# CARACTERIZAÇÃO DE ROCHA COM ZEÓLITA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE ATERRO SANITÁRIO

Fernanda Lacerda Fialho[1], Davi Marcos Valduga
Rubens Müller Kautzmann (orientador)
Universidade La Salle
Bolsista CAPES/PROSUC modalidade integral[1]

**RESUMO**
Os aterros sanitários, embora sejam considerados uma solução segura para a destinação dos resíduos sólidos, geram duas principais fontes de poluição o gás de aterro e o lixiviado (chorume), os quais devem ser drenados, coletados e tratados. Os lixiviados devem passar por um tratamento antes de serem descartados, pois possuem quatro grupos de poluentes: material orgânico dissolvido, macro componentes inorgânicos, metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos. O objetivo deste projeto será a caracterização mineral de amostras de agregado de horizontes de rochas vulcânicas amigdaloides preenchidas com zeólitas coletadas em saibreira no município de Picada Café, Rio Grande do Sul, visando a utilização deste material para o tratamento de efluente. A metodologia consistirá nas etapas de preparação da amostra, ativação com ácido clorídrico e cloreto de sódio a 1M, caracterização física, química e mineralógica, ensaio adsorção de nitrogênio amoniacal e compostos metálicos, a partir de soluções sintéticas e ensaios de tratamento em efluentes de lixiviado de aterro sanitário. Os resultados preliminares apontam a existência de dois minerais de zeólita predominante: a Estilbita e a Laumontita.

**Palavras-chave**: *Caracterização Mineral, tratamento de efluentes, rocha com zeólita.*

**Área Temática**: Engenharia e Computação.

## 1 INTRODUÇÃO - PROPÓSITO CENTRAL DO TRABALHO

A ocorrência de horizontes de rochas vulcânicas amigdaloide preenchidas com zeólitas se encontram disponíveis nas regiões Metropolitana de Porto Alegre, Litoral Norte e Serra Gaúcha em pedreiras e saibreiras. Em pedreiras para produção de brita a ocorrência de zeólitas na rocha é considerada um contaminante, que implica na menor qualidade do agregado produzido para o uso na construção civil ou a destinação como rejeito ou material de aterro para tal porção de rocha. Este projeto de pesquisa tem por objetivo caracterizar este material quanto aos aspectos físicos, químicos e mineralógicos para avaliar as propriedades adsorventes da fração zeólita com vista ao uso deste material para o tratamento de efluentes.

## 2 REVISÃO

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016) a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em 2016 foi de aproximadamente 78,3 milhões de toneladas. Entretanto o montante coletado foi de 71,3 milhões de toneladas, evidenciando que 7 milhões de toneladas de resíduos não

foram objeto de coleta, e consequentemente, tiveram destino impróprio. Referente à disposição final cerca de 41,7 milhões de toneladas de RSU, ou 58,4% do coletado, seguiram para aterro sanitário, que se constituem como unidades adequadas. Enquanto que, cerca de 29,7 milhões de toneladas de resíduos foram enviados para destinação inadequada disposta em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessárias para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

De acordo a ABNT NBR 8419 o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é definido como a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível.

Dentro da realidade brasileira a opção pelos aterros sanitários deve-se ao fato de ser a forma de disposição mais viável, tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista econômico (LOPES, 2011). Essa disposição gera duas principais fontes de poluição o gás de aterro e o lixiviado, os quais devem ser drenados, coletados, conduzidos e tratados de forma adequada, para não contaminar o ar, solo, água subterrâneas e superficiais.

O lixiviado de aterro sanitário é um líquido escuro de odor desagradável originado do processo de decomposição predominantemente anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos (BIDONE & POVINELLI, 1999). Com a percolação da água da chuva e pela própria umidade contida nos resíduos resulta em um líquido que apresenta em sua composição quatro grupos de poluentes: material orgânico dissolvido (ácidos graxos voláteis e compostos orgânicos mais refratários como ácidos húmicos e fúlvicos), macro componentes inorgânicos ($Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^{+}$, $K^{+}$, $NH^{4+}$, $Fe^{2+}$, $Mn^{2+}$, $Cl^{-}$, $SO_4^{2-}$, $HCO_3^{-}$), metais pesados ($Cd^{2+}$, $Cr^{3+}$, $Cu^{2+}$, $Pb^{2+}$, $Ni^{2+}$, $Zn^{2+}$) e compostos orgânicos xenobióticos e químicos presentes em baixas concentrações (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, pesticidas etc.) (CHRISTENSEN et al., 2001 apud KJELDSEN et al., 2002).

O lixiviado apresenta um alto potencial poluidor e quando é descartado sem tratamento prévio pode causar danos irreversíveis ao meio ambiente e trazer problemas à saúde da população. Assim, é de fundamental importância o estudo de técnicas que reduzam a sua geração e o seu tratamento adequado (ORLANDO, 2014). A escolha do processo de tratamento deve levar em consideração as características do líquido, as quais podem variar tanto espacialmente quanto ao longo do tempo, devendo-se avaliar também, aspectos legais e tecnologias disponíveis (QUEIROZ, et al. 2011).

Zeólita é um termo de origem grega "*zeo*" (ferver) e "*lithos*" (pedra) que significa "pedras que fervem" introduzidos em 1756 pelo mineralogista sueco Axel Fredrick Cronstedt para designar certos grupos minerais naturais devido a sua característica de eliminação de vapor de água dentro dos poros dos materiais (COOMBS et al., 1998).

As zeólitas são aluminosilicatos cristalinos hidratados geralmente contendo metais alcalinos e alcalinos terrosos (principalmente Na, K, Mg e Ca) como compensadores de carga. Estruturalmente, possuem um arranjo tridimensional de tetraedos do tipo $TO_4$ (T = Si, Al, Ga, Ge, Fe, B, P, Ti) ligados entre si através dos átomos de oxigênio (DEER et al., 1966; LUZ, 1995).

A fórmula estrutural das zeólitas, é baseada na célula unitária cristalográfica e pode ser representada como $M_{x/n}$ $[(AlO_2)_x$ $(SiO_2)_y].m(H_2O)$, onde M é o cátion

intercambiável, n é a valência do cátion, m é o número de moléculas de água por célula unitária, x+y é o número de tetraedros por célula unitária (BEKKUM et al., 1991).

A estrutura das zeólitas apresenta canais e cavidades de dimensões moleculares, nas quais podem ser encontrados íons de compensação, moléculas de água ou outros adsorvatos e sais. Os canais e cavidades conferem às zeólitas uma estrutura microporosa, a qual permitem que estes materiais tenham uma superfície interna maior do que quando comparada à externa. A transferência de matéria nos espaços intracristalinos da estrutura das zeólitas é limitada pelo diâmetro dos poros existentes na estrutura zeolítica. A abertura dos poros varia de 3 a 10 Å conforme o tipo de estrutura. (LUZ, 1995). Cabe ressaltar que normalmente são classificadas em relação ao tamanho de seus poros que podem variar de pequeno (3 a 5 Å), médio (5 a 6 Å), grande (6 a 9 Å), e extragrande (>9 Å), pois dependem do número de átomos de oxigênio presente na abertura do poro (GIANETO et al., 1990).

As principais propriedades das zeólitas são: alto grau de hidratação; baixa densidade e grande volume de espaços vazios quando desidratadas; estabilidade da estrutura cristalina, mesmo quando desidratada; propriedades de troca catiônica; canais de dimensões uniformes nos cristais desidratados; condutividade elétrica; propriedades catalíticas; adsorção seletiva de gases e vapores (FIGUEIREDO & RIBEIRO, 1987).

As zeólitas constituem uma classe de adsorventes de grande interesse econômico e social, principalmente no que se refere a remoção de cátions de metais potencialmente tóxicos em efluentes devido a sua alta seletividade de troca, boa resistência física e química (BOSCO et al., 2004). De forma geral, observa-se que os metais pesados podem ser imobilizados pelas zeólitas através de adsorção e troca iônica (JENNE, 1998).

A adsorção se caracteriza como um fenômeno físico-químico, no qual as espécies químicas presentes em uma fase fluída interagem com a superfície de um sólido ou líquido promovendo a retenção, e consequente concentração das espécies fluídas a fase adsorvente (MARON & PRUTTON, 1951).

A troca iônica ocorre quando a reação entre o soluto e a matriz do adsorvente de uma ou mais espécies iônicas é acompanhada pela simultânea dessorção de uma quantidade equivalente de espécies iônicas (NETTO, 2011).

No Brasil a ocorrência de zeólitas em rochas sedimentares localiza-se na Formação Corda na Bacia do Parnaíba (MA/TO). Rezende & Angélica (1997) destacam a ocorrência de analcima na Formação de Adamantina na Bacia do Paraná (SP) e heulandita na Formação Botucatu na Bacia do Paraná (MS), além de outras nas formações Uberaba, Macau, Potiguar. Destacam-se, ainda, as zeólitas associadas a basaltos (MURATA et al., 1987) e dacitos amigdaloides (JANASI et al., 2007) na Formação Serra Geral na Bacia do Paraná.

A formação de zeólitas no Rio Grande do Sul deve-se aos fenômenos geológicos que ocorreram nos derrames de lavras vulcânicas sobre os sedimentos arenosos preexistentes. As paragêneses mais encontradas nesta região são: escolecita, laumontita e heulandita, juntamente com as demais fases de alumínio silicatos, dos diferentes padrões de derrames. Na região metropolitana de Porto Alegre é mencionado escolecita, heulandita, estilbita e chabazita, além de calcedônia e celadonita em duas saibreiras (DRESCH, 2010). A ocorrência de zeólitas nas rochas vulcânicas do RS é distribuída em quatro Blocos: Bloco Litoral Norte, que conta-se com a exposição de cortes

extensos em lavras para saibro e brita entre Santo Antônio da Patrulha e Maquiné, Rodovia BR 290, BR 101, RS 30 e Rodovia do Sol. A paragênese mais comum observada no bloco constitui-se em laumontita, escolecita e heulandita, com minerais da família da sílica e calcita muito subordinados; Bloco Região Metropolitana de Porto Alegre, o bloco é definido pelos contatos dos lobos do Fáceis Gramado com os arenitos Botucatu na região de Novo Hamburgo, Morro Reuter, Picada Café e na parte N do município de Taquara, entre outros locais. As paragêneses constatadas incluem escolecita, laumontita e heulandita, bem como minerais da família da sílica e argilominerais.; Bloco Central, é definido na porção central do estado com perfil entre as rochas do Grupo Rosário do Sul e derrames ácidos do Fáceis Caxias. A paragênese inclui estilbita, heulandita, escolecita, calcita e mordenita, além de argilominerais e calcedônia em pequena proporção; Bloco Fronteira Oeste, é o bloco da Formação Serra Geral Fáceis Alegrete e destacam-se as brechas de topo dos derrames 'a'a *Catalán* (heulandita, calcita, hialita e argilominerais, com estilbita e estelerita subordinadas) e *Cordilleira*, do tipo *pahoehe* (heulandita, escolecita e calcita) (BERGMANN et al., 2013).

## 3 METODOLOGIA

As amostras de agregado têm procedência de horizontes de rocha vulcânica amigdaloide, preenchidas com zeólitas, coletadas em saibreira no município de Picada Café, Rio Grande do Sul. As etapas de pesquisa previstas serão realizadas nos laboratórios: Laboratório de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Nanotecnológico e no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade La Salle, Nova Santa Rita, Laboratório de Processamento Mineral da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre e no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais da Universidade Unisinos, São Leopoldo, e compreendem a preparação da amostra, a caracterização física, química e mineralógica, ensaio adsorção de nitrogênio amoniacal e compostos metálicos tóxicos, a partir de soluções sintéticas e ensaios de tratamento em efluentes de lixiviado de aterro sanitário a ser elegido.

### 3.1 Preparação da amostra

As amostras que estão sendo estudadas compreendem uma amostra composta de saibro e uma amostra de zeólitas ambas coletadas em saibreira no município de Picada Café.

A amostra de saibro foi composta pelas diferentes tipologias de ocorrência macroscópicas identificadas em plano e profundidade na cava da saibreira. Estas amostras foram britadas, em britador de mandíbulas Titan - RexFort no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade La Salle e após homogeneizadas.

A amostra de zeólita pura foi coletada no local em ocorrências preenchendo falhamentos do corpo vulcânico.

Para a caracterização física alíquota total foi moída em moinhos de bolas construído no Laboratório de Solos sob base rolante da marca Quimis, modelo Q298-2, série 11021742, visando a produção de material na faixa granulométrica entre 0,150 mm e 0,074 mm (peneiras 100# e 200#).

O material rochoso/saibroso após britado foi submetido a classificação granulométrica por peneiramento no equipamento Agitador de Peneiras para Análises

Granulométrica Eletromagnético MAQ nº 2456 série 02.06 com base na Norma Brasileira NBR-7181. As peneiras utilizadas compreenderam a faixa granulométrica de 0,500 mm a 0,074 mm, sendo que as amostras retidas nas peneiras de 0,150 mm e 0,074 mm foram selecionadas a fim de dar continuidade nesta pesquisa.

As amostras de saibro receberam a nomenclatura de SWSZ e as amostras de zeólitas puras de SWZ devido a ideia de realização de ativação da zeólita visando melhorar a condição de adsorção. As amostras foram ativadas com solução de cloreto de sódio 1M e ácido clorídrico 1M. Para ativação foram transferidos 40g de cada amostra para frascos de vidros e adicionadas a cada 400 ml da solução. Os frascos foram agitados em equipamento Jar Test Nova Ética, modelo 218 – 6, série 26033/11 na rotação de 70 RPM no período de 24 horas. Transcorrido o período de agitação, utilizou-se uma peneira de 0,053 mm para o procedimento de lavagem com água destilada e a amostra foi colocada na estufa a 100ºC por 2 horas.

3.2 Caracterização física

A caracterização física será realizada através da análise de superfície específica e porosidade através BET no equipamento da marca Micromeritics, modelo TriStar II Plus, a densidade pela técnica de picnometria e a análise granulométrica a laser utilizando o equipamento Microtac, modelo S3500 no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais da Universidade Unisinos.

3.3 Caracterização química

A caracterização química será avaliada através dos seus elementos majoritários por espectrometria de fluorecência de raios – X (FRX) da marca Shimadzu, modelo EDS 720 e elementos totais por espectrometria plasma indutivamente acoplado (ICP) no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais da Universidade Unisinos.

3.4 Caracterização mineralógica

Para a caracterização mineralógica será utilizada a técnica da difração de raios X (DRX) será realizada em um difratômetro de raios X da marca Siemens (BRUKER AXS), modelo D-5000 (θ-θ) equipado com monocromador curvado de grafite no feixe secundário e tubo de ânodo fixo de Cu, operando a 40 kV e 40 mA no Laboratório de Processamento Mineral da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3.5 Ensaio de adsorção de nitrogênio amoniacal e compostos metálicos tóxicos

Os ensaios de carregamentos para análise da adsorção de nitrogênio amoniacal e compostos metálicos tóxicos serão realizados a partir de soluções sintéticas preparadas no Laboratório de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Nanotecnológico da Universidade La Salle. Os resultados serão obtidos a partir das concentrações iniciais e finais dos ensaios através da leitura em espectrofotometria de luz visível no equipamento Spectrophotometer SP 1105, modelo 85-264VAC no comprimento de onda de 640 nm.

3.6 Ensaio de tratamento em efluente de lixiviado de aterro sanitário

O ensaio de tratamento de efluente será através de experimento em coluna de leito fixo realizado através de uma coluna de vidro, a qual será preenchida com o material

zeolítico. A coluna será alimentada sentido ascendente e bombeado por uma bomba peristáltica.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa está em sua etapa inicial, com alguns resultados preliminares que irão nortear o avanço dos trabalhos. Até o momento, os resultados da pesquisa reportam a análises químicas mineralógicas e das características físicas de superfície específica e porosidade.

O estudo mineralógico concentrou-se em identificar os minerais de zeólita presentes no horizonte estudado. Observando as amostras coletadas em campo identificou-se dois hábitos minerais distintos, um de cristalização radial e outro de cristalização acícula. Amostra de cada um dos hábitos minerais foi analisada por Difração de Raio X. Os resultados indicaram a existência de dois minerais de zeólita predominantes: a Estilbita e a Laumontita. O próximo passo é a pesquisa em base bibliográfica das respectivas zeólitas visando estudos que abordem suas propriedades físicas e adsorventes. Sabe-se que não são zeólitas de uso comercial corrente.

A análise química da matriz de zeólitas pura mostra a predominância do silício sobre o alumínio e outros elementos através da análise por Fluorescência de Raio X (FRX): 53,1% de $SiO_2$ e 22,2% de $Al_2O_3$, 12,2% de CaO, 0,21% de $Fe_2O_3$, 0,33% de $K_2O$ e 0,18% de $Na_2O$ e perda ao fogo de 12,59%. Análise química por ICP não detectaram elementos tóxicos na matriz mineral como As, Cd, Hg e Pb.

Visando investigar as propriedades adsorventes das amostras através das características de superfície específica e porosidade dos materiais a faixa granulométrica entre as peneiras de 100# e 200# de amostras de saibro e zeólita foi escolhida. Sabe-se que a capacidade de adsorção aumenta com o decréscimo no tamanho da partícula, ou seja, com o aumento da superfície específica de contato com a solução-adsorvente (FIALHO et al., 2018). Além das amostras naturais, foram preparadas amostras condicionadas em ácido clorídrico e cloreto de sódio a 1M.

A área superficial específica dos materiais obtida pelo método BET é apresentado na tabela 1. Conforme pode ser observado a área superficial da zeólita teve um aumento de 268,87% e a amostra de saibro teve um aumento de 43,70% através do tratamento com ácido clorídrico a 1M. Enquanto que os tratamentos com cloreto de sódio a 1M apresentaram uma diminuição na área específica de 34,49% e 22,35% para a amostra de zeólita e saibro, respectivamente.

Tabela 1 – Área superficial específica das amostras de zeólita (SWZ) e saibro (SWSZ)

| Amostra | Área Superficial ($m^2/g$) |
|---|---|
| SWZ | 1.2904 ± 0,0035 |
| SWZ HCl | 4.7596 ± 0.0152 |
| SWZ NaCl | 0.8453 ± 0.0020 |
| SWSZ | 13.9358 ± 0.0355 |
| SWSZ HCl | 20.0258 ± 0.0546 |
| SWSZ NaCl | 10.8207 ± 0.0208 |

**REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Análise Granulométrica.** Rio de janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419:Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 1992.

BEKKUM, Herman Van; FLANIGEN, E. M; JANSEN, J. C. **Introduction to zeolite science and practice**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991.

BERGMANN, Magda; SILVEIRA, Carlos Augusto Posser; BANDEIRA, Rodrigo; BAMBERG, Adilson; MARTINAZZO, Rosane; GRECCO, Matheus. Basalto Amigdalóide à Zeolitas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná: Potencial para Uso Agronômico. In: II Congresso Brasileiro de Rochagem, Poços de Caldas, **Anais**...2013, p. 168-180.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos básicos de Resíduos Sólidos.** 1. ed. São Carlos, SP: EESC/USP, 1999.

BOSCO, S. M. Dal; JIMENEZ, R. S; CARVALHO, W. A. Aplicação da zeólita natural escolecita na remoção de metais pesados de efluentes industriais: competição entre cations e processo de dessorção. **Eclética Química**, São Paulo, SP, v. 29, n. 1, p. 47-56, 2004.

CHRISTENSEN, Thomas H.; KJELDSEN, Peter; BJERG, Poul L; JENSEN, Dorthe L; CHRISTENSEN, Jette B; BAUN, Anders; ALBRECHTSEN, Hans-Jorgen; HERON, Gorm. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, v.16, p. 659-718, jun. 2001.

COOMBS, D. S.; Alberti, A.; Armbruster, T.; Artioli, G.; Colella, C.; Galli, E.; Grice, J. D.; Liebau, F.; Mandarino, J. A.; MInato, H.; Nickel, E. H.; Passaglia, E.; Peacor, D. R.; Quartieri, S.; RInaldi, R.; Ross, M. I.; Sheppard, R. A.; Tillmanns, E.; Vezzalini, G. Recommended nomenclature for zeolite minerals; Report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. **Canadian Mineralogist**, v. 35, p. 1571-1606, 1997.

DEER, W.A.; HOWIE; R.A.; ZUSSMAN, Y. **Minerais constituintes das rochas**: Uma introdução.1. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

DRESCH, Isabel Cristina da Cruz. **Caracterização das propriedades macroscópicas de zeolitas na região entre os municípios de Picada Café e Morro Reuter – RS**.

2010. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

FIALHO, Fernanda Lacerda; VALDUGA, Davi Marcos; MÜCKE, Joana de Souza; KAUTZMANN, Rubens Müller. Determinação da adsorção de nitrogênio amoniacal em agregado de rocha contendo zeólita, uma ideia ao polimento de efluente. SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTA, 14, 2018, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...**ABES, 2018.

FIGUEIREDO, J.L.; Ribeiro, Fernando Ramôa. **Catálise Heterogênea**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987.

GIANETO, P.G; MONTER, R.A; RODRÍGUEZ, I.G. **Zeolitas: Características, Propiedades y Aplicaciones Industriales**. 2ª ed. Caracas, Venezuela: Innovación Tecnológica; 1990. p. 22-25.

JANASI, Valdecir de Assis; NEGRI, Francisco de Assis; MONTANHEIRO, Tarcísio José; FREITAS, Vivian Azor de; ROCHA, Brenda Chung da; REIS, Pedro Morais 2007. Geoquímica do magmatismo basáltico eocretácico na região de Piraju-Ourinhos, SE do Brasil, e implicações para a estratigrafia da Formação Serra Geral. **Revista Brasileira de Geociências.** v. 37. n.1. p.148-162, 2007.

JENNE, Everett A. Adsorption models. In: JENNE, Everett A (ed.). **Adsorption of metals by geomedia: variables, mechanism and model applications**. San Diego: Academic Press, 1998. p.11-36.

KJELDSEN Peter; BARLAZ, Morton A.; ROOKER, Alix P.; BAUN, Anders; LEDIN, Anna; CHRISTENSEN, Thomas H. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.32, p.297-336, 2002.

LOPES, D.D. **Tratamento biológico de lixiviado com remoção de nitrogênio: sistemas de lodos ativados.** In: GOMES, Luciana Paulo (coord). Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras. PROSAB ABES. Rio de Janeiro, 2011.

LUZ, Adão Benvindo da. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, 1995.

MARON, Samuel H.; PRUTTON, Carl Frederic. **Principles of Physical Chemistry.** New York: The MacMillan Company, 1951.

MURATA, K. J; FORMOSO, M. L.L; ROISENBERG, A. 1987. Distribution of zeolites in lavas of Southeastern Parana Basin, State of Rio Grande so Sul, Brazil. **Journal of Geology**, v. 95, p. 455-467, 1987.

NETTO, Daiane. **Utilização de zeólitas como adsorventes no tratamento terciário de efluentes líquidos provenientes de indústrias de processamento de leite.** 2011. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Químico Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ORLANDO, Luiza Marchito. **Avaliação de desempenho da estação de tratamento de lixiviado da central de tratamento de resíduos da Zona da Mata – Juiz de Fora/MG.** 2014. 78 p. Trabalho de Final de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Faculdade de Engenharia da UFJF, Minas Gerais, 2014.

QUEIROZ, Luciano Matos, AMARAL, Mailer Sene, MORITA, Dione Mari, YABROUDI, Suher Carolina, SOBRINHO, Pedro Alem. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.16, n.4, p. 403-410, out./dez. 2011. Disponível em: < http:// www.scielo.br/pdf/esa/v16n4/a12v16n4.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2017.

REZENDE, N. G. A. M.; ANGÉLICA, R. S. 1997. **Geologia das zeolitas sedimentares no Brasil.** In: SCHOBBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T.; COELHO, C. E. S. (eds) Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília. DNPM/CPRM, vol. 4-B, p. 193-212, 1997.