

ESTUDO DA PERMEABILIDADE DE SOLO LOCAL PARA UTILIZAÇÃO EM LINER DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Bruno Susin

Engenheiro Civil
bruno@terraservice.com.br

Matheus A. de Brito

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul
matheus@terraservice.com.br

Nerio J. Susin

Geólogo
nerio@terraservice.com.br

Pedro Susin

Acadêmico do curso de Geologia da Universidade do Vale dos Sinos
pedro@terraservice.com.br

Pedro V. T. Costa

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul
pedrovitor@terraservice.com.br

Virgínia Viganó

Engenheira Ambiental
virginia@terraservice.com.br

Resumo. *A geração de resíduos sólidos é uma consequência inerente da atividade humana. Atualmente, os aterros apresentam-se como uma alternativa ambientalmente adequada à disposição final de resíduos sólidos. Todavia, o projeto de um aterro exige o cumprimento de critérios de ordem técnica e legal, que envolvem a sua localização. O município de Caxias do Sul define em seu plano diretor uma área à nordeste do centro da cidade que possui a finalidade de abrigar este tipo de equipamento urbano. Este trabalho avalia a qualidade do solo local, quanto às suas propriedades geotécnicas, a fim de comprovar o seu uso potencial em aterros de resíduos sólidos como camada de impermeabilização.*

Palavras-chave: *Permeabilidade. CCL. Liner.*

1. INTRODUÇÃO

A explosão demográfica do período pós segunda guerra mundial, o forte processo de industrialização impulsionado pelo fordismo e a evolução do marketing e publicidade resultaram no crescimento do consumo. O consumismo exacerbado aliado à obsolescência programada resultaram em grandes montantes de resíduos gerados nas últimas décadas.

Embora existam diversas tecnologias disponíveis no mercado, possibilitando a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos

resíduos sólidos, a geração de materiais inservíveis ao homem sempre irá existir, pois as soluções para a destinação se esgotam em seus limites técnico-econômicos (AZAMBUJA, 2007). Todo esse material inutilizado deve ser disposto de maneira apropriada, visando a manutenção da saúde pública e o cuidado com o meio ambiente. Nessa linha, o aterro de resíduos, quando apropriadamente projetado e executado, se apresenta como um importante elemento de manutenção e preservação do meio ambiente nas cidades do Brasil, sendo uma das opções mais viáveis em termos econômicos, técnicos e sociais para a destinação dos rejeitos oriundos dos diversos processos desenvolvidos pelo homem no Brasil.

Todas as cidades possuem regiões dedicadas em que os governos instalam equipamentos públicos como penitenciárias ou aterros de resíduos, essas regiões são eleitas levando-se em consideração diversos fatores como: o preço das terras, a densidade demográfica do entorno, a regulamentação do uso do solo, características geológicas, entre outros. O município de Caxias do Sul apresenta em seu plano diretor uma área à nordeste do centro da cidade dedicada às questões supracitadas, nessa região do município já estão instalados dois aterros de resíduos sólidos e uma penitenciária.

A área de estudo está localizada em zona definida pelo Plano Diretor Municipal elaborado em 2007, como “área de interesse para saneamento”. Em 2 de Agosto de 2010 foi criada a Lei nº 12.305 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), estabelecendo diretrizes para destinação final de resíduos. O município de Caxias do Sul se adequou a esta nova política criando o Aterro Municipal de Resíduos em 2009 (localizado dentro da área de estudo).

É realizado um breve levantamento geológico dessa região dedicada ao saneamento e são avaliadas as propriedades geotécnicas dos solos locais a fim de avaliar qualitativa e quantitativamente o material local

para a sua utilização na construção de aterros de resíduos. Dessa forma, fundamentando tecnicamente futuros estudos de viabilidade para implantação de aterros de resíduos nessa região.

2. GEOLOGIA REGIONAL

Este capítulo visa caracterizar a geologia da área por meio de pesquisa bibliográfica e campanhas de campo, partindo de uma visão geral para um detalhamento de características geológicas, correlacionando-as a características geotécnicas de interesse para locação de aterros.

As rochas da área de estudo estão inseridas na Bacia do Paraná, Formação Serra Geral, Membro Palmas, Fácies Caxias e Várzea do Cedro. A coloração das rochas varia de cinza claro, castanho avermelhado a preto, com textura tipo “sal e pimenta”, hipohialina a hohialina (*pitchstone*), normalmente afanítica podendo conter fenocristais de plagioclásio com intercrescimentos de outros minerais, sendo mais comum microfenocristais em formato de resfriamento rápido (NARDY, MACHADO E OLIVEIRA, 2008).

De acordo com a bibliografia as rochas ácidas de topo de derrame presentes em Caxias do Sul possuem características específicas que permitem as distinguir em campo. Algumas destas feições como autobrechas (com blocos angulares, amigdalóides ou vesiculares, imersos em matriz normalmente afanítica), a falta de estrutura cristalina e presença de bandas de fluxo e bandas de alteração, contribuem para a formação de solos plásticos que podem conter argilominerais expansivos e ser de interesse à área de geotecnia.

A área de estudo se localiza a NE da área urbana de Caxias do Sul, próximo à divisa com São Francisco de Paula, a norte da RS-453. Dentro da Bacia do Paraná, que recobre praticamente toda a região meridional do Brasil, áreas orientais do Paraguai, ocidentais do Uruguai, e norte da Argentina (BORSATTO 2011, *apud* NARDY; MACHADO;

OLIVEIRA; 2008) descrita como uma grande bacia intercratônica, preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, sua origem está intimamente ligada a atividade distensiva consequente do rifteamento de Brasil e África, gerando vulcanismo do tipo fissural com afiliação geoquímica e litológica bimodal (Basaltos alto TiO_2 e Riólitos e baixo TiO_2).

Durante a revisão bibliográfica e nas etapas de pré campo, adotou-se as descrições litológicas presentes no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, realizado pela CPRM (Figura 01), englobando rochas da Formação Serra Geral, fácies Caxias e Várzea do Cedro. O Quadro 01 apresenta a descrição de cada fácies, segundo Mapa Geológico do Rio Grande do Sul.



Figura 01 - Pontos de amostragem
Fonte: Adaptado de CPRM (2003).

Quadro 01 - Descrição e identificação das rochas presentes na área de acordo com Mapa Geológico do Rio Grande do Sul

Formação	Fácies	Descrição
Serra Geral	Várzea do Cedro	Derrames vitrofíricos pretos tipo <i>pitchstone</i> , textura de fluxo e autobrecha são frequentes.
	Caxias	Derrame de composição intermediária a ácida, textura microgranular a vitrofírica, podendo haver esferulitos, é comum forte disjunção tabular no topo, com porção central maciça. Dobras de fluxo e autobrechas ocorrem regularmente

Fonte: CPRM (2003).

Salienta-se aqui a semelhança de características entre as fácies citadas no Quadro 01, dificultando o reconhecimento de contanto gradual ou abrupto entre as mesmas. No intuito de interpretar em escala de detalhe as texturas e estruturas encontradas em campo, optou-se por utilizar trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico de Bressani *et. al.* (2005) e Borsatto (2011), porém tal mapeamento não atinge a área alvo de estudo sendo utilizado em conjunto com dados de Fumagalli (2015), Nardy, Machado e Oliveira (2008), e Selmo (2014), como balizadores das descrições.

2.1 Geologia local

A formação Serra Geral, recobre toda a parte norte do Rio Grande do Sul, ocorrendo de forma genérica na área alvo, aflorando comumente em cortes de estrada.

Se tratando das rochas vulcânicas, Bressani *et. al.* (2005) diz:

“...baseando-se em estudos geoquímicos, as ácidas da região foram classificadas como vulcânicas do tipo Palmas e as

básicas designadas como tipo Gramado (BELLIENI *et. al.*, 1989, PEATE *et. al.* 1992), na região do município de Caxias do Sul predomina o tipo Palmas como litologia aflorante, recebendo localmente a denominação de Unidade Caxias.”

características tanto pedológicas como litológicas mais marcantes para reconhecimento em campo (Quadro 02).

Segundo o mesmo trabalho, adotou-se a seguinte coluna estratigráfica (alterada), com um detalhamento de cada unidade e suas

Quadro 02 - Coluna estratigráfica de Caxias do Sul com as respectivas texturas descritas na bibliografia, e em campo, para cada litologia

Período	Unidade litoestratigráfica	Rocha		Solo	Espessura	Texturas
Cretáceo inferior	Formação Serra Geral	Tipo Caxias	Dacito Ana Rech	Ana Rech	70m	Segundo Bressani <i>et. al.</i> (2005), tabularidade de derrames e horizonte B incipiente em solos
			Vitrófiro Forqueta	Vitrófiro Forqueta	170m	De acordo com Bressani <i>et. al.</i> (2005), sutil bandamento de fluxo verticalizado associado a autobrechas e abundância de vesículas
			Dacito Caxias/Carijó	Caxias/Carijó		Conforme Bressani <i>et. al.</i> (2005), aspecto maciço, com diaclasamento vertical e/ou horizontal, com estratos tabulares sub-horizontais na base de 5 a 30cm e textura “Sal e pimenta” (SELMO, 2014)
			Dacito Canyon	Canyon	70m	Segundo Bressani <i>et. al.</i> (2005) e Selmo (2014) autobrechas, pitchstone, bandamento de fluxo magmático
			Dacito Galópolis	Galópolis	70m	

Fonte: Adaptado de Bressani *et. al.* (2005)

Foi realizada uma campanha em campo de reconhecimento de solos e rochas. Devido à dificuldade de acessar áreas vizinhas das principais estradas da região, foram descritos cortes de estrada com características da fácies Várzea do Cedro, como, lentes de *pitchstone* com faturamento conchoidal, alta densidade de geodos em alguns pontos, blocos de aspecto vesicular e amigdaloidal alterados e imersos em matriz afanítica (autobrecha).

3. SOLO LOCAL

Basicamente toda grande estrutura construída pelo homem se apoia e tem interface direta com o solo, além de ser utilizado como matéria prima. Daí a importância do seu estudo quanto a sua gênese, distribuição e propriedades físicas, químicas e estruturais.

Em função do baixo custo e de suas características intrínsecas, o solo como matéria prima, é empregado largamente na construção de aterros de resíduos sólidos. Em sua própria definição, independentemente do seu arranjo, o aterro de resíduos sólidos faz uso de materiais naturais, de origem mineral e local, para a sua construção. Para a adequada utilização deste solo na construção do aterro é necessário à sua análise geotécnica.

Na área de estudo o solo local é residual, em campo a granulometria descrita é argilo-siltosa, são solos plásticos a pouco plásticos, coesivos e normalmente com baixa permeabilidade, de características normalmente homogêneas, em concordância com Mapa Geológico do Rio grande do Sul (CPRM, 2003) e as texturas descritas para cada fácies (Quadro 01), os solos na região por possuem textura de fluxo tendem a se alterar quimicamente mais rápido, assim como Borsatto (2011) descreve.

3.1 Camadas de impermeabilização

A impermeabilização de fundo de um aterro de resíduos tem a função de reter, obstruir ou reduzir a percolação de poluentes

para o solo e para aquíferos. Uma das propriedades estudadas quanto a percolação e infiltração em solos é a permeabilidade.

O sistema de impermeabilização de fundo de um aterro pode ser composto por diversos materiais naturais ou pré-fabricados dispostos em camadas, sendo elas de regularização, drenantes e impermeabilizantes, também denominadas de *liners*. Essas camadas podem ser compostas por geossintéticos, como geomembranas, por camada de solo compactado (CCL) ou o mais usual por uma combinação dos mesmos, muitas vezes utilizando-se de geotêxtil como proteção da geomembrana.

Segundo Boscov (2008) existem várias configurações de *liners* apresentadas por pelas normas e legislações de vários países, como pode ser observado na Figura 02.

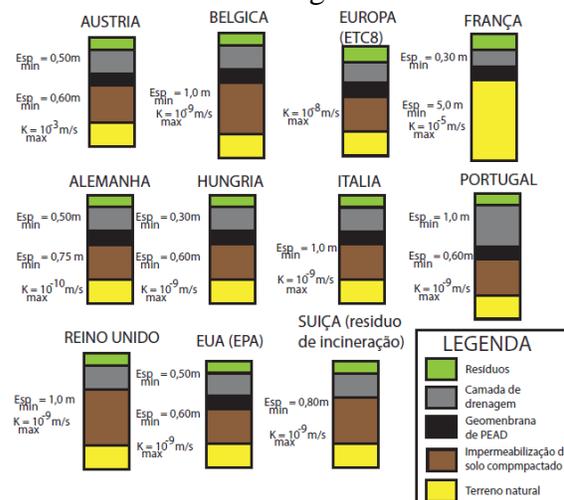


Figura 02 - Impermeabilização de fundo de aterros regulamentadas em diversos Países
Fonte: Ferrari (2005).

Os sistemas compostos vêm apresentando-se como a melhor solução de proteção das camadas de subsolo e dos aquíferos. Segundo Boscov (2008), as principais vantagens do uso deste sistema são:

- Redução da condutividade hidráulica;
- Facilitação do fluxo direção ao sistema de coleta do percolato;

- Prevenção contra problemas decorrentes da falta de compatibilidade entre percolado e solo;
- Proteção contra trincas de secagem, característica das argilas lateríticas.

3.2 Camadas de solo compactado (CCL)

Em sistemas compostos a camada de solo tem como função a regularização do terreno e servindo como superfície de suporte para a geomembrana, por apresentar uma interface lisa e resistente, funciona como uma segunda camada de impermeabilização caso ocorra danos na geomembrana. Em locais onde o nível d'água for profundo, e o solo apresentar propriedades como alta capacidade de retenção de poluentes, condições hidrológicas favoráveis e espessas camadas de solo de alteração, o CCL pode ser utilizado como camada única de impermeabilização.

Em ambos os casos a camada de solo compactado é fundamental para o alto desempenho do aterro de resíduos. Para que as camadas funcionem e atendam às exigências legais é necessária que sejam executadas com alto rigor e controle de qualidade.

O CCL deve apresentar permeabilidade baixa, alta capacidade de suporte devido ao peso dos resíduos, baixa compressibilidade, além de alta retenção dos poluentes. Os cuidados para se obter tais propriedades devem ser tomados desde a escolha do material (argila) que será utilizado na camada e no alto controle de qualidade na execução da camada, pois as condições climáticas, geológicas e executivas podem influenciar na qualidade da camada. A permeabilidade, um dos principais fatores que influencia na qualidade da camada pode ser interferido pela energia de compactação e o teor de umidade do solo.

O controle de qualidade pode ser feito através de testes de permeabilidade de campo, ou até mesmo de ensaios que o correlacionam de modo confiável. Salienta-se que os ensaios utilizados devem, quando possível, serem

rápidos e eficazes, dando mais dinamismo a obra em questão.

A NBR 13.896 (ABNT, 1997) define impermeabilização como a deposição de camadas de materiais naturais ou artificiais, que impeça ou reduza substancialmente a infiltração de água no solo dos líquidos percolados através da massa de resíduos. Esta norma ainda estabelece algumas diretrizes: que no local a ser implantado o aterro haja uma extensa jazida de argila com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-9} m/s.

Gomes (2003) *apud* Franceschet (2006) determina que o solo deva possuir condutividade hidráulica inferior a 10^{-10} m/s e que para tanto deve apresentar: porcentagem de finos (passante na peneira 200) entre 20 e 30%; porcentagem de pedregulho (peso seco retido na peneira 4) inferior ou igual a 30%; IP entre 7 e 10% e tamanho máximo de partícula de 25 a 50 mm. Boscov (2008) determina que o coeficiente de permeabilidade da argila compactada deva ser menor ou igual a 10^{-10} m/s e que os requisitos para o solo utilizado na barreira mineral sejam em ordem de importância: condutividade hidráulica baixa no campo; compatibilidade em longo prazo com as substâncias químicas a serem contidas; capacidade alta de adsorção e coeficiente de difusão baixo.

Segundo Macambira (2002), solos lateríticos argilosos, ou que apresentam maior quantidade de finos, quando compactados acima da umidade ótima apresentam diminuição do coeficiente de permeabilidade. Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993), *apud* Macambira (2002) apontam que para se atingir maiores níveis de impermeabilização ($k < 10^{-10}$ m/s) é necessário que haja resistência ao cisalhamento superior a 200 kPa e contração volumétrica menor que 4%. CETESB (2005) aponta que para a utilização como *liner* o solo deve ser homogêneo e trabalhável, isento de blocos e grandes matacões e apresentam algumas outras diretrizes a serem seguidas: IC entre 0,5 e 1,0; resistência à compressão simples entre 49,03 kPa e 392,3 kPa;

porcentagem de finos superior a 30%; LL maior ou igual a 30% e coeficiente de condutividade hidráulica em torno de 10^{-10} m/s.

O controle executivo é fundamental. A execução da CCL deve ser efetuada em camadas de espessura não superior a 30cm (ideal 20cm); antes do lançamento da camada subsequente devem ser feitas escarificações, com espessura de 2 a 3cm, sobre a camada compactada. Após a execução, a CCL deve ser protegida para não haver ressecamento superficial, isso pode ser realizado com o cobrimento temporário da mesma, ou com molhagem constante (FRANCESCHET, 2006). Segundo Macambira (2002), deve-se tomar um cuidado especial com a contração, pois pode haver o desenvolvimento de trincas no material em função de suas características coesivas.

4. METODOLOGIA

A fim de se avaliar em termos de qualidade (quantitativa e qualitativa), para sua utilização como CCL, o solo local foi investigado quanto a sua caracterização, classificação, compactação, permeabilidade e resistência ao cisalhamento, posteriormente, os resultados foram comparados com as qualidades desejáveis para o solo.

De acordo com a Figura 01, que apresenta em planta, foram coletadas três amostras indeformadas em uma área particular localizada no interior da área em estudo; coletadas duas amostras deformadas para ensaios de permeabilidade em laboratório; e realizados ensaios de permeabilidade em poços instalados em área supracitada. Todos os ensaios foram realizados em laboratório próprio da empresa Terraservice.

Das três amostras indeformadas foram realizados três ensaios de: determinação do teor de umidade, com base na NBR 6.457 (ABNT, 1986); determinações dos índices físicos, NBR 6.508 (ABNT, 1984); granulometria, NBR 7.181 (ABNT, 1984); limites e índices de Atterberg, com base na NBR 6.459 (ABNT, 1984) e na NBR 7.180 (ABNT, 1984); ensaio de compactação não modificado; ensaio de permeabilidade *in situ* e ensaio de compressão simples normatizados pela NBR 7.182 (ABNT, 1986).

Nas duas amostras deformadas foram realizados ensaios de compactação Proctor e posteriormente ensaios de permeabilidade dos solos compactados na umidade ótima, segundo o método B da NBR 13.292 (ABNT, 1995).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 01 - Resumo dos resultados geotécnicos quantitativos

Amostra	Limites de Atterberg			Índices de Atterberg		Perm. k (m/s)	Resistência ao cisalhamento	
	LL %	LP %	LC %	IP %	IC %		Comp. n. conf. kPa	Coesão kPa
5	44,25	29,00	28,03	15,25	0,2	4,15E-12	44,1	22,5
4	49,76	29,94	16,56	19,85	0,69	2,08E-10	34,2	17,1
3	46,86	33,34	20,84	13,02	0,75	5,31E-10	71,3	35,3

Tabela 02 - Resumo dos resultados geotécnicos qualitativos

Amostr a	Provável Composição Física	Classific. Granulométric a	Plasticidade	Consistência		Perm.	Classificaçã o Unificada
				IC	Comp. n. Conf.		
5	Quartzo, Clorita,		Altamente plástico	Mole	Mole		ML
4	Talco, Ilita, Caulin, Plagioclásio e Calcita	Argila	Altamente plástico	Média	Mole	Argila	ML
3			Mediament e plástico	Média	Média		ML

A Tabela 03 apresenta os resultados dos ensaios de permeabilidade realizados nos poços e a Tabela 04 os ensaios de permeabilidade em corpos de prova moldados com equipamento Proctor, na umidade ótima e realizados com as duas amostras de solo deformadas. Para o parâmetro permeabilidade das amostras deformadas, foram realizados dois ensaios por amostra.

Tabela 03 - Resultados dos ensaios de permeabilidade realizados nos poços

Poço	k (m/s)
SPR1	5,45E-9
SPR2	4,10E-10
SPR 3	5,23E-9
SPR 4	5,40E-10
SPR 5	2,80E-10

Os solos analisados apresentaram coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-10} m/s, a norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) exige que esse valor seja de no mínimo 10^{-9} m/s, de maneira que os solos analisados resultaram, *in situ*, valores consideravelmente inferiores. Boscov (2008) considera que seja importante que o coeficiente de permeabilidade em campo seja baixo. Dentre todos os autores analisados, o coeficiente de condutividade hidráulica está em conformidade com os padrões exigíveis para que se possa utilizar o solo como barreira mineral de fundo.

Tabela 04 - Resultados dos ensaios de permeabilidade realizados nos corpos de prova

Amostra	ω ótima	k1 (m/s)	k2 (m/s)
1	36%	1,13E-7	1,5E-7
2	36,7%	2,5E-7	3,5E-7

Os solos analisados nas três amostras indeformadas apresentaram quantidade de finos superior a 30%, considerando-se solos com grande presença de finos. São solos homogêneos, trabalháveis e isentos de blocos, pedregulhos e partículas com 25 mm de tamanho ou maior. Todos os solos apresentaram limite de liquidez superior a 30%.

Apenas o solo da amostra 3 apresentou resistência à compressão não confinada entre 49,03 kPa e 392,3 kPa. Nenhuma amostra resultou em valores superiores a 200 kPa de resistência ao cisalhamento, e todas as amostras resultaram em índices de plasticidade superiores a 10%. Somente o solo da amostra 5

não apresentou índice de consistência entre 0,5 e 1.

Os ensaios de permeabilidade definidos na Figura 01 como “Malha de poços para ensaio de permeabilidade”, S1 a S5, foram realizados em duas profundidades médias (1,30 m e 3 m), a permeabilidade média é de $2,38E-7$ m/s, os ensaios foram realizados em campo e acima do nível de água.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando os resultados e a conclusão pertinente a cada ensaio se pode averiguar a possível utilização dos solos analisados como CCL. A compactação é essencial no processo de construção e operação de um aterro. O solo quando compactado elimina a grande parte de seus vazios, o tornando mais denso, aumentando a sua resistência e diminuindo a sua permeabilidade. Solos compactados com características argilosas podem apresentar uma permeabilidade muito baixa, tornando viável seu uso em *liners* de aterros de resíduos.

Os solos analisados possuem condição técnica para a sua utilização na construção de CCL de aterros de resíduos sólidos. Ainda que não estando em conformidade absoluta com os critérios técnicos da revisão bibliográfica, os solos, em função de seu baixo coeficiente de condutividade hidráulica baixo e homogeneidade regional, podem ser usados como barreira mineral de fundo (CCL).

A metodologia aplicada na análise da permeabilidade dos solos locais da região em questão podem apresentar sutis divergências nos resultados. Ainda assim na média a permeabilidade do solo local, tanto natural como compactado, apresenta-se bastante baixa, de maneira que um sistema composto de impermeabilização de base, ou seja, a barreira mineral (CCL) aliada a algum geocomposto impermeável pode compor uma estrutura segura para a contenção dos resíduos dispostos. De acordo com os resultados encontrados é possível inferir a viabilidade geotécnica local

para instalação de aterros de resíduos na região em análise.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.459: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6.508: grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 7.180: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 7.181: solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6.457: amostras de solo : preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 7.182: solos - ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 13.292: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 1995. 8p.

_____. NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 12.553: Geossintéticos - terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

AZAMBUJA, Eduardo. Aterros de resíduos sólidos. Porto Alegre, 2007. Texto não publicado.

BRESSANI, Luiz A.; FLORES, Juan A. A.; NUNES, Lisandro F. Estudos para geração de mapa geotécnico da área urbana de Caxias do Sul. 2005. Texto não publicado.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.

BORSATTO, Saulo. Contribuição ao estudo geológico-geotécnico da área urbana de Caxias do Sul - RS. 2011. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BOSCOV, Maria Eugênia Gimenez. Geotecnia ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2008. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Procedimentos para implantação de aterro sanitário em valas.** São Paulo, 2005.

FERRARI, A. A. P. Viabilidade da utilização de silte compactado como material de impermeabilização em aterros de resíduos. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 118 p. 2005.

FRANCESCHET, Meire. **Estudo dos Solos Utilizados em Camadas de Base e Cobertura em Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos de Santa Catarina.** 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

MACAMBIRA, Indira Queiroz. **Comportamento Hidráulico de Alguns Solos Lateríticos para uso como Barreira Impermeável.** 2002. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2002.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F.; 2008. As rochas

vulcânicas mesozoicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. Revista Brasileira de Geociências. 38(1): 178-195.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE. PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCO PARA O MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL. Porto Alegre, 2006.

SELMO, L. T. 2014 Caracterização geológica-geotécnica da brecha vítrea ocorrente em uma jazida de riodacito - projeto de expansão da Mina Maestra - Caxias do Sul - RS. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. da C.; HOFF, R.; IGLESIAS, C. M. F. Mapa Geológico do Rio Grande do Sul. 2003. CPRM. Porto Alegre.