



**Encontro Técnico  
AESABESP**  
30º Congresso Nacional  
de Saneamento e  
Meio Ambiente



**FENASAN**  
30ª Feira Nacional  
de Saneamento e  
Meio Ambiente



## **112 - INVESTIGAÇÃO DO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE MISTURAS DE AREIA ARGILOSA LATERÍTICA COM LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE CUBATÃO PARA REAPROVEITAMENTO EM OBRAS DE TERRA**

**Edy Lenin Tejada Montalvan<sup>(1)</sup>**

Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Maria Eugenia Gimenez Boscov<sup>(2)</sup>**

Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Laboratório de Mecânica dos Solos, Av. Prof. Almeida Prado, trav.2 n°. 83 Cidade Universitária, Campus Butantã – São Paulo - SP - CEP: 05508-000 - Brazil - Tel: +55 (11) 97513-0176 - e-mail: [edytemon@usp.br](mailto:edytemon@usp.br)

### **RESUMO**

Uma das opções promissoras para a destinação final do lodo de estação de tratamento de água (ETA) é sua utilização em misturas com solos naturais em obras geotécnicas. Com esse objetivo, foram estudados os principais parâmetros geotécnicos de misturas de uma areia argilosa laterítica com lodo da ETA do Município de Cubatão em proporções solo:lodo 5:1, 4:1, e 3:1, em massa úmida. Realizaram-se ensaios de caracterização geotécnica, compactação, condutividade hidráulica, adensamento e compressão triaxial do solo e das misturas. A adição de lodo não alterou significativamente as propriedades índices do solo. Por outro lado, as propriedades geotécnicas de deformabilidade, permeabilidade, e resistência ao cisalhamento das misturas mostraram-se aceitáveis para uso como material de construção de aterros compactados, reaterro de valas, cobertura final em aterros sanitários, entre outros. Destaca-se a influência da secagem prévia nos parâmetros de compactação das misturas, comprovada também para misturas de lodo de ETA com argila laterítica. Os resultados mostram a possibilidade de reaproveitamento do lodo de ETA em misturas com solo em obras geotécnicas, devendo ainda ser realizada avaliação ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de ETA, Reuso de resíduos, Solos lateríticos.

### **INTRODUÇÃO**

O lodo de estação de tratamento de água (ETA) é o resíduo gerado no processo de tratamento de água bruta para produção de água potável. O lodo de ETA, em geral, é composto de água, sólidos suspensos e produtos químicos adicionados no processo de tratamento (cal, cloro, cloreto férrico e/ou sulfato de alumínio, flúor, polímeros e outros). Os principais sólidos no lodo são substâncias inorgânicas (partículas de solo, cálcio, magnésio, ferro, manganês, hidróxidos de alumínio etc.) e orgânicas (algas, bactérias, vírus, e partículas de resíduos orgânicos de origem vegetal). Apesar do baixo teor de sólidos, os lodos de ETAs são considerados resíduos sólidos de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).

No Brasil, os lodos de ETA têm sido tipicamente dispostos em cursos de água sem prévio tratamento (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2018), embora a Resolução CONAMA 430 (2011) estabeleça condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água que devem ser verificados em cada caso.

Diversas pesquisas têm sido realizadas visando a disposição final benéfica do lodo de ETA ou seu reaproveitamento em diferentes processos industriais, como: compostagem (SILVA; FERNANDES, 1998), material de cobertura em aterros sanitários (RODRÍGUEZ et al., 2011, DOS SANTOS & HEMSI, 2018), disposição em estações de tratamento de esgoto (DI BERNARDO; CARVALHO; SCALIZE, 1999), fabricação de elementos cerâmicos (MONTEIRO et al., 2008; MORITA et al., 2002), uso como filler na fabricação de concreto asfáltico (DA SILVA,

008; MARTINEZ, 2014), recuperação de áreas degradadas (MOREIRA et al., 2009), uso na agricultura e silvicultura (MACHADO et al., 2004), entre outros.

Uma alternativa promissora de disposição e/ou reaproveitamento do lodo de ETA é a sua utilização em misturas com solos naturais para uso em obras de terra. Solos de propriedades geotécnicas adequadas misturados com lodo de ETA em baixa quantidade, para não alterar significativamente as propriedades do solo, podem apresentar comportamento satisfatório como material de construção em diversas obras geotécnicas.

Este artigo tem como objetivo apresentar o comportamento geotécnico de misturas de uma areia argilosa laterítica da Região do Município de Botucatu com lodo da ETA do Município de Cubatão, São Paulo, em distintas proporções. O estudo compreendeu a realização de ensaios de caracterização geotécnica, compactação, adensamento, condutividade hidráulica, e resistência ao cisalhamento. Para tal fim, definiram-se os teores de lodo que podem ser adicionados sem a ocorrência de perda significativa da qualidade geotécnica do solo natural compactado.

## **MATERIAIS**

O lodo empregado foi coletado na ETA do município de Cubatão. A ETA tem uma capacidade de produção de água potável de 4500 L/s, utiliza o cloreto férrico como agente coagulante, e emprega centrifugas como método de desaguamento do lodo, produzindo lodo com teor de umidade de aproximadamente 350% (22% de teor de sólidos).

O solo, areia argilosa laterítica, foi coletado no Município de Botucatu na região próxima ao aterro sanitário da cidade.

## **METODOLOGIA**

A caracterização geotécnica do solo, do lodo e de misturas solo:lodo foi realizada mediante os ensaios de granulometria, massa específica dos grãos e limites de Atterberg (Limite de liquidez LL e limite de plasticidade LP). A caracterização química e mineralógica da areia de Botucatu e do lodo da ETA Cubatão foi previamente realizada por Zanón (2014), e Montalvan e Boscov (2016).

Foram preparadas misturas solo:lodo, com a areia de Botucatu, nas proporções 5:1, 4:1 e 3:1 (proporção solo:lodo em massa úmida). As misturas foram submetidas a ensaios de compactação com energia Proctor normal em distintas umidades iniciais, obtidas por secagem ao ar e à sombra. Todas as misturas foram preparadas com o solo na umidade higroscópica, aproximadamente 1%, e lodo na sua umidade *in natura*, ao redor de 350%.

Ensaio de adensamento unidimensional, permeabilidade em permeâmetro de parede flexível e compressão triaxial do tipo adensado não drenado com medida de pressão neutra foram realizados com a areia Botucatu e suas misturas com lodo nas mesmas proporções utilizadas nos ensaios de compactação.

Os ensaios de caracterização, compactação e adensamento foram realizados segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os ensaios de permeabilidade e compressão triaxial foram executados segundo as orientações das normas da *American Society for Testing Materials* (ASTM).

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES.**

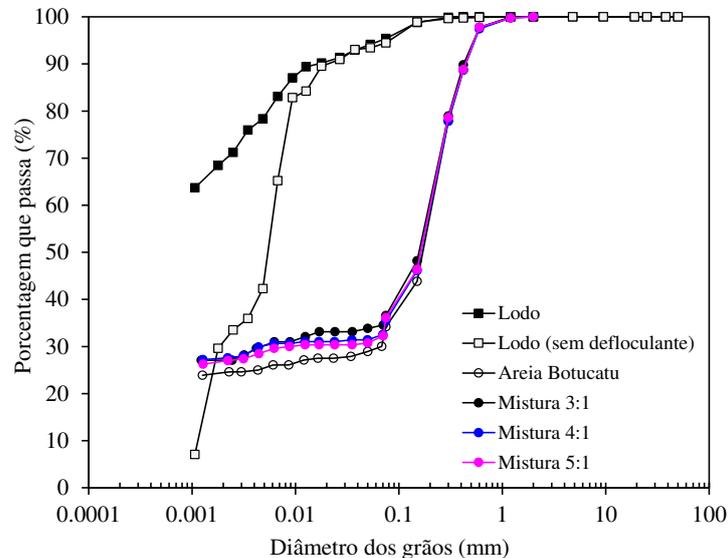
### **CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA**

Na Figura 1 são apresentadas as curvas granulométricas do solo, do lodo e das misturas solo:lodo. Não é observada variação significativa entre a distribuição granulométrica da areia Botucatu e as misturas com lodo. Esse comportamento era o esperado devido à porcentagem de lodo acrescentada (massa seca) ser muito baixa, variando de 4,5% para a mistura 5:1 até 7,5% para a mistura 3:1.

A curva granulométrica do lodo mostra uma alta porcentagem de finos (<0,075 mm), ~95%, e ~69% da massa seca com diâmetro <0,002 mm. O forte efeito do coagulante (cloreto férrico) no lodo é observado na comparação das curvas granulométricas obtidas com e sem uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio) no ensaio de sedimentação.



Na Tabela 1 são apresentados os valores de massa específica dos grãos, limites de Atterberg e classificação dos materiais segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). A areia de Botucatu e o lodo de ETA foram classificados como Areia Argilosa (SC) e Silte de Alta Plasticidade (MH), respectivamente. As misturas da areia Botucatu com o lodo apresentaram a mesma classificação de areia argilosa, SC.



**Figura 1. Curvas Granulométricas dos Materiais.**

**Tabela 1. Caracterização Geotécnica dos Materiais.**

MATERIAL	MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS (g/cm <sup>3</sup> )	LL (%)	IP (%)	CLASSIFICAÇÃO SUCS
Areia Botucatu (B)	2,69	31	14	SC
Lodo Cubatão úmido w~350%	2,90	239	158	MH
Lodo Cubatão seco w~14%	-	-	NP	-
Mistura 5:1	2,686	32	14	SC
Mistura 4:1	2.701	32	15	SC
Mistura 3:1	2.706	33	16	SC

LL= Limite de Liquidez; IP= Índice de Plasticidade; NP= Não Plástico

O lodo apresentou valores de limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) muito superiores àqueles apresentados pelos solos. Diversos autores têm reportado que o lodo de ETA apresenta valores elevados dos limites de Atterberg. Watanabe et al. (2011) determinaram valores de LL variando de 83 a 511%, e de IP de 23 a 325%.

No entanto, o lodo de ETA apresenta valores de LL e IP elevados apenas quando úmido; quando seco, apresenta-se como não plástico (HSIEH; RAGHU, 1997; BASIM, 1999; RODRIGUEZ et al., 2011; WATANABE et al., 2011). Esse comportamento também foi encontrado no lodo da ETA Cubatão (Tabela 1). Na Figura 2 pode-se ver o lodo em estado úmido (teor de umidade w~350%), com consistência plástica, e no estado seco (secagem ao ar, w~14%), com consistência granular e comportamento não plástico.

Uma explicação para o fato de os lodos altamente plásticos na umidade in natura se tornarem não plásticos após secagem, é a perda da camada dupla e a consequente cimentação das partículas, provocando a formação de concreções, fortemente ligadas, de comportamento granular (BASIM, 1999). Ademais, deve-se considerar o efeito cimentante dos produtos químicos presentes no lodo. No caso estudado, o coagulante cloreto férrico resulta em elevada concentração de ferro no lodo (MONTALVAN; BOSCOV, 2016).

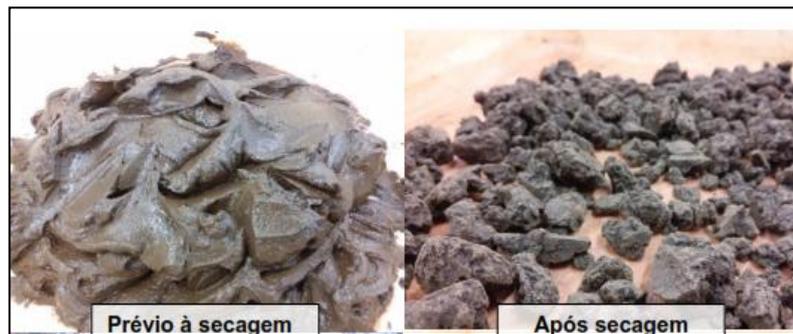


Figura 2. Lodo da ETA Cubatão (úmido e seco ao ar).

## PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO

As curvas de compactação da areia de Botucatu e as misturas solo:lodo encontram-se nas Figura 3. A areia laterítica apresentou semelhantes curvas de compactação para diferentes níveis de secagem prévia, contrário ao comportamento típico de solos laterítico, de serem influenciados pela secagem (BERNUCCI, 1995). Porém, as misturas com lodo foram influenciadas pela secagem prévia, com aumento da massa específica aparente seca máxima e diminuição do teor de umidade ótimo (Figura 3), indicando que o lodo adicionado é responsável por tal comportamento.

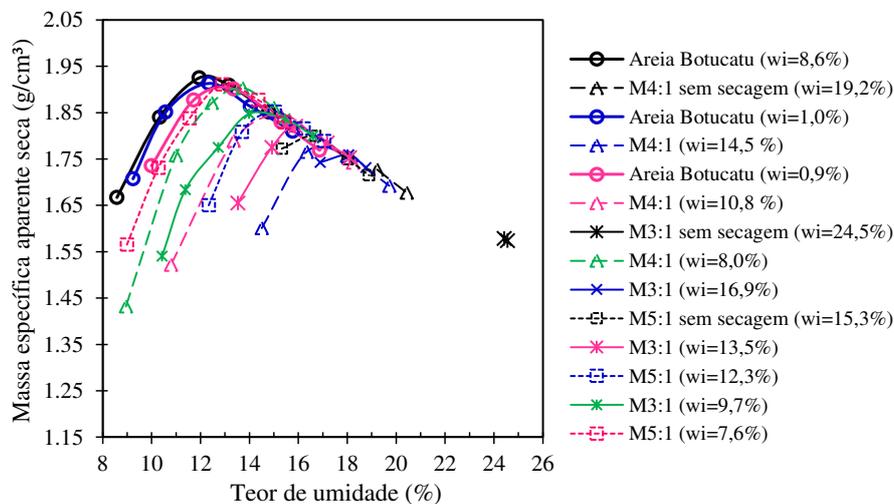


Figura 3. Curvas de Compactação da Areia Botucatu e Misturas Solo:lodo.

## ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Os ensaios de adensamento unidimensional foram realizados em corpos de prova compactados: a areia de Botucatu, na umidade ótima (12,4%), e as misturas, nas suas respectivas umidades resultantes da mistura do solo e o lodo (amostras sem secagem prévia na Figura 3).

A Figura 4 mostra as curvas de adensamento unidimensional e os índices de compressão ( $C_c$ ) da areia e de suas misturas com lodo. Pode-se observar que a compressibilidade aumenta com a proporção de lodo, o que é coerente com o fato de que, quanto maior a proporção de lodo, maior é o teor de umidade da mistura e menor a massa específica aparente seca. Embora a adição de lodo ao solo aumenta sua compressibilidade, os valores do índice de compressão são ainda relativamente baixos, o que possibilita seu uso em obras geotécnicas.

Interessante observar que tanto o solo quanto as misturas apresentaram o mesmo valor de índice de recompressão ( $C_r = 0,02$ ).

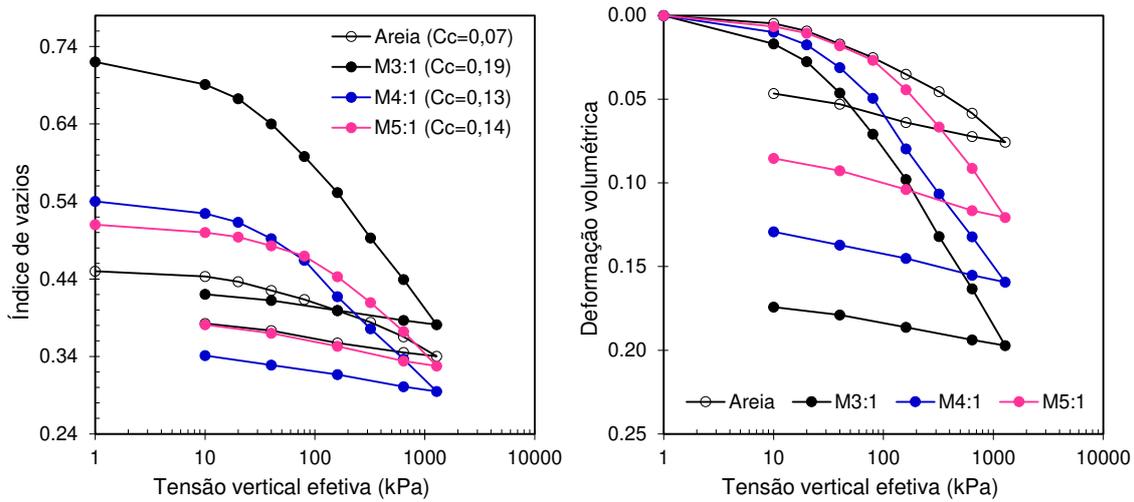


Figura 4. Curvas de Adensamento da Areia Botucatu e das Misturas Solo:lodo.

## CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

Os ensaios de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede flexível foram realizados em corpos de prova da areia de Botucatu e de suas misturas com lodo compactados nas mesmas condições dos ensaios de adensamento. Os ensaios foram executados com pressões de confinamento baixas, 30 e 60 kPa, e gradiente hidráulico (i) 5, recomendado pela ASTM. Os resultados são apresentados na Figura 5.

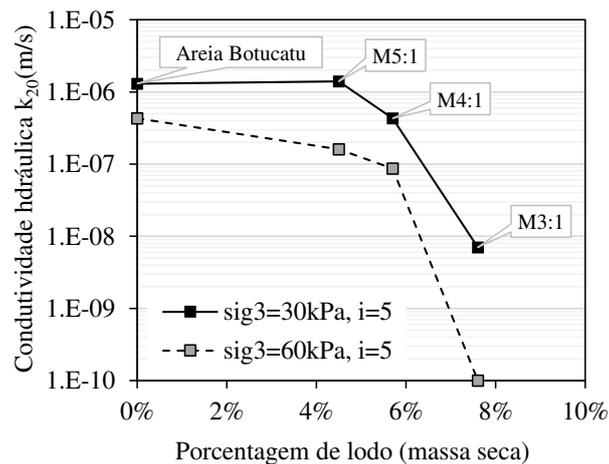


Figura 5. Condutividade Hidráulica (k) da Areia Botucatu e suas Misturas com Lodo.

A condutividade hidráulica (k) da areia laterítica variou entre  $4 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-6}$  m/s, valores, em geral, comuns para uma areia argilosa adensada sob baixa tensão. Com a adição de lodo houve uma redução nos valores da condutividade hidráulica. A mistura 5:1 apresentou valores de condutividade hidráulica próximos aos da areia, variou entre  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-6}$  m/s. A mistura 4:1 apresentou valores ligeiramente menores do que aqueles da areia, variando entre  $9 \times 10^{-8}$  e  $4 \times 10^{-7}$  m/s. A mistura 3:1 apresentou condutividade hidráulica com valor de  $7,0 \times 10^{-9}$  m/s quando ensaiada com pressão confinante de 30 kPa e gradiente hidráulico de 5 e quando ensaiada sob pressão confinante de 60 kPa houve constante redução de k e o ensaio foi interrompido.

A condutividade hidráulica determinada para a areia e misturas com lodo nas proporções 5:1 e 4:1 é superior ao valor mínimo requerido para camada de impermeabilização de fundo (bottom liner) de aterros sanitários,  $1 \times 10^{-9}$  m/s (ABNT-NBR 13896/1997). A mistura 3:1 apresentou condutividade hidráulica de  $7 \times 10^{-9}$  m/s para a tensão



confinante de 30 kPa; esse valor pode talvez ser reduzido ao limite desejável sob as tensões confinantes a que os revestimentos de fundo estão submetidos em campo. Os requerimentos de permeabilidade para uso como material de cobertura diária ou final em aterros sanitários são menos exigentes. Para tal aplicação, todas as misturas apresentam possibilidade de uso.

Durante o ensaio de permeabilidade da mistura 3:1 (mistura com maior teor de lodo), a condutividade hidráulica foi diminuindo até quase cessar a percolação. Depois de 47 dias de ensaio, o volume total percolado era de apenas 0,7 volumes de vazios do corpo de prova. Decidiu-se interromper o ensaio, verificando-se a colmatção do papel filtro colocado entre a amostra e a pedra porosa. O corpo de prova havia-se tornado preto, indicando a ocorrência de reação química entre o lodo, o solo e a água de percolação. Na Figura 6 são apresentados, a título de comparação, os corpos de prova das misturas 5:1 e 3:1 após o ensaio de permeabilidade, mostrando a mudança de cor na mistura 3:1.



**Figura 6. Corpos-de-prova das misturas 3:1 e 5:1 utilizados no ensaio de permeabilidade.**

## COMPRESSÃO TRIAXIAL

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão triaxial foram compactados com as mesmas especificações daqueles utilizados nos ensaios de adensamento e condutividade hidráulica.

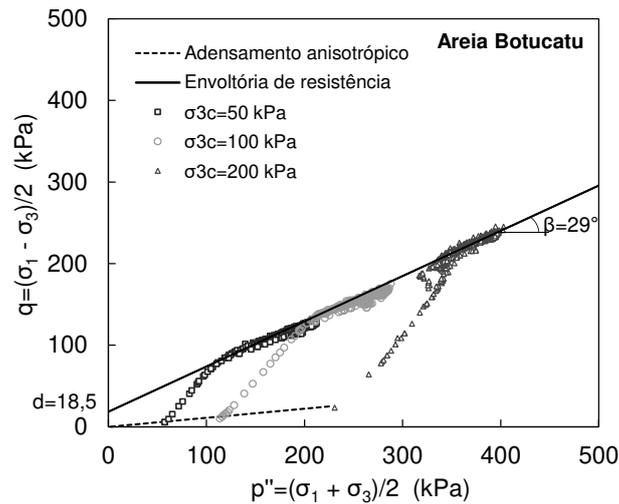
Ensaio de compressão triaxial do tipo adensado não drenado com medida de pressão neutra foram executados. Com cada amostra (solo e misturas) foram realizados três ensaios, com tensões confinantes de 50, 100, e 200 kPa. O adensamento foi do tipo anisotrópico, com o objetivo de se aproximar às condições que ocorrem em campo, além disso, para ter um adequado encostamento do pistão de carga axial no início da fase de cisalhamento. Foi usada uma razão entre a tensão principal menor e a tensão principal maior igual a 0,8.

Os resultados são apresentados por meio dos diagramas de trajetória de tensões efetivas mostrados nas Figuras 7 a 10. Na Tabela 2 são apresentados os valores dos parâmetros de resistência, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo, que foram obtidos a partir dos diagramas de trajetória de tensões usando as equações 1 e 2.

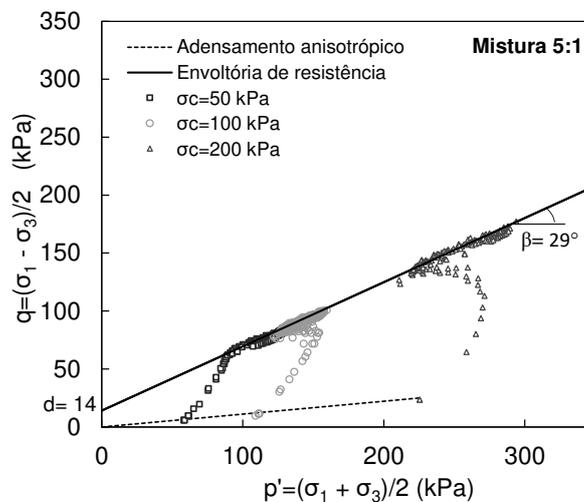
$$\sin(\phi') = \tan\beta \quad \text{equação (1)}$$

$$c' = d / \cos(\phi') \quad \text{equação (2)}$$

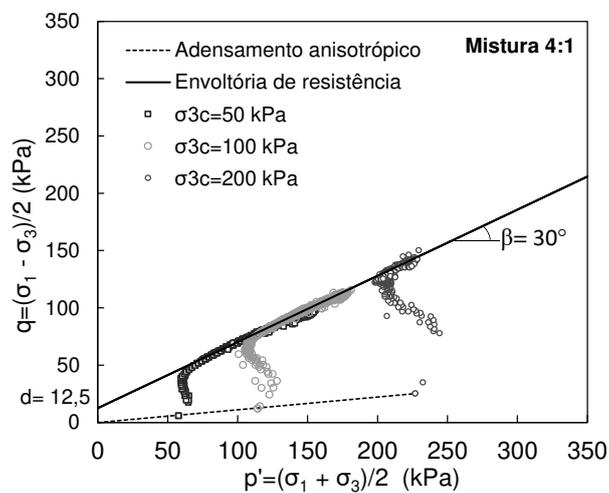
A areia e a mistura 5:1 apresentaram o menor valor de ângulo de atrito efetivo, 34°, e os maiores valores de coesão efetiva, 22 e 17 kPa, respectivamente. A mistura 3:1 apresentou o maior ângulo de atrito, com um valor de 37°, e o menor valor de coesão efetiva, 10 kPa. A mistura 4:1 apresentou ângulo de atrito efetivo e coesão efetiva com valores intermediários respectivamente de 35° e 15 kPa. Esses resultados indicam que, quanto maior a quantidade de lodo adicionado à areia de Botucatu, maior é o ângulo de atrito efetivo e menor a coesão efetiva.



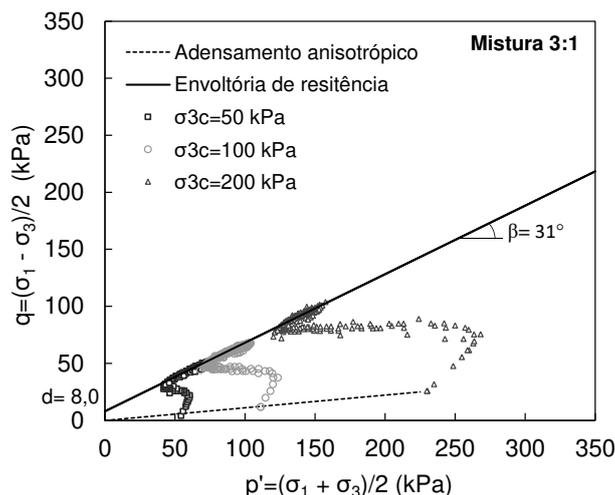
**Figura 7. Trajetória de Tensões Efetivas: Areia Botucatu.**



**Figura 8. Trajetória de Tensões Efetivas: Mistura 5:1.**



**Figura 9. Trajetória de Tensões Efetivas: Mistura 4:1.**



**Figura 10. Trajetória de Tensões Efetivas: Mistura 3:1.**

**Tabela 2. Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento em Termos de Tensões Efetivas.**

PARÂMETRO	AREIA BOTUCATU	M5:1	M4:1	M3:1
$c'$ (kPa)	22	17	15	10
$\phi'$ (°)	34	34	35	37

Alguns autores têm determinado os parâmetros de resistência ao cisalhamento de distintos lodos de ETA (WANG et al., 1992; ROQUE; CARVALHO, 2006; O'KELLY, 2008; O'KELLY; QUILLE, 2010). Os valores para o ângulo de atrito efetivo têm variado entre 39 a 44° com valor médio de 42°, e para a coesão efetiva, entre 0 a 77 kPa com valor médio de 11,2 kPa.

Baseados nos valores dos parâmetros de resistência reportados na literatura, pode-se dizer que o lodo de ETA, em geral, apresenta elevado ângulo de atrito efetivo e baixa coesão efetiva. Esses valores podem explicar os resultados obtidos para as misturas da areia de Botucatu com lodo da ETA Cubatão: com o aumento do teor de lodo nas misturas, o ângulo de atrito tende a incrementar a valores próximos de 40° e a coesão a decrescer a valores próximos de zero.

Ao comparar os parâmetros de resistência das misturas em estudo com aqueles dos solos residuais utilizados na construção de diversos aterros de barragens (CRUZ, 1967), observa-se que os valores obtidos para as misturas são, em geral, maiores. Isso possibilita, em termos de resistência, o uso das misturas da areia de Botucatu com lodo da ETA Cubatão como material de construção em aterros.

## CONCLUSÕES

De acordo com o SUCS, o lodo da ETA do Município de Cubatão e a areia de Botucatu são classificados como MH e SC, respectivamente. As misturas têm a mesma classificação do solo. A adição de lodo não altera significativamente as propriedades índice do solo: granulometria, limites de Atterberg e massa específica dos grãos (Tabela 1).

As misturas 3:1, 4:1 e 5:1, compactadas com energia Proctor normal na respectiva umidade de mistura (sem secagem prévia), apresentam menor massa específica seca que a areia de Botucatu compactada na umidade ótima. A secagem prévia (ao ar) das misturas influi nos parâmetros de compactação: a massa específica seca máxima aumenta e o teor de umidade ótimo diminui com a redução do teor de umidade inicial no ensaio de compactação.

As misturas compactadas na umidade de mistura são mais compressíveis que a areia de Botucatu compactada no teor de umidade ótimo. O índice de compressão da areia é 0,07 e das misturas varia de 0,13 a 0,19. No entanto, o índice de recompressão é praticamente igual para a areia (0,02) e as misturas (0,02 a 0,03).

Os valores de condutividade hidráulica das misturas 4:1 e 5:1 são ligeiramente menores que a da areia para as condições de pressão confinante e gradiente hidráulico estudadas. A mistura 3:1 tem condutividade hidráulica mais baixa, da ordem de 10-9 m/s para tensão confinante de 30 kPa, podendo atingir valores mais baixos sob as tensões confinantes a que estão sujeitos revestimentos de fundo de aterros sanitários. Ademais, essa mistura pode com o tempo colmatar meios porosos adjacentes impedindo a percolação d'água.

A areia de Botucatu apresenta valores de coesão efetiva de 22 kPa e ângulo de atrito efetivo de 34°. Para as misturas 5:1, 4:1 e 3:1, a coesão efetiva diminui com o aumento do teor de lodo (variando de 10 a 17 kPa). O ângulo de atrito efetivo, pelo contrário, aumenta (variando de 34° a 37°).

As características e parâmetros de resistência e compressibilidade das misturas solo-lodo nas proporções 3:1, 4:1 e 5:1, compactadas nas correspondentes unidades de mistura, apresentam valores aceitáveis para solos utilizados em aterros, em camadas de cobertura diária de aterros sanitários e em alguns casos até em camadas de cobertura final ou de revestimento de fundo.

A mistura 3:1 apresenta condutividade hidráulica aceitável para uso como material de revestimento de fundo (camada de impermeabilização) em aterros sanitários, porém, as misturas 4:1 e 5:1 não apresentam valores aceitáveis para serem utilizados nesse tipo de aplicação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da SABESP e FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processos 2013/50448-8 e 2017/24056-6). Os autores gostariam, também, de agradecer aos funcionários da ETA do município de Cubatão pela colaboração no fornecimento e coleta das amostras de lodo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 13896: Solo – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 12p, 1997.
2. ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 71p, 2004.
3. BASIM, S. C. Physical and Geotechnical Characterization of Water Treatment Plant Residuals. Doctoral dissertation, New Jersey Institute of Technology, New Jersey, US, 104p. 1999.
4. BERNUCCI, L. L. B. Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. Tese de Doutora, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 237p., 1995.
5. CRUZ, P. T. *Propriedades de engenharia de solos residuais compactados da região Centro-Sul do Brasil*. THEMAG, DLP, EPUSP, 1967.
6. DA SILVA, J. F. A. Comportamento De Concreto Asfáltico Tendo Lodo Da ETA Da Cidade De Manaus Como Fíler. Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 180 p., 2008.
7. DI BERNARDO, L.; CARVALHO, E. DE; SCALIZE, P. Disposição de resíduos líquidos de ETAs em ETES. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água. PROSAB, 1999.
8. DOS SANTOS S. A.; HEMSI, P. S. *Efeito do Teor de Sólidos na Resistência ao Cisalhamento de um Lodo de ETA Visando seu Uso em Cobertura Diária de Aterros Sanitários*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, Salvador, Bahia, setembro 2018.
9. HSIEH, H. N.; RAGHU, D. *Criteria Development for Water Treatment Plant Residual Monofills*. American Water Works Association & AWWA Research Foundation, USA, 203p., 1997.
10. MACHADO, L.; PEREIRA, J. A. R.; PONTE, M. X.; LOPES, L. N. A. *Avaliação do Aproveitamento Agrícola do Lodo Produzido na ETA Bolonha-RMB*. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR, Florianópolis, SC, p.917-926, 2004.



11. MARTINEZ, J. G. B. Avaliação de Desempenho de Misturas Betuminosas Com Adição de Lodos de ETA e de ETE. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 97 p., 2014.
12. MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. G. *Geotechnical Characterization of a Soil-Water Treatment Sludge Mixture*. Geo-Chicago2016, Chicago, Illinois, US, p.418-427, 2016.
13. MONTEIRO, S. N.; ALEXANDRE, J.; MARGEM, J. I.; SÁNCHEZ, R.; VIEIRA, C. M. F. *Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic*. *Construction and Building Materials*, v.22, n.6, p.1281–1287, 2008.
14. MOREIRA, R. C. A.; GUIMARÃES, E. M.; BOA AVENTURA, G. R.; MOMESSO, A. M.; DE LIMA, G. L. *Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada*. *Química Nova*, v.32, n.8, p.2085–2093, 2009.
15. MORITA, D. M.; SAMPAIO, A. O.; MIKI, M. K.; DAVID, A. C. *Incorporação de lodos de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos*. *Revista Saneas*, v.1, n.14, 2002.
16. O’KELLY, B. C. *Geotechnical Properties of a Municipal Water Treatment Sludge Incorporating a Coagulant*. *Canadian Geotechnical Journal*, v.45, n.5, p.715–725, 2008.
17. O’KELLY, B. C.; QUILLÉ, M. E. *Shear strength properties of water treatment residues*. *Institute of Civil Engineers – ICE, Geotechnical Engineering*, v. 163, n.1, p.23–35, 2010.
18. PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/>. Acesso em: 25/04/2018.
19. QASIM, S. R.; CHIANG, W. *Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control, and Treatment*. Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, US, 323p., (994).
20. ROCCA, A. C. C.; IACOVONE, A. M. M.; BARROTTI, A. J. *Resíduos Sólidos Industriais*. 2a ed, CETESB, São Paulo, 234p., 1993.
21. RODRIGUEZ, T. T.; TEIXEIRA, R. S.; FERNANDEZ, F; OLIVEIRA JUNIOR, O. R.; MARTINS, F. B.; KOMORIN, E. T.; DANZIGUER, D. H. *Estudo da compactação de lodo de ETA para uso em aterros sanitários*. VII Congresso Brasileiro De Geotecnia Ambiental – Regeo, Belo Horizonte, 2011.
22. ROQUE, A. J.; CARVALHO, M. *Possibility of Using the Drinking Water Sludge as Geotechnical Material*. *International Congress on Environmental Geotechnics*, vol.1, p.1535-1542, 2006.
23. SILVA, S.; FERNANDES, F. *Co-compostagem de Biosólidos, Lodo de Tratamento de Água e Resíduos de Podas de Árvores*. Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental: Gestión ambiental en el siglo XXI, Lima, Peru , 1998.
24. WANG, M. C.; HULL, J. Q.; JAO, M.; DEMPSEY, B. A.; CORNWELL, D. A. *Engineering Behavior of Water Treatment Sludge*. *Journal of Environmental Engineering*, v.118, n.6, p.848–864, 1992.
25. WATANABE, Y.; KOMINE, H.; YASUHARA, K.; MURAKAMI, S. *Batch Leaching Test Focusing on Clod Size of Drinking Water Sludge and Applicability to Long-Term Prediction Using Column Leaching Test*. *Geo-Frontiers2011: Advances in Geotechnical Engineering*, ASCE, US, p.1075-1080, 2011.
26. ZANÓN, T. V. B. Avaliação da Contaminação de um Solo Laterítico por Lixiviado de Aterro Sanitário Através de Ensaio de Laboratório e de Retroanálise de Campo. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 101p., 2014.