

## **AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE BARREIRAS DE CONTENÇÃO DE LIXIVIADOS ÁCIDOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E DE MINERAÇÃO POR MEIO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA QUANTIFICAÇÃO DA POROSIDADE**

**LUCIMARA BRAGAGNOLO<sup>1\*</sup>, EDUARDO PAVAN KORF<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental da UFFS - *Campus* Erechim; <sup>2</sup> Professor/pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental e Curso de Engenharia Ambiental - UFFS - *Campus* Erechim

\*Autor para correspondência: Lucimara Bragagnolo (lucimarabragagnolo@hotmail.com)

### **1 Introdução**

A lixiviação de resíduos industriais e de mineração usualmente resultam em águas residuárias com pH extremamente ácido. Estes contaminantes podem migrar para o solo ou percolar através de barreiras de fundo em aterros de resíduos sólidos, perturbando a estrutura do solo e modificando a sua condutividade hidráulica. Muitos estudos encontrados na literatura já avaliaram o comportamento de barreiras compactadas quando submetidas à ação dos mais diversos tipos de contaminantes, chegando a conclusões, por exemplo, de que percolação de contaminantes ácidos altera a condutividade hidráulica das barreiras. No entanto, poucos estudos têm explorado os aspectos microestruturais dos materiais componentes das barreiras e suas modificações ao longo do processo de percolação do contaminante, entendendo-se por aspectos microestruturais, principalmente aqueles relacionados com a composição química e mineralógica, a porosidade e distribuição do tamanho dos poros. Não obstante, a literatura também relata diferentes técnicas de caracterização da microestrutura, e de quantificação da porosidade e sua distribuição, sejam por meio de análise de imagens ou de intrusão/absorção de fluidos, todas elas com relatos de limitações e dificuldades, não existindo padronização para avaliação microestrutural.

### **2 Objetivo**

A pesquisa desenvolvida teve por objetivo avaliar o comportamento microestrutural de barreiras de contenção de lixiviados ácidos de resíduos industriais e de mineração, através da análise de diferentes técnicas analíticas de quantificação da porosidade e da distribuição dos

poros. Também objetivou-se avaliar mudanças na composição química e mineralógica nas amostras.

### **3 Metodologia**

O processo metodológico baseou-se na avaliação da composição química e mineralógica dos corpos de prova submetidos a diferentes condições de peso específico (14,5, 15 e 15,5 kN/m<sup>3</sup>), teor de cimento (0, 1 e 2%) e percolação de ácido sulfúrico (0 e 2%). A fim de entender o comportamento microestrutural diante das diferentes condições, as análises foram realizadas com os corpos de prova seccionados em três camadas: Superior, Meio e Inferior.

As técnicas de análise para a avaliação da porosidade das amostras em função das variáveis estudadas foram Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (PIM) e Tomografia de Raios-X Computadorizada ( $\mu$ -CT).

Para analisar a composição química e mineralógica das amostras, as seguintes análises foram realizadas: difração de raios-X (DRX), Espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX), Microscopia Eletrônica de Varredra com o uso de EDS (MEV) e Termogravimetria com análise térmica diferencial (TG/DTG/DSC).

### **4 Resultados e Discussão**

#### **4.1 Avaliação da porosidade**

Comparando a porosidade total das amostras percoladas e quantificadas como porosidade teórica, PIM e  $\mu$ -CT, observou-se incremento na porosidade total das amostras das camadas superiores em relação às demais, sendo isto observado apenas para as amostras percoladas com solução aquosa de 2% de ácido sulfúrico, o que pode representar evidência de ataque ácido à estrutura do solo. Comparando-se os valores nominais de porosidade das amostras, tanto com os valores teóricos e os obtidos por PIM, percebeu-se que ocorreu também uma redução da porosidade total de maneira uniforme em todas as amostras, devido à aplicação da carga vertical estática de compressão e consequentes recalques que podem ter ocorrido durante os ensaios de condutividade hidráulica de longa duração.

Tabela 1 – Comparação da porosidade entre as técnicas

Ensaio	0% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>									2% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>									
	CP1	CP6	CP2	CP3	CP5	CP7	CP4	CP8	Média	CP1	CP6	CP2	CP3	CP5	CP7	CP4	CP8	Média	
P (nominal)	41,9	41,9	43,8	43,8	43,8	43,8	45,7	45,7	...	41,9	41,9	43,8	43,8	43,8	43,8	45,7	45,7	...	
Superior	P (teórica)	35,6	36,8	41,2	37,3	39,4	40,2	39,4	39,2	38,6	38,1	41,1	42,0	40,9	40,4	38,2	40,6	40,7	40,3
	P (μ-CT)	37,4	33,5	37,7	34,8	35,6	32,0	29,4	30,5	33,9	33,0	42,2	39,4	31,6	32,8	36,4	37,3	37,0	36,2
	D50 (μ-CT)	21,7	n.d.	25,9	28,1	25,3	29,5	22,7	21,3	23,4	29,0	25,7	29,3	34,1	31,2	27,0	28,4	28,4	30,2
	P (PIM)	34,1	38,5	42,4	35,8	39,3	38,2	40,8	38,3	38,4	37,6	38,4	42,0	40,6	39,7	39,5	41,3	41,9	40,1
	D50 (PIM)	14,5	17,4	29,7	14,2	20,9	21,0	20,8	19,9	19,8	15,9	19,3	20,6	18,9	17,9	19,3	21,7	20,3	19,2
Meio	P (teórica)	36,7	36,6	39,0	41,2	36,9	41,3	41,1	36,6	38,7	33,1	39,7	36,9	36,4	38,2	37,8	40,1	44,2	38,3
	P (μ-CT)	36,7	33,6	34,4	29,2	42,6	27,1	32,2	38,4	34,3	27,7	28,2	34,2	34,5	33,3	32,6	34,6	25,6	31,3
	D50 (μ-CT)	18,0	17,1	26,7	31,5	24,2	32,4	21,4	22,3	24,2	31,1	32,0	29,2	29,1	28,7	30,6	27,5	38,6	30,8
	P (PIM)	35,6	36,6	37,8	42,8	38,6	39,6	40,4	38,6	38,8	36,1	39	37,6	36,4	38,4	39,2	37,9	41,7	38,3
	D50 (PIM)	15,2	16,1	18,5	36,5	16,5	23,0	18,1	18,0	20,2	15,4	34,1	16,6	16,2	17,2	20,6	19,1	22,3	20,2
Inferior	P (teórica)	38,9	37,4	38,1	38,1	37,6	39,4	39,4	42,6	38,9	41,3	33,9	37,3	41,6	42,4	35,2	35,2	40,4	38,4
	P (μ-CT)	31,8	32,6	30,4	40,3	45,6	44,0	27,7	31,8	35,5	34,6	38,0	27,8	28,1	35,4	31,1	31,4	26,2	31,6
	D50 (μ-CT)	17,4	17,1	30,8	24,6	23,2	23,8	25,9	21,9	23,1	26,5	25,3	34,3	35,1	27,4	30,7	28,3	37,5	29,6
	P (PIM)	38,7	38,2	41,1	36,7	36,6	37,3	35,9	40,9	38,2	39,9	36,0	35,5	38,3	30,7	38,4	36,4	45,2	37,6
	D50 (PIM)	18,1	17,0	21,0	16,7	16,0	18,0	nd	30,8	19,7	18,3	20,4	16,8	23,0	16,9	24,5	15,4	24,3	20,0

#### 4.2 Avaliação química e mineralógica

A partir da análise por FRX, verificou-se que os principais compostos que sofreram alterações em suas concentrações através da variação de peso específico, teor de cimento e adição ou não de contaminante foram: óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de cálcio (CaO) e óxido sulfúrico (SO<sub>3</sub>). Em relação ao Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, foi possível perceber que houve a ocorrência de ataque ácido sobre o composto devido à diminuição dos teores deste após a percolação. No que se refere ao CaO, verificou-se que a adição do cimento ao solo foi o fator que resultou no aumento das concentrações desse composto, uma vez que o cimento é rico em óxido de cálcio. Referente ao SO<sub>3</sub>, notou-se que a percolação do contaminante resultou no surgimento desse composto, possivelmente resultado de alguma reação com o CaO, uma vez que as concentrações de SO<sub>3</sub> são mais altas quando os teores de cimento também são (Figura 1).

Os diferentes corpos de prova avaliados por DRX não resultaram em modificações em sua composição mineralógica.

Os resultados obtidos pela análise de Microscopia Eletrônica de Varredura não demonstram diferenças significativas entre as amostras percoladas por ácido sulfúrico e não percoladas. Porém, verificou-se a ocorrência de deposição de pequenas partículas no interior dos vazios da amostra percolada por contaminante, possivelmente provenientes do ataque ácido sobre a

amostra, resultando na redução de microporos.

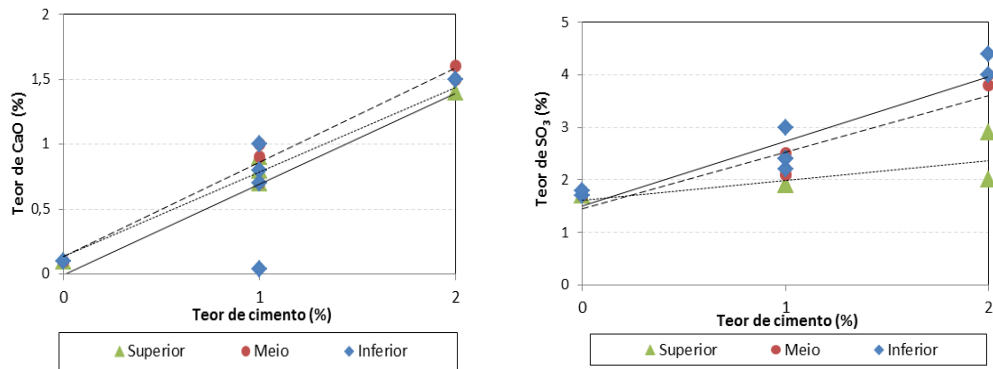


Figura 1 – Teores de CaO e SO<sub>3</sub> com 2% de ácido sulfúrico

Por meio da técnica de TG/DTG/DSC e em comparação com as amostras percoladas por ácido sulfúrico e não percoladas, percebeu-se que as amostras percoladas por contaminante reduzem o evento endotérmico relacionado ao Ca (CaCO<sub>3</sub>), possivelmente demonstrando que ocorre reação entre o Ca e outros compostos ácidos ou que há dissolução de Ca provocada pelo ataque ácido. Verificou-se, também, que para a amostra percolada por contaminante, a perda de massa revelou-se mais acentuada no evento caracterizado pela desidratação de água dos poros, o que está relacionado com o aumento da porosidade devido ao ataque ácido e lixiviação de partículas, permitindo maior acúmulo de água nos vazios e consequente perda de massa em decorrência da desidratação de água.

## 5 Conclusão

Através das análises realizadas, foi possível perceber que os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO e SO<sub>3</sub> sofreram alterações nas camadas analisadas após a percolação de ácido sulfúrico. Ainda, não se observou modificações na composição mineralógica do solo estudado. Contudo, partículas no interior dos vazios foram detectadas, possivelmente em decorrência do ataque ácido.

Quando à porosidade, verificou-se o aumento desta nas camadas superiores dos corpos de prova que foram submetidos à percolação de ácido sulfúrico, indicando a ocorrência de ataque ácido.

**Palavras-chave:** Ataque ácido; Composição química e mineralógica; Cimento.

## Fonte de Financiamento

PROBITI - FAPERGS