



APLICAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS GEOTÉCNICOS EM BARREIRAS DE CONTENÇÃO DE LIXIVIADOS ÁCIDOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E DE MINERAÇÃO

LUCIMARA BRAGAGNOLO^{1,2}, SUÉLLEN TONATTO FERRAZZO^{2,3}, RAFAEL DE SOUZA TÍMBOLA⁴, PEDRO DOMINGOS MARQUES PRIETTO⁵, EDUARDO PAVAN KORF^{2,6}

1 Introdução

A exposição de materiais geotécnicos à lixiviados ácidos pode afetar sua estrutura e comprometer sua funcionalidade. Por conta disso, torna-se importante compreender o comportamento de geomateriais quando expostos à ambientes agressivos, como o contato com soluções ácidas, orgânicas ou de sulfatos (VERÁSTEGUI-FLORES; DI EMIDIO, 2014).

Dentre os principais geomateriais disponíveis para utilização em sistemas de revestimento de aterros, destacam-se: solos residuais argilosos, areias, caulim e bentonita. Estes materiais são relativamente abundantes na região de estudo e apresentam boas propriedades hidráulicas e geotécnicas quando compactados, com exceção da areia, que, para a aplicação pretendida, somente pode ser utilizada em misturas com materiais argilosos.

Na literatura, encontram-se muitos estudos relacionados às alterações físico-químicas e de comportamento hidráulico de variadas misturas de materiais geotécnicos quando expostos à ação dos mais diversos tipos de contaminantes. Entretanto, ainda existem questões a serem resolvidas, especialmente relacionadas as alterações resultantes do ataque ácido nas propriedades das partículas destes materiais, em seu estado puro.

2 Objetivo

Avaliar as alterações das propriedades químicas e mineralógicas das partículas de Areia Fina Quartzona Uniforme (AFO), Solo Residual de Basalto (SRB), Caulim (CAU) e

1Acadêmica de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim, Bolsista [] contato: lucimarabragagnolo@hotmail.com.

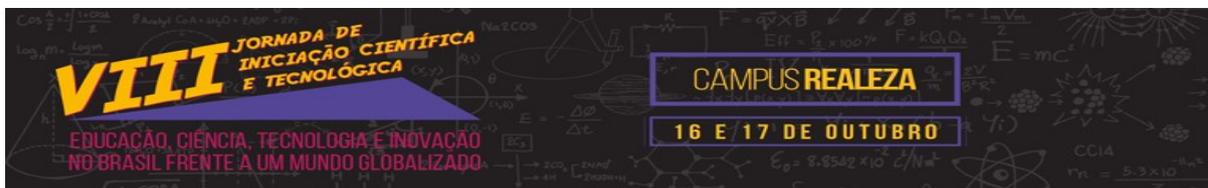
2Grupo de Pesquisa em Resíduos, Geotecnia Ambiental e Poluição Atmosférica

3Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim.

4Doutorando em Engenharia pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGEng), Universidade de Passo Fundo.

5Doutor em Engenharia Civil. Professor dos cursos de Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental, e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia (Mestrado), Universidade de Passo Fundo.

6Doutor em Engenharia Civil. Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) e curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal da Fronteira Sul, **Orientador**.



Bentonita (BEN), expostos a ácido sulfúrico.

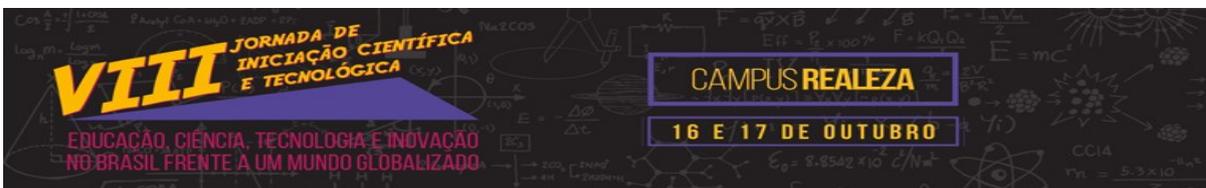
3 Material e Métodos

O procedimento metodológico adotado está esquematizado na Figura 1. As amostras foram preparadas conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016). Já o ataque ácido aos materiais foi realizado mediante ensaios de bancada adaptados da Norma D4646 – 03 (ASTM, 2008). Estudou-se o ataque ácido das concentrações de ácido sulfúrico (98%) em solução de 0,00 mol/L, 0,01 mol/L (pH 2) e 1,00 mol/L (pH 0) aplicados para cada um dos materiais: AFO, SRB, CAU e BEN, totalizando 12 experimentos. Posteriormente, realizou-se análises químicas (FRX), mineralógicas (DRX) e de termogravimetria (TG).

4 Resultados e Discussão

As análises FRX e DRX revelaram a presença de quartzo como argilomineral de origem da AFO, corroborada pelo alto teor de SiO_2 (94%), e de caulinita no SRB, CAU e BEN, confirmada pelo teor de alumínio de 24,2%, 35,8% e 31,4%, respectivamente. No SRB identificou-se a presença de hematita (teor de Fe_2O_3 de 10,7%) e de quartzo, também identificado no CAU e na BEN. Com exceção da AFO, nos demais geomateriais observou-se um considerável aumento do teor de SO_3 , confirmado pela formação de *alunogen* ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$) nas amostras expostas à solução ácida 1,00 mol/L. As amostras dos geomateriais submetidas ácido apresentaram perdas significativas dos principais óxidos constituintes, porém, de forma menos expressiva na AFO.

A análise de DRX para as amostras de SRB permitiu identificar que os picos mais intensos correspondem ao quartzo (SiO_2), além de caulinita, hematita e anatásio. Na amostra submetida ao ataque de extremo ácido, identificou-se a presença de microclínio (KAlSi_3O_8), *alunogen*, coquimbite ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(9\text{H}_2\text{O})$) e pirofilita ($(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Al}_2(\text{OH})_2$) e ausência de hematita (Fe_2O_3) e anatásio (TiO_2). Acredita-se que a perda dos referidos minerais no SRB 1,00 mol/L (pH 0) ocorreu devido ao ataque ácido ter provocado a perda mais expressiva de Fe_2O_3 e TiO_2 . Já os dados da análise de DRX para as amostras de CAU comprovam a pouca mudança na composição do caulim perante o ataque ácido, em comparação aos demais materiais analisados. As amostras do geomaterial, expostas ao ácido sulfúrico, sofreram alterações significativas no teor de óxidos, mas permaneceram com os principais minerais constituintes, possivelmente em função do CAU apresentar composição majoritária de silicatos, cuja faixa



de pH de dissolução não compreende os valores deste estudo, pois um grande número desta classe de minerais sofre dissolução no intervalo de pH 5 a 12, a 25°C (BRADY; WALTHER, 1989). Já na amostra CAU 1,00 mol/L verificou-se também, a presença de *alunogen*.

A análise DRX para as amostras de BEN demonstrou que no geomaterial submetido ao ataque ácido detectou-se a formação de montmorillonita ($\text{MgNaAl}_5(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_6$), para BEN 0,01 mol/L e *alunogen*, para BEN 1,00 mol/L, bem como a perda de calcita (CaCO_3) e hidrobiotita ($\text{KMgAlSi}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) em ambas amostras. Acredita-se que o ataque ácido tenha provocado a dissolução da calcita, nas amostras de BEN 0,01 mol/L e BEN 1,00 mol/L, devido as soluções contaminantes apresentarem baixos valores de pH (2 e 0, respectivamente), uma vez que, a dissolução deste mineral, por transferência de massa, foi relatada em regiões de pH abaixo de 4, a temperatura ambiente (MORSE; ARVIDSON, 2002).

A Tabela 1 apresenta a perda total de massa observada a partir da análise TG/DSC com referência às amostras submetidas a 0,00 mol/L de H_2SO_4 e 1,00 mol/L de H_2SO_4 . Para a AFO, a maior parcela da redução ocorreu até a temperatura de 220 °C, e variou em torno de 2% até o final da análise. Esta evidência confirma que a exposição ao ácido sulfúrico a 1,00 mol/L modifica a resistência do quartzo no que se refere à desidratação de água adsorvida, também relacionada com a formação do mineral hidratado, gibbsita, que pode ter contribuído para a perda de massa da AFO 1,00 mol/L. Para o SRB, a perda observada (49,55%) deu-se, possivelmente, em decorrência do ataque ácido ter provocado a formação de minerais hidratados e sulfatos, como a pirofilita, a coquimbita e o *alunogen*, identificados nesta amostra pela técnica de DRX. Com relação ao CAU e BEN, um dos fatores que podem ter contribuído para maior perda de massa refere-se à formação do *alunogen*, que possui, em sua estrutura, quantidade considerável de água.

5 Conclusão

Este estudo descreveu as alterações nas propriedades químicas e mineralógicas das partículas da areia fina de Osório, solo residual de basalto, caulim e bentonita após a exposição de diferentes concentrações de ácido sulfúrico (0,01 mol/L e 1,00 mol/L). De modo geral, o ataque ácido provocou alterações químicas e mineralógicas nas partículas, da maior à menor variação: no solo residual de basalto, bentonita, caulim e areia.

Considerando que, para aplicações em obras geotécnicas e geoambientais, os geomateriais devem apresentar dentre outras características, baixa reatividade química,

capacidade de troca de cátions, mineralogia consistente e uniforme, as evidências descritas neste estudo apontam que o contato dos materiais geotécnicos com o ácido sulfúrico, ao longo do tempo, podem impactar negativamente suas estruturas, resultando na alteração da capacidade de retenção de contaminantes.



Figura 1. Esquematização do procedimento metodológico adotado.

Tabela 1. Perda de massa observada através da análise TG/DSC com relação às amostras submetidas a 0,00 mol/L de H₂SO₄ e 1,00 mol/L de H₂SO₄.

Material	AFO	SRB	CAU	BEN
Perda de massa	15,06%	49,55%	29,63%	30,47%

Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. **NBR 6457**, p. 1–9, 2016.
- ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D4646-03: Standard Test Method for 24-h Batch-Type Measurement of Contaminant Sorption by. **ASTM**, p. 4, 2008.
- BRADY, P. V.; WALTHER, J. V. Controls on silicate dissolution rates in neutral and basic pH solutions at 25°C. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 53, n. 11, p. 2823–2830, 1989.
- MORSE, J. W.; ARVIDSON, R. S. The dissolution kinetics of major sedimentary carbonate minerals. **Earth-Science Reviews**, v. 58, p. 51–84, 2002.
- VERÁSTEGUI-FLORES, R. D.; DI EMIDIO, G. Impact of sulfate attack on mechanical properties and hydraulic conductivity of a cement-admixed clay. **Applied Clay Science**, v. 101, p. 490–496, 2014.

Palavras-chave: solos; ácido sulfúrico; composição química; mineralogia.

Financiamento: PROBITI - FAPERGS.