually high attenuation capacity, but in the Belo Horizonte landfill the waste was locally placed on saprolite, taken as a lower capacity. The saprolite's ability to attenuate elements was estimated in laboratory column tests, supported by geochemical modeling performed with the program PHREEQC 2.18. The results of the physico-chemical and chemical analysis of effluent leachate and soil and the modelings shows that the saprolite has the ability to retain part of these major and trace chemical elements, despite its low concentration of adsorbents constituents.

Key-words: saprolite, sanitary landfill, column tests, PHREEQC.

1 – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) – Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto /MG – Brasil, CEP: 35400-000 – tel: (31) 8879 4672, email: kenya.goulart@gmail.com, ;

2 – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto /MG – Brasil, CEP: 35400-000 – e-mail: bacellar@degeo.ufop.br

## 1. Introdução

Um dos maiores problemas de aterros de RSU é a infiltração de líquidos lixiviados, que podem contaminar os solos e as águas subterrâneas. Os solos são considerados atenuadores da contaminação da água subterrânea, com alta capacidade de adsorção de elementos químicos. Em saprolitos, a adsorção pode ser pequena, pois seus teores de constituintes adsorventes são menores, porém os elementos podem ser também retidos por precipitação. Apesar de suas limitações, os ensaios de coluna têm sido utilizados para entender melhor o comportamento de aterros, devido à relativa facilidade de montá-los e do maior controle das condições internas e de contorno.

O objeto de estudo é o aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040 (CTRS), localizado na região NW de Belo Horizonte (Figura 1). Parte dos resíduos foi aí disposto diretamente sobre saprolito (horizonte C), sendo o objetivo principal deste estudo estabelecer a capacidade de atenuação de elementos deste horizonte neste aterro. Para melhor compreender os processos químicos que ocorrem no interior da coluna, foram feitas modelagens geoquímicas com o programa Phreeqc 2.18 (Appelo & Postma, 2005).



**Figura 1:** Imagem de satélite da região do aterro sanitário da CTRS – BR040 (Google Earth, 2010).

## 2. Caracterização da Área

O aterro localiza-se no embasamento gnáissico-migmatítico (Complexo Belo Horizonte), no qual predominam gnaisses de tom cinza, com granulação fina a grossa e bandamento composicional definido por alternância de bandas claras quartzo-feldspáticas e escuras, ricas em biotita e/ou anfibólio (Silva *et al.* 1995). O aquífero é livre, constituindo um sistema composto por aquíferos com porosidade intergranular sobreposto a um com porosidade fissural. A condutividade hidráulica do saprolito foi estimada em  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  cm/s (Tecisan, 2005). Em alguns trechos próximos do aterro o aquífero encontra-se contaminado (Tecisan 2005), e alguns elementos estão acima dos limites de potabilidade (MS, 2011), dentre eles  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{STD}$ , Fe e Mn. Alguns elementos-traço aparecem com teores elevados, como o Al, Ba, Pb, Cr e o Hg (Tecisan, 2005).

### 3. Materiais e Métodos

O desenvolvimento do trabalho se deu nas seguintes fases:

- Coleta de amostras representativas de saprolito de gnaiss e de lixiviado de células de resíduos de cerca de 10 anos. Foram medidos *in situ* a temperatura, Eh, pH e condutividade elétrica com multiparâmetro (modelo 6PII da Myron).

- Caracterização do saprolito: análise mineralógica e textural e estrutural; determinação dos parâmetros físicos e químicos (pH, CTC e matéria orgânica) e de elementos maiores e traços via ICP-OES (EPA 3051 A). Caracterização do lixiviado: Determinação da concentração de elementos-traços (ICP-OES), sulfato, cloreto e alcalinidade (Greenberg *et al.*, 1999).

- Ensaios de coluna: Feitos em colunas de vidro em caixas de isopor para isolamento térmico. O solo foi adensado até formar uma camada de espessura de 10 cm com a massa específica de campo. Aplicou-se uma coluna de 50 cm de altura de lixiviado sobre o solo. Realizaram-se 2 ensaios, totalizando 100 dias de monitoramento. Coleta do lixiviado percolado nas colunas em intervalos pré-definidos para caracterização físico-química. Após os ensaios, o solo foi extraído das colunas e dividido em 10 subcamadas, para determinação química via ICP-OES (EPA 3051A).

- Empregou-se o programa PHREEQC 2.18 para o cálculo de especiação e índice de saturação dos resultados de análise química do lixiviado infiltrantes (lixiviado bruto) e percolados obtidos com os ensaios de coluna. Esta modelagem foi feita em quatro estágios: lixiviado bruto, lixiviado efluente na fase inicial (4º Dia), intermediária (40º Dia) e final (100º Dia) dos ensaios.

### 4. Resultados

O saprolito é composto de quartzo, caolinita, muscovita, rutilo e microclina. É ligeiramente ácido (pH = 5,68), CTC e teor de matéria orgânica baixa, com limitada capacidade de adsorver elementos químicos. Possui grandes quantidades de Al, Fe e Mg e o Ba e Pb está um pouco acima dos valores de background (Cetesb, 2005). O lixiviado possui elevados valores de condutividade, STD, Cl<sup>-</sup> e alcalinidade. O pH é básico e o Eh negativo, mostrando um ambiente redutor e alcalino, típico de aterros de RSU em fase metanogênica (Kjeldsen *et al.*, 2002). Os elementos-traço ocorrem em pequena concentração, como usual no ambiente de aterros (Christensen *et al.* 2001).

Devido a presença de oxigênio nos poros do saprolito, nos primeiros 6 dias do ensaio o efluente das colunas foi ácido (pH= 4,0) e oxidante (Eh= 250 mV), no que se denominou fase ácida. Rapidamente as condições do efluente se estabilizaram com valores de pH de 8,5 e Eh de 50 mV. No efluente, os valores dos elementos As, Be, Cd, Li, P, Pb e V ficaram abaixo do LQ do método. Constatou-se que os elementos Al, As, Ba, Ca, Cu, Mn, Ni, S, Sr, Y e Zn foram sensíveis a valores menores de pH, aumentando sua concentração. As análises do solo após os ensaios de coluna

revelaram comportamentos distintos para os elementos químicos. Alguns foram lixiviados do solo (Ba, Cu, Cr, Y e V) e outros retidos, em especial Al, Ca, S, Sr, P, Mg, Mn, K, Na, Ti, Zn, Co e Li.

Calculou-se o índice de saturação do lixiviado bruto e do efluente das colunas. As fases minerais que tendem a se precipitar no lixiviado foram os carbonatos, óxidos, hidróxidos, sulfetos, sulfatos e fosfatos (Tabela 1). A barita ( $BaSO_4$ ) foi uma exceção, pois só tende a se precipitar na fase ácida, enquanto que nas outras fases ocorre o contrário. No lixiviado bruto o sulfeto tende a se precipitar devido ao Eh negativo. Outras fases tendem a se precipitar no lixiviado bruto e nos dois últimos momentos analisados de lixiviado efluente, com dissolução na fase ácida.

Tabela 1: Fases minerais e valores de índice de saturação (SI) do lixiviado novo (bruto e efluente).

Fases	Fórmula
Carbonatos	$BaCO_3$ , $ZnCO_3 \cdot H_2O$ , $SrCO_3$ , $CoCO_3$ , $ZnCO_3$ , $FeCO_3$ , $MnCO_3$ , $CaCO_3 \cdot H_2O$ , $MgCO_3$ , $CaMg_3(CO_3)_4$ , $NaAlCO_3(OH)_2$ , $CaMg(CO_3)_2$ , $CaCO_3$ , $BaCa(CO_3)_2$ , $CaCO_3$ , $BaCa(CO_3)_2$
Sulfatos	$BaSO_4$ , $KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$
Sulfetos	$NiS_2$ , $ZnS$ , $FeS_2$ , $Ni_3S_4$ , $NiS$ , $Co_3S_4$ , $Ni_3S_2$ , $CuS$ , $CoS$ , $CuFeS_2$ , $Cu_2S$ , $CoS_2$ , $Cu_5FeS_4$
Fosfatos	$MnHPO_4$ , $Ca_5(OH)(PO_4)_3$ , $Fe(OH)_3$
Óxidos	$Zn_2TiO_4$ , $ZnCr_2O_4$ , $V_4O_7$ , $V_3O_5$ , $V_2O_4$ , $NiFe_2O_4$ , $TiO_2$ , $FeTiO_3$ , $V_2O_3$ , $MgCr_2O_4$ , $Fe_3O_4$ , $Fe_2O_3$ , $ZnFe_2O_4$ , $MgFe_2O_4$ , $CuFe_2O_4$ , $CaFe_2O_4$ , $Cr_2O_3$ , $CuCr_2O_4$ , $CuFeO_2$ , $AlHO_2$ , $Al_2O_3$ , $FeCr_2O_4$ , $CoFe_2O_4$ , $TiO_2$
Hidróxidos	$Al(OH)_3$ , $NaAlCO_3(OH)_2$ , $AlO_2H$

## 5. Conclusões

O lixiviado encontra-se na fase metanogênica, com elevados pH e STD. Mostra também altos valores de alcalinidade, Cl<sup>-</sup>, Ca, Na, K e Mg e, como relatado na literatura (Kjeldsen *et al.* 2002), baixa concentração de elementos-traço. A modelagem com o programa PHREEQC trouxe informações das possíveis reações de precipitação/dissolução no interior das colunas. O mais provável é que os elementos estejam precipitados na forma de óxidos/hidróxidos, sulfetos, sulfatos, carbonatos e fosfatos. A diminuição inicial do pH favorece a dissolução dos minerais, com exceção da barita ( $BaSO_4$ ) e o potencial redox (Eh) mais negativo favorece a precipitação de sulfetos.

## 6. Referências Bibliográficas

- Appelo C. A. J., Postma D. 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Balkema Publishers, Amsterdam, the Netherlands, 649p.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2005. Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, 4p.
- Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., Jensen D.L., Chris J.B., Baun A., Albrechtsen H., Heron G. 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plume. *Applied geochemistry*, **16**:659-718.
- Greenberg A.E., Clesceri L.S., Eaton A.D. 1992. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 18(ed.), Washington DC, American Public Health Association.
- Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A.P., Baun A., Ledin A., Christensen T.H. 2002. Present and Long Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **32**(4):297 – 336.
- Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- Silva F.A.N. 2001. *Avaliação ambiental preliminar de antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos no município de São Paulo*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 104p.
- Tecisan. 2005. Central de tratamento de resíduos sólidos CTRS BR 040 - Diagnóstico hidrogeológico preliminar para avaliação do potencial de contaminação. Vol. 2, 176p.
- U.S.EPA Environmental Protection Agency U.S. Technical Document: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils, EPA 3051A.