

### III-292 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL E GEOTÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETE COMO COBERTURA ALTERNATIVA DE ATERRO SANITÁRIO

**Francisco José Guedes Pimentel** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestrando em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC).

**Armando Borges de Castilhos Junior**

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutor em Gestão e Tratamento de Resíduos pelo Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, França. Pós-Doutor pela Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris – ISIGE/ENSM. Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Elivete Carmem Clemente Prim**

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Paulo Belli Filho**

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Doutor em Química Industrial e Ambiental - Université de Rennes I. Pós-doutor na Ecole Polytechnique de Montreal. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Alexandre Bach Trevisan**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado em Engenharia Química. Gerência de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Centro Tecnológico (CTC) Campus Universitário – Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. CEP: 88010-970 – Tel: + 55 (48) 3721-7754 – E-mail: [francisco@ens.ufsc.br](mailto:francisco@ens.ufsc.br).

#### RESUMO

Este trabalho aborda uma alternativa de valorização de lodo proveniente de ETEs por meio de seu emprego em camadas de cobertura de aterro sanitário. Esta prática já é utilizada em alguns países e apresenta diversas vantagens: redução de custos na aquisição de material para cobertura em aterros, assim como na disposição final do lodo; melhoria na qualidade do lixiviado; aporte de nutrientes para camada vegetativa (final), dentre outras. No presente estudo o lodo de esgoto utilizado foi inicialmente caracterizado, para se conhecer suas propriedades físico-químicas e bacteriológicas, e posteriormente estabilizado com cal virgem (CaO), objetivando atender aos requisitos ambientais para utilização em coberturas. Na segunda etapa o lodo tratado foi misturado com solo argiloso (oriundo de jazida de aterro) na proporção 1:1 e as características geotécnicas desta mistura foram comparadas com as do solo natural e com os valores recomendados na literatura. Os resultados indicam que o lodo tratado quimicamente com cal possui potencial de utilização em coberturas de aterro e que apesar de aumentar a granulometria e a permeabilidade da mistura em relação ao solo natural, os parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito interno) são melhorados significativamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos, Lodo de Esgoto, Aterro Sanitário, Cobertura de Aterro, Avaliação Geotécnica.

#### INTRODUÇÃO

Os sistemas de cobertura são constituintes fundamentais dos aterros sanitários e objetivam reduzir a geração de lixiviado, a atração de vetores, a dispersão de gases e odores, dentre outras funções. A origem do material utilizado como cobertura é de grande relevância em projetos de aterros, devido a grande quantidade demandada ao longo de sua vida útil. Em alguns casos este pode ser obtido a partir das próprias escavações necessárias para futura disposição de resíduos – o que seria o ideal. Contudo, muitas vezes o volume de material disponível é limitado e outras fontes, como jazidas fora da área do aterro, são requeridas. Isto implica em maiores custos com transporte e aquisição do próprio material, além de que estas (jazidas) devem ser alvo de licenciamento

ambiental (REICHERT, 2007). Nesse sentido, uma tendência importante é a crescente aceitação de materiais alternativos para coberturas em substituição ao solo compactado.

O lodo de esgoto – resíduo sólido mais relevante em termos de quantidade e de volume nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) – é empregado como coberturas de aterro corriqueiramente em diversos países como os Estados Unidos, o Canadá, Itália, Noruega, China, Austrália e a África do Sul (LeBLANC; MATTHEWS; RICHARD, 2008). Ele é aplicado para este fim principalmente quando o biossólido não atinge qualidade suficiente para usos mais nobres (ex: agricultura) ou como alternativa estratégica na gestão do lodo.

O resíduo em questão pode ser utilizado tanto em cobertura *diária/ intermediária* quanto em cobertura *final*, porém, precisa estar previamente estabilizado (reduzido teor de sólidos voláteis) e com umidade inferior a 50% para o primeiro caso e 80% para o segundo. Nas coberturas finais, para se evitar deslizamentos nas encostas laterais, recomenda-se que o lodo seja misturado com solo, aparas de madeira ou cinzas em proporção a ser definida em função da qualidade deste material (solo) e dos parâmetros geotécnicos e agrônômicos requisitados (GRIFFIN *et al.*, 1998; GRANATO, 2011).

Este trabalho trata do estudo de valorização de lodo proveniente da ETE Insular (Figura 1), localizada em Florianópolis, Santa Catarina, e destinada a atender uma população de aproximadamente 150.000 habitantes (278 L/s). O processo de tratamento do efluente é por lodos ativados de aeração prolongada e o lodo excedente é adensado e desidratado em filtros-prensa. A produção diária de lodo é em média 35 m³/dia, equivalente a quase 6 ton/dia em base seca. Atualmente a destinação final deste resíduo é o aterro sanitário. Propõe-se neste trabalho, avaliar-se o potencial de utilização do lodo de ETE como material alternativo em coberturas de aterro.



Figura 1: Estação de Tratamento de Esgoto Insular. Fonte: Google Earth, 2010.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a utilização de lodo de esgoto para utilização em coberturas de aterros sanitários, consideraram-se os aspectos geotécnicos e ambientais envolvidos. Desse modo, o trabalho foi separado em duas etapas: a avaliação ambiental do lodo tratado por estabilização alcalina em estufa agrícola; e a avaliação ambiental e geotécnica da sua utilização como cobertura de aterro sanitário.

### ▪ Avaliação Ambiental do Lodo de Esgoto

Inicialmente o lodo de esgoto *in natura* foi caracterizado considerando-se os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do resíduo. O material foi coletado em distintas posições e profundidades da torta de lodo acumulada no caminhão de coleta, para formar uma amostra composta. Posteriormente foi homogeneizada e quarteado para obtenção de aproximadamente 1 kg de material representativo. As análises físico-químicas foram realizadas com base na norma EPA SW 846 *Method 3050*, no *Standard Methods*, na Instrução Normativa (IN) Nº 28/2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). As análises bacteriológicas foram realizadas com base na IN Nº 62/2003 do MAPA e EPA (2003). Os resultados foram comparados com a Resolução CONAMA Nº 375 e com os valores de referência para coberturas, encontrados na literatura.

O tratamento do lodo de esgoto foi realizado através da estabilização alcalina com cal virgem (CaO) em estufa agrícola (Figura 2). Este método possibilita a redução de maus odores e de microorganismos patogênicos através da elevação da temperatura, aumento do pH, formação de amônia gasosa (*stripping*) e por meio da redução da umidade a níveis muito baixos (efeito da estufa). Metodologia semelhante foi estudada por Lima (2010) e por Comparini (2001), mas investigações e publicações quanto à utilização de estufa agrícola na secagem e estabilização do lodo ainda são pouco divulgadas.



Figura 2: Processo de estabilização alcalina em estufa agrícola.

Nesta pesquisa o lodo foi estabilizado com 30% de cal virgem com relação à massa seca do resíduo. Considerou-se a necessidade de elevação do pH, pelo menos até 12, por um período mínimo de 2 horas e mantê-lo acima de 11,5 por mais 22 horas, conforme orienta a Resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006). Toda esta etapa foi realizada dentro da estufa agrícola, onde o experimento ficou protegido de intempéries e a energia solar pôde ser maximizada.

A avaliação ambiental foi realizada com base nos resultados da etapa de estabilização do lodo, a partir dos critérios de Griffin *et al.* (1998), de Granato (2011) e dos critérios de estabilidade e de concentração de microorganismos patogênicos definidos na Resolução CONAMA nº 375 como *Classe B*.

#### ▪ Avaliação Geotécnica do Lodo como Cobertura de Aterro Sanitário

Após a avaliação e adequação ambiental do biossólido, este foi então misturado com solo natural argiloso na proporção 1:1 (solo: lodo) – traço definido com base em Griffin *et al.* (1998) e Granato (2011). Os autores afirmam, porém, que esta proporção pode variar em função da qualidade do solo, do lodo e dos requisitos agrônômicos e geotécnicos que se exige. O solo utilizado é originário de uma jazida do município Governador Celso Ramos, localizado a 30 km de Florianópolis.

Para a avaliação geotécnica da mistura solo:lodo realizou-se os ensaios citados na Tabela 1 e comparou-se os resultados com as normas e bibliografias relacionadas:

Tabela 1: Parâmetros avaliados e métodos de análise.

Ensaio	Método
Análise Granulométrica	NBR 7181/1984
Limite de Liquidez	NBR 6459/1984
Limite de Plasticidade	NBR 7180/1984
Massa Específica dos grãos	NBR 6508/1984
Compactação	NBR 7182/1986
Permeabilidade	NBR 14545/2000
Cisalhamento Direto	ASTM D3080

## RESULTADOS AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Primeiramente os resultados da caracterização físico-química do lodo *in natura* são apresentados na Tabela 2 e comparados com os valores limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 375, a qual determina critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto.

**Tabela 2: Caracterização físico-química do lodo de esgoto *in natura*.**

Parâmetros	Método de análise	Unidade	Resultados	RESOLUÇÃO N° 375
Ferro	Absorção Atômica	mg/kg	11500	-
Alumínio	Absorção Atômica	mg/kg	0,89	-
Cálcio	Absorção Atômica	mg/kg	0,9	-
Zinco	Absorção Atômica	mg/kg	550	2800
Magnésio	Absorção Atômica	mg/kg	0,65	-
Cádmio	Absorção Atômica	mg/kg	<1	39
Chumbo	Absorção Atômica	mg/kg	25	300
Cobre	Absorção Atômica	mg/kg	174	1500
Cromo Total	Absorção Atômica	mg/kg	19	1000
Sólidos Totais	Gravimétrico	% (m/m)	12,68	-
Sólidos Fixos	Gravimétrico	%ST (m/m)	23,7	-
Sólidos Voláteis	Gravimétrico	%ST (m/m)	76,3	<0,7 (70%)
COT	Oxidação catalítica	%	41,97	-
Umidade	Gravimétrico	%	87	-
pH em H <sub>2</sub> O 1:5	Potenciométrico	-	7	-
Densidade	Gravimétrico	g/cm <sup>3</sup>	1,04	-

Esta norma foi utilizada como referência por que no caso de o bioossólido ser utilizado em coberturas finais, este exerceria função de camada vegetativa e seus nutrientes estariam disponíveis às culturas escolhidas para este fim. Como pode-se perceber, os metais pesados analisados atendem aos valores limites estabelecidos pela norma. Contudo, com relação ao requisito de estabilidade (relação SV/ST) o lodo *in natura* encontra-se acima do valor determinado pelo CONAMA (0,70) e necessita de estabilização. Além disso, Griffin *et al.* afirmam que para o bioossólido ser utilizado em coberturas finais ele precisa passar por processo de redução de sólidos voláteis (minimizar geração de odor e atratividade de vetores) e estar com umidade abaixo de 50%, no caso de coberturas diárias, e abaixo de 80% para o caso de coberturas finais. Como percebe-se na Tabela 2, esse critério também não é atendido, pois a umidade do lodo *in natura* é de 87%.

Desse modo, o lodo precisou passar por processo de estabilização e redução da umidade e a técnica adotada para este fim foi a caleação em estufa agrícola. A cal adicionada ao lodo auxilia na redução de odores e microorganismos patogênicos; a estufa, por outro lado, auxilia na redução da umidade. A Quantidade de cal utilizada foi de 30% em relação ao peso seco do lodo – suficiente para elevar o pH a mais que 12 e mantê-lo a 11,5 por mais 22 horas. A Tabela 3 apresenta a comparação dos valores do lodo antes e depois de ser estabilizado.

**Tabela 3: Comparação entre lodo *in natura* e o lodo estabilizado com 30% de cal.**

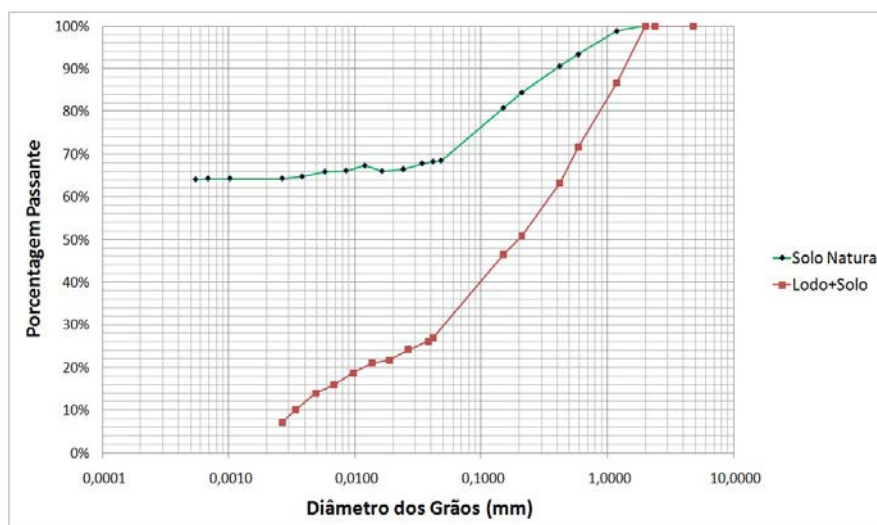
Parâmetros	Lodo <i>in natura</i>	Lodo com 30% de cal	CONAMA 375/06 (Classe B)	CONAMA 375/06 (Classe A)	GRIFFIN <i>et al.</i> (1998)
<i>E. coli</i> (NMP/ g ST)	1,7x10 <sup>6</sup>	Ausente	<10 <sup>6</sup>	<10 <sup>3</sup>	-
Ovos Helminthos* (ovo/g ST)	0,337	0,295	<10	<0,25	-
Relação SV/ST	0,763	0,40	<0,7	<0,7	-
Umidade (%)	87	9,5	-	-	<50** ou 80***

\*Ovos viáveis de *Ascaris lumbricoides*; \*\*cobertura diária; \*\*\*cobertura final.

Como pode-se notar na tabela acima, o processo de tratamento adotado foi suficiente para atender aos requisitos do CONAMA para padrão Classe B e ao requisito de Griffin *et al* (1998) para poder ser utilizado em coberturas alternativas de aterro sanitário. Além das referências acima, Granato (2011) afirma que o percentual de sólidos voláteis deve estar entre 35% e 50% e este quesito o lodo também atende, pois está com 40%.

## RESULTADOS AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA

Após a estabilização e redução de sólidos voláteis o lodo tratado com 30% de cal foi misturado com solo argiloso na proporção de 1:1 e posteriormente os ensaios geotécnicos foram realizados. Na Figura 3 é possível visualizar a curva granulométrica do solo natural e a de *mistura* solo:lodo.



**Figura 3: Curva Granulométrica do Solo Natural e da Mistura de Solo com Lodo (estabilizado a 30%) na proporção de 1:1.**

Comparando-se ambas as curvas percebe-se que o solo natural (linha verde) possui maior percentual de grãos finos que a *mistura* solo:lodo (linha vermelha). Isto evidencia a influência da fração de lodo com cal no aumento da granulometria da *mistura*. Conforme a Tabela 4, a fração de argila da *mistura* diminuiu 12 vezes com a adição de lodo no solo, enquanto que as frações de silte e de areia grossa, média e fina aumentaram respectivamente 2.3, 4.3, 2.3 e 2.2 vezes.

**Tabela 4 :Características Geotécnicas do Solo Natural e da Mistura Solo:Lodo (traço 1:1).**

Ensaio		SOLO	SOLO : LODO* 1 : 1
Análise granulométrica	% Pedregulho Fino	-	-
	% Areia Grossa	6,63%	28,41%
	% Areia Média	8,98%	20,77%
	% Areia Fina	8,01%	17,54%
	% Silte	12,15%	27,98%
	% Argila	64,23%	5,30%
Classificação SUCS		CH	SC
Limite de Liquidez (%)		86%	64%
Limite de plasticidade (%)		34%	38%
Índice de plasticidade (%)		52%	26%
Massa esp. grãos (g/cm <sup>3</sup> )		2,62	2,34
Compactação	H <sub>ot</sub> (%)	37,51%	35,80%
	γ <sub>s max.</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1,22	1,13
Permeabilidade (cm/s)		3,99x10 <sup>-7</sup>	3,54x 10 <sup>-5</sup>
Cisalhamento Direto	Coesão (kPa)	2	9,17
	Ângulo de Atrito (°)	27	36,3

\* Lodo estabilizado com 30% de cal em relação ao peso seco.

Os índices de Atterberg (LL, LP, IP), da mesma maneira, evidenciam o aumento da fração de areia ao se incorporar lodo no solo, pois ao contrário da argila, a areia deixa o solo menos plástico. Por isso, o índice de plasticidade da *mistura* caiu 50% com relação ao solo em seu estado natural. Além disso, segundo a matéria orgânica presente em um solo - em nosso caso o lodo - eleva seu LP sem elevar seu LL, reduzindo assim seu IP. Por outro lado, o incremento de matéria orgânica proveniente do lodo resultou em diminuição da massa específica dos grãos em 10,7%.

Pelo Sistema Unifica de Classificação (SUCS), o solo natural é classificado como argiloso e de alta compressibilidade (CH - Clay High compressibility), enquanto que a *mistura* é considerada areia argilosa (SC - sandy clay).

Na compactação, a umidade ótima (H<sub>ot</sub>) da *mistura*, assim como seu peso específico aparente máximo (γ<sub>s max</sub>) ficou mais baixa que a do solo natural, como era de se esperar, já que possuía maior percentual de areia. Contudo, supunha-se uma diferença maior entre os valores (baixou de 37,51% para 35,80%) em função do grande incremento de fração arenosa com o lodo.

A comparação de resultados de cisalhamento direto entre o solo e a *mistura* apresenta alguns pontos interessantes: o solo natural, por conter mais grãos finos (principalmente argila) que a *mistura*, supostamente teria mais coesão. Contudo, os resultados são completamente opostos a este comportamento e a coesão da *mistura* chegou a ser quase cinco vezes maior que a do solo (2 kPa contra 9,17 kPa) e o ângulo de atrito 34,4% maior (27° contra 36,3°). Neste caso, a melhoria substancial nos parâmetros de resistência ao cisalhamento se deve, provavelmente, em função da ação cimentante da cal (CaO) e de sua associação com os minerais argílicos, principalmente as sílicas (SiO<sub>4</sub>) e as Aluminas (AlO<sub>6</sub>). As reações pozolânicas, que resultam em compostos aglutinantes e cimentantes, são baseadas principalmente na interação entre estes três compostos.

### Requisitos Geotécnicos de Coberturas de Aterros

No Brasil não há norma que especifique padrão geotécnico de cobertura de aterro sanitário, apenas a NBR 13.896 (ABNT, 1997) orienta o projeto e construção de cobertura final com coeficiente de permeabilidade inferior ao do solo natural da área do aterro. No entanto, tal estabelece que “o aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 5 x 10<sup>-5</sup> cm/s” (p.3) e desse modo, conclui-se que a permeabilidade deva ser menor que 5 x 10<sup>-5</sup> cm/s. Outros critérios, não obstante, são definidos por alguns autores conforme a Tabela 5.

**Tabela 5 : Comparação do lodo *in natura* e da mistura solo:lodo com Requisitos para cobertura de aterro sanitário de Referências.**

SOLO natural	MISTURA 1:1 (solo:lodo)	Referências			
		ROCCA et al. (1993)	U.S.EPA (1998)	QASIN E CHIANG (1994)	NBR 13896 (ABNT, 1997)
$3,99 \times 10^{-7}$ cm/s	$3,54 \times 10^{-5}$ cm/s	$k < 10^{-7}$ cm/s	$k < 10^{-5}$ cm/s	$k < 10^{-7}$ cm/s	$*k < 5 \times 10^{-5}$ cm/s
Classificação =CH	Classificação =SC	Classificação SUCS (CL, CH, SC ou OH)	-	-	-
% Passante na #200 = 76,38%	% Passante na #200 = 38,6%	% Passante na #200 > 30%	% Passante na #200 > 30%	% Passante na #200 > 40%	-
LL = 86%	LL = 64%	LL > 30%	LL > 30%	LL > 25%	-
IP = 52%	IP = 26%	IP > 15%	IP > 15%	IP > 10%	-

Dentre os requisitos mínimos colocados, tanto o solo natural, quanto a *mistura* se apresentaram adequados para aplicação em coberturas de aterro sanitário, com exceção do critério de permeabilidade. Neste quesito, a *mistura* não atendeu aos valores recomendados pela literatura, mas ficou próxima do recomendado pela U.S.EPA (1998) e atendeu à norma brasileira NBR 13.897, referente a critérios para projeto, implantação e operação de aterros. Salienta-se, portanto, que a proposta de uso de lodo em coberturas finais seria considerando-a como camada vegetativa, a qual oferece suporte para o crescimento de plantas. No caso da construção da camada impermeável normalmente emprega-se argilas compactadas e/ou geomembranas.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- O lodo *in natura* não possui qualidade suficiente para ser utilizado diretamente como material de cobertura em função do seu alto teor de sólidos voláteis, umidade e microorganismos patogênicos. Contudo, as concentrações de metais pesados estão todas abaixo dos padrões estabelecidos pelo CONAMA nº 375, devido a ETE não receber contribuições industriais.
- O tratamento adotado – estabilização alcalina em estufa agrícola – foi suficiente para adequar o lodo aos critérios necessários para sua utilização em coberturas de aterro sanitário, considerando os valores verificados na literatura e o padrão Classe B do CONAMA nº 375.
- A comparação entre as características geotécnicas do solo natural, oriundo de jazida de aterro, e a *mistura* solo:lodo em 1:1, permitiu verificar a influência do lodo caleado nesta combinação. Os resultados apontam que a adição de lodo resultou em aumento da granulometria, redução do índice de plasticidade (IP) e da massa específica dos grãos. Porém, os parâmetros de resistência ao cisalhamento aumentaram significativamente, provavelmente em função da reação pozolânica entre a cal e os minerais argílicos presentes no solo e conseqüentemente conferindo ação cimentante à *mistura*.
- Tanto o solo natural, quanto a *mistura* lodo:solo atenderam aos requisitos geotécnicos para materiais de cobertura especificados pela literatura consultada, com exceção do critério permeabilidade. Para esta variável o solo argiloso atendeu a todas as referências, mas a *mistura* apenas atingiu o valor recomendado pela NBR 13.896 (ABNT, 1997). Contudo, para o caso de camadas vegetativas e camadas de proteção esse critério não precisa desse rigor, apenas a camada de impermeabilização feita normalmente de argila compactada ou geomembranas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsas, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA/UFSC), ao Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos (LARESO) e Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC pela estrutura; e finalmente, aos financiadores: Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº375 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.
3. COMPARINI, J. B. Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa. 2001. 278 f. Tese - (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
4. EPA, 2003. US Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage). Under 40 CFR Part 503. Appendix I -Test Method for Detecting, Enumerating, and Determining the Viability of Ascaris Ova in Sludge, p. 166, EPA/625/R-92/013.
5. GRANATO, T. C. Issues about Sludge and landfill cover. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <franciscojgpimentel@gmail.com> em 21 de fevereiro de 2011.
6. GRIFFIN, R.A. et al. (Ed.). Municipal Sewage Sludge Management at Dedicated Land Disposal Sites and Landfills. In: LUE-HING, Cecil et al. (Comp.). Water Quality Management Library - Volume 4: Municipal Sewage Sludge Management: A Reference text on Processing, Utilization and Disposal. 2. ed. Lancaster: Technomic Publishing Company Book, 1998. Cap. 7, p. 409-486.
7. LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), 2008. Disponível em: [http://esa.un.org/iys/docs/san\\_lib\\_docs/habitat2008.pdf](http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/habitat2008.pdf). Acesso em: 01 de fevereiro de 2011.
8. LIMA, M. R. P. Uso de Estufa Agrícola para Secagem e Higienização de Lodo de Esgoto. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
9. PRIM, E. C. C. Utilização de Lodo de Estações de Tratamento de Água e de Esgoto Sanitário como Material de Cobertura de Aterro Sanitário. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2011.
10. QASIM, S.R., CHIANG, W. Sanitary Landfill Leachate – generation, control and treatment. Technomic Publishing Co., Inc, 1994.
11. REICHERT, G. A. (Manual) Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários, 2007. 109 p.
12. ROCCA, A.C.; IACOVONE, A. M. M. B.; BARROTI, A. J.; et al. Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo: CETESB, 1993. 233 p.
13. U.S.EPA – United States Environmental Protection Agency. 40 CFR §258.2: Guidance for Design and Installation of Final Covers, 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/earth1r6/6pd/pd-u-sw/swguide.htm>>. Acesso em maio de 2011.