

Avaliação da Influência da adição de Lodo Têxtil em Propriedades de Resistência de um Solo Tratado com Cimento

Aturiê Felipe Melo Vermollen

Engenheiro Civil de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, turimelo6@gmail.com

Inácio Soares Ribeiro

Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, inaciosr@gmail.com

Helena Paula Nierwinski

Professora adjunta, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, helena.paula@ufsc.br

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo a avaliação e comparação, por meio de ensaios de laboratório, da variação das propriedades de resistência à compressão e ao cisalhamento de um solo residual do município de Joinville tratado com cimento Portland CP-V, com a adição de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria têxtil na sua composição. Foram estudadas misturas com porcentagens de lodo de ETE de 0%, 5%, 10% e 15% cada uma, com 3% de cimento, inicialmente. Posteriormente, uma mistura com 7% de cimento e 15% de lodo foi testada para verificar se o aumento de cimento viabilizaria a adição do lodo nas misturas. Os resultados obtidos para as diferentes dosagens de lodo foram comparadas com as propriedades do solo residual tratado unicamente com cimento e concluiu-se que, à medida que maiores proporções de lodo foram adicionadas, as amostras apresentaram significativa perda de resistência à compressão simples. Os resultados com adição de 7% de cimento apontaram resistências significativamente maiores, cerca de 1425% em relação à dosagem com 3% de cimento, indicando que para maiores porcentagens de cimento, mesmo com a adição da maior porcentagem de lodo, a mistura mostra-se com valores representativos de resistência. Quanto aos ensaios de cisalhamento direto, foram moldadas amostras com 0%, 5%, e 10% de lodo, todas com 3% de cimento. Foi possível identificar um leve incremento na coesão e redução significativa do ângulo de atrito das misturas com adição de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETE, Estabilização química, Solo residual, Resistência à compressão simples, Cisalhamento direto.

ABSTRACT: The present work aims to evaluate and compare, through laboratory tests, the variation in the compression and shear resistance properties of a residual soil from the city of Joinville treated with Portland CP-V cement, with the addition of sludge of an effluent treatment plant (ETE) from a textile industry in its composition. Mixtures with WWTP sludge percentages of 0%, 5%, 10% and 15% each were studied, with 3% cement initially. Subsequently, a mixture with 7% cement and 15% sludge was tested to verify whether the increase in cement would make it possible to add sludge to the mixtures. The results obtained for the different sludge dosages were compared with the properties of the residual soil treated solely with cement and it was concluded that, as greater proportions of sludge were added, the samples showed a significant loss of resistance to simple compression. The results with the addition of 7% cement showed significantly higher resistance, around 1425% in relation to the dosage with 3% cement, indicating that for higher percentages of cement, even with the addition of the highest percentage of sludge, the mixture shows with representative resistance values. As for the direct shear tests, samples were molded with 0%, 5%, and 10% of sludge, all with 3% of cement. It was possible to identify a slight increase in cohesion and a significant reduction in the friction angle of the mixtures with the addition of sludge.

KEYWORDS: WWTP sludge, Chemical stabilization, Residual soil, Simple compressive strength, Direct shear.

1 INTRODUÇÃO

Os efluentes industriais e sanitários configuram grandes poluidores de solos e principalmente águas, sendo que, muitas vezes, são descartados de maneira indevida em corpos hídricos. A poluição, segundo Fellenberg (1980), é qualquer alteração física, química ou biológica que produza modificação no ciclo biológico normal, interferindo na composição da fauna e da flora do meio. De acordo com Mucelin e Bellini (2008), o crescimento populacional, a conseqüente expansão territorial urbana e a ampliação do sistema de produção e consumo industrial têm contribuído para agravar as condições ambientais, sobretudo do cenário urbano.

Com o objetivo de minimizar os efeitos de poluição causados pelo lançamento de efluentes sanitários e industriais em corpos hídricos, no Brasil, as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) tem sido amplamente utilizadas, sendo que, muitas vezes, as composições industriais possuem as próprias unidades de tratamento, que podem operar com diferentes sistemas tecnológicos. O resultado da adoção de um sistema de Estação de Tratamento de Efluentes eficiente é, de acordo com Kelm (2014), água com grau de pureza adequado, livre de grande parte dos resíduos, contaminantes e nutrientes gerados no processo produtivo industrial ou uso sanitário, sendo possível o lançamento em corpo hídrico de maneira adequada.

No entanto, durante o processo de tratamento de efluentes, ocorre a formação de um composto chamado de lodo de ETE, resíduo predominantemente orgânico com textura pastosa. Embora o lodo das ETEs, na maior parte dos processos de tratamento, corresponda a 95% de água, por convenção é denominado como uma fase sólida, distinguindo-se do fluxo do líquido em tratamento. Esse lodo é o principal resíduo sólido gerado no processo de tratamento de efluentes em termos de volume e importância (Santos, 2003).

A atual taxa de geração de resíduos acarretada da evolução tecnológica e do crescimento populacional, impede a geração de um equilíbrio hábil entre o consumo e a reciclagem/reuso, gerando problemas de poluição resultantes da gestão inadequada dos resíduos. Diante disso, é preciso atingir um novo equilíbrio entre o crescimento industrial, as demandas por produtos industrializados e a geração e tratamento dos resíduos, como o lodo de ETE, gerado nesses processos. Uma maneira de atingir tal equilíbrio é aliar parâmetros técnicos e econômicos com a sustentabilidade ambiental, propiciando maneiras de reciclagem ou reuso destes resíduos (Prim, 1996).

A possibilidade de combinação destes lodos de ETE com outros componentes, objetivando formar um material com características importantes, do ponto de vista técnico e econômico, para implementação em fins mais nobres, acaba se tornando atrativa para os setores industriais e também ambientais, sendo que diminui os custos da eliminação para empresas responsáveis pelos resíduos e define uma destinação útil para esse material, conforme disposto por Prim (2011).

O lodo produzido em uma estação de tratamento corresponde a cerca de 1% ou 2% do volume do efluente tratado, entretanto, o tratamento e a disposição final desse resíduo representam de 30% a 50% do custo operacional desse procedimento, conforme a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar, 1999). Atualmente, já ocorre a implementação de lodo tratado para fertilização de solos usados na agricultura, substituição de finos em argamassas, cobertura de aterros sanitários, entre outras finalidades (Costa, 2014).

De acordo com Petry (2015), a construção civil é uma excelente alternativa para receber esses resíduos, já que a extração de matérias-primas utilizada por este segmento gera grandes impactos e apresentam um consumo elevado de energia. Ainda segundo Petry (2015), para tornar viável a utilização e/ou tratamento de resíduos para diferentes fins, são necessários estudos que possam avaliar as propriedades em relação às solicitações mecânicas, podendo-se citar: resistência à compressão, resistência à tração na compressão diametral, durabilidade, resistência ao cisalhamento, entre outras.

Desse modo, justifica-se a execução deste trabalho, com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas de uma mistura de solo residual do município de Joinville/SC, com lodo de estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil com a inserção de agente cimentante. Avaliando-se o comportamento das misturas e o provável decréscimo da resistência à compressão simples e cisalhamento direto pela adição do lodo, objetiva-se avaliar o possível emprego desta mistura para composições de aterros, camadas de reforço de subleito, entre outras finalidades e aplicações de engenharia.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA

Neste item serão descritos os materiais e procedimentos utilizados durante a fase experimental da pesquisa, bem como os critérios e particularidades adotados para o estudo das propriedades físicas dos materiais. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da UFSC – Campus Joinville.

2.1 Materiais

O resíduo de lodo têxtil foi coletado em uma empresa do setor têxtil localizada no município de Joinville – SC. O lodo em questão é originado a partir do sistema de tratamento de efluentes da empresa, que utiliza os métodos de lodos ativados e coagulação/flotação. Para a realização dos ensaios o lodo foi destorroado e deixado em estufa a uma temperatura de aproximadamente 60°C por aproximadamente 2 dias. Optou-se pela secagem do lodo à uma temperatura abaixo dos 100°C, para que não ocorresse eventual queima da matéria orgânica presente na sua composição. A empresa têxtil forneceu informações sobre a composição química do lodo (Tabela 1), sendo que com base nos valores máximos permitidos ABNT NBR 10.004 - Resíduos Sólidos - Classificação, e a comparação dos resultados apresentados pela empresa, o lodo é classificado como Classe II A – Não perigoso, não inerte, o que corrobora com a possibilidade de reuso do material.

Ensaio	Resultado	Unidade	NBR 10004 – Resíduos Sólidos
Reatividade	Ausência	-	Ausência
Corrosividade	8,3	-	2,0 a 12,5
Matéria orgânica	45,08	%	-
Cianeto	<1	mg/kg	Máx. 250,0 mg/kg
Sulfeto de Hidrogênio	<0,200	mg/L	Máx. 500,00 mg/L
Fluoretos	0,5	mg/L	Máx. 150,0 mg/L
Arsênio	<0,008	mg/L	Máx. 1,0 mg/L
Mercúrio	<0,0010	mg/L	Máx. 0,1 mg/L
Bário	0,168	mg/L	Máx. 70 mg/L
Cromo	<0,005	mg/L	Máx. 5,0 mg/L

Fonte: dados fornecidos pela empresa produtora do lodo

O solo que foi utilizado nesta pesquisa foi coletado em uma obra localizada na Rua Aracajú, bairro Santo Antônio em Joinville – SC. O intuito da escolha deste material foi trabalhar com uma amostra de solo residual típico da região de Joinville-SC, o qual poderia ser utilizado em obras de infraestrutura (aterros/pavimentação).

O cimento utilizado neste trabalho foi o CP V-ARI, adquirido diretamente da fábrica da empresa Itambé, em Itajaí – SC e disponível junto ao Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Joinville. De acordo com os relatórios de ensaios disponibilizados pela empresa, o mesmo atende à norma da ABNT NBR 16697:2018, que determina os requisitos desejáveis dos cimentos. Optou-se pela escolha do cimento tipo CP V-ARI, pois o mesmo adquire elevada resistência à compressão nos primeiros dias de cura, sendo recomendado para aplicações que exigem resistência inicial elevada. Para fins laboratoriais, a água destilada é utilizada de modo a estabelecer uma condição padrão para todos os ensaios executados. Para os procedimentos desenvolvidos neste trabalho, incluindo a composição das misturas, a água destilada utilizada foi obtida por meio do destilador presente no Laboratório de Mecânica dos Solos.

2.2 Métodos

O programa experimental adotado consistiu inicialmente na caracterização do lodo e do solo por meio de ensaios de granulometria com sedimentação, limites de Atterberg e densidade real dos grãos, em conformidade com as respectivas normas técnicas brasileiras. Para o solo realizou-se também o ensaio de compactação na energia Proctor normal visando obter a umidade ótima de compactação e o peso específico aparente seco máximo, informações estas que nortearam a definição dos pesos específicos e teor de umidade adotados nas misturas realizadas.

Para a realização das misturas para os ensaios de compressão simples e cisalhamento direto, a dosagem foi feita através da inserção de determinadas porcentagens de cimento e lodo têxtil em substituição à porcentagem de solo em peso seco. A porcentagem de cimento adicionada foi adotada como a mínima possível, levando em consideração a economia das misturas avaliadas, tomando-se como requisito a manutenção da integridade dos corpos de prova durante todas as etapas dos ensaios. Para determinação das proporções de solo, lodo têxtil, cimento e água, primeiramente foi necessária a definição do valor do peso específico aparente seco (γ_d) que seria adotado para as misturas. Com o propósito de se utilizar a combinação dos materiais que apresentasse menor índice de vazios, menor permeabilidade, menor compressibilidade e consequentemente melhor resposta às solicitações externas, no que diz respeito à sua resistência, para a dosagem dos materiais foi utilizado o peso específico aparente seco máximo do solo e a umidade ótima, obtidos a partir do ensaio de Proctor Normal realizado no solo sem mistura.

As dosagens utilizadas para os ensaios de compressão simples consideraram porcentagens de lodo em substituição a massa de solo de 0%, 5%, 10% e 15% e para o ensaio de cisalhamento direto as porcentagens de lodo têxtil foram de 0%, 5% e 10%. Estes valores foram determinados observando que em pesquisas realizadas por outros autores, frações maiores do que 20% desse material configuravam amostras instáveis. As misturas levaram em consideração o teor de cimento de 3%, e posteriormente após verificação de baixos valores de resistência para as misturas com 15% de lodo nos ensaios de resistência à compressão simples (resistência nulas aos 7 dias de cura, e resistências muito baixas aos 14 e 28 dias de cura), optou-se por realizar ensaios em amostras com 7% de cimento e 15% de lodo, afim de se verificar se atingiriam resistências mais altas, inibindo a influência do lodo no que diz respeito ao desenvolvimento de resistência.

Para o procedimento de elaboração dos corpos de prova para os ensaios de compressão simples, foi utilizado um molde bipartido metálico, conforme mostrado na Figura 1a. Com esse molde foram moldados 39 corpos de prova com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. O processo de compactação das misturas foi realizado em três camadas de altura controlada, com o auxílio de uma prensa manual do Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC-Joinville. Depois de moldados, os corpos de prova foram devidamente pesados, foram realizadas três medições de altura e diâmetro e em seguida foram colocados em sacos plásticos fechados e identificados. Desse modo foi respeitado o período de cura do cimento de 7, 14 e 28 dias até a ruptura. Os corpos de prova para o ensaio de compressão simples podem ser observados através da Figura 1b. A ruptura dos corpos de prova foi realizada com o auxílio de uma prensa utilizada para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), na qual utilizou-se um anel dinamométrico, devidamente calibrado, para a obtenção da carga aplicada ao corpo de prova até o momento de sua ruptura (Figura 1c).



Figura 1. Molde utilizado para confecção do corpos de prova para ensaios de compressão simples (a), corpos de prova (b) e prensa para ruptura (c)

Para a realização do ensaio de cisalhamento direto seguiram-se as diretrizes da norma norte-americana ASTM D3080. Os ensaios foram realizados com o auxílio do equipamento demonstrado pela Figura 2a, presente no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC-Joinville. O conjunto de cisalhamento é constituído por uma caixa deslizante apoiada sobre uma esteira de rolamentos. O conjunto de sensores eletrônicos do equipamento é composto por sensores de deslocamento e célula de carga, os quais permitem o monitoramento digital na interface, dos deslocamentos ocorridos e da carga aplicada na amostra. A Figura 2b demonstra a caixa de cisalhamento na qual é inserido o corpo de prova para o ensaio. Observa-se, ainda, na Figura 2b a presença das pedras porosas que são posicionadas acima e abaixo do corpo de prova e o molde metálico de dimensões de 6 x 6 cm, utilizado para a moldagem do corpo de prova.

Para a obtenção dos corpos de prova para o ensaio do cisalhamento direto, primeiramente moldou-se um corpo de prova de maiores dimensões, utilizando-se o cilindro pequeno do ensaio de compactação (Proctor). Foram moldados 3 cilindros com dosagens de 3% de cimento e 0%, 5% e 10% de lodo. Após um período de cura médio de aproximadamente 14 dias (período variável em função do tempo necessário para a realização do ensaio), foram moldados os corpos de prova para o ensaio de cisalhamento direto, com o auxílio do anel metálico quadrado biselado, de 6 centímetros de lado. De cada cilindro de compactação foram extraídos três corpos de prova. A Figura 2c apresenta o processo de obtenção dos corpos de prova para o ensaio de cisalhamento direto. Salienta-se que houve dificuldades na moldagem final do corpo de prova para o ensaio, sendo que eventuais perturbações ocasionadas nesta etapa podem ter afetado os resultados obtidos no ensaio de cisalhamento direto realizado no material.



Figura 2. Equipamento do ensaio de cisalhamento direto (a), caixa de cisalhamento (b) e moldagem dos corpos de prova para o ensaio de cisalhamento direto (c)

Para cada um dos três corpos de prova com a mesma dosagem, primeiramente foi realizada a etapa de adensamento. Nessa etapa, o corpo de prova foi colocado na caixa de cisalhamento e posicionado no equipamento, sendo inundado com água, com o intuito de eliminar efeitos de sucção na amostra. Para o presente estudo, os corpos de prova de uma mesma dosagem foram submetidos a tensões normais de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, a fim de possibilitar a obtenção da envoltória de resistência dos materiais. O término do adensamento do corpo de prova foi determinado a partir do fim da variação nas deformações verticais significativas medidas pelo equipamento.

Depois de devidamente adensado, o corpo de prova no equipamento foi submetido ao ensaio de cisalhamento direto. Para este, foi estipulado um avanço da parte superior da caixa bipartida de 0,05 mm/min, sendo o avanço máximo definido como sendo de 8 mm (cerca de 13% da dimensão do corpo de prova). As leituras de resistência ao cisalhamento foram realizadas automaticamente pelo equipamento, e os dados gerados puderam ser convertidos em uma planilha do Excel, para posterior análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados da caracterização básica do solo e do lodo têxtil e os resultados fornecidos pelos ensaios de compressão simples e cisalhamento direto executados nas misturas de solo, cimento e lodo têxtil, em diferentes proporções.

2.1 Caracterização do lodo têxtil e do solo

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física realizados no solo e no lodo têxtil. Observa-se que o solo possui predominância de partículas do tamanho de silte e argila, com alta plasticidade. O peso específico aparente seco e umidade ótima obtidos no ensaio de compactação são típicos de solos argilosos. Já o lodo não apresenta plasticidade, possui predominância de partículas do tamanho de areia e a densidade dos grãos é baixa, com valor de 1,84. Lucena (2012) encontrou valor para massa específica real dos grãos de lodo de estação de tratamento de efluentes de Recife-PE de 1,95 g/cm³. Kelm (2014), encontrou valores de massa específica real dos grãos para lodo de estação de tratamento de efluentes de 1,68 g/cm³. Desse modo, o valor encontrado de 1,84 g/cm³ configura um valor intermediário, coerente com outros encontrados na literatura.

Tabela 1. Características físicas do solo e do lodo

Propriedade	Solo	Lodo	Unidade
Limite de Liquidez (LL)	61	-	%
Limite de Plasticidade (LP)	37	-	%
Índice de Plasticidade (IP)	24	Não-Plástico (NP)	%
Densidade dos Grãos	2,60	1,84	-
Pedregulho (D>2mm)	6,09	2,46	%
Areia grossa (0.6 mm < D < 2 mm)	9,57	21,84	%
Areia média (0.2 mm < D < 0.6 mm)	12,00	25,64	%
Areia Fina (0.06 mm < D < 0.2 mm)	4,0	22,95	%
Silte (0.002 mm < D < 0.06 mm)	42,05	21,27	%
Argila (D < 0.002 mm)	32,38	5,84	%
Diâmetro médio das partículas, D ₅₀ (mm)		0,3	mm
Peso específico seco máximo por compactação Proctor Normal	14,88	-	kN/m ³
Umidade ótima por compactação Proctor Normal	25	-	%
Classificação SUCS	CH	SM	-
Classificação AASTHO	A-7-5	A-2-4	-

2.2 Ensaios de compressão simples

A Figura 3 apresenta a média dos valores de resistência à compressão simples (qu) obtidas para os diferentes teores de lodo e 3% de cimento e diferentes tempos de cura. Observa-se a gradativa perda de resistência com o acréscimo de lodo às misturas. A resistência à compressão simples dos corpos de prova com 15% de lodo e 7 dias de cura foram praticamente nulas e, portanto, não foram apresentadas graficamente. A partir dos baixos valores de resistência encontrados para os corpos de prova com 15% de lodo em sua composição, optou-se por realizar um experimento incorporando teor de cimento de 7% nessa mistura, com o objetivo de se avaliar a influência da adição de um teor maior de cimento em misturas com grandes porcentagens de lodo, a fim de se verificar se maiores teores de cimento são capazes de inibir a perda de resistência provocada pelo lodo. A partir disso foram moldados três corpos de prova com 7% de cimento e 15% de lodo, cada um rompido após 7, 14 e 28 dias de cura do cimento.

A média dos resultados obtidos são apresentados na Figura 4. Observa-se grande ganho de resistência dos corpos de prova com a adição de 7% cimento, sendo que após os 28 dias de cura a resistência à compressão

simples obtida é de 699,84 kPa, cerca de 1425% maior do que os 49,12 kPa obtidos nos corpos de prova com 3% de cimento, para a mesma quantidade de lodo. Destaca-se que os resultados obtidos são provenientes de ensaios em triplicada e os valores de umidade e peso específico mantiveram-se dentro das taxas de variação aceitas por norma.

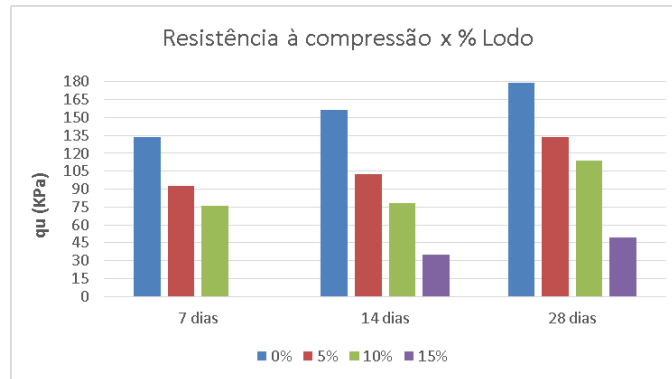


Figura 3. Decréscimo na resistência à compressão em função do aumento do teor de lodo.

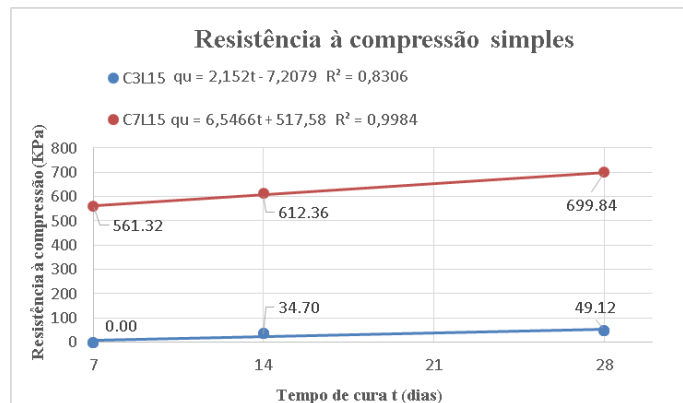


Figura 4. Variação da resistência à compressão em função do teor de cimento para amostras com 15% de lodo para 7, 14 e 28 dias de cura.

2.3 Ensaios de cisalhamento direto

Os resultados obtidos através dos ensaios de cisalhamento direto estão resumidos na Tabela 2, sendo os mesmos obtidos para um tempo de cura médio de 14 dias. Foram ensaiados três corpos de prova para cada mistura indicada na Tabela 2. A partir do resumo dos resultados apresentados, verifica-se que os mesmos foram intensamente influenciados pelas eventuais perturbações nos corpos de prova durante o processo de moldagem. De modo geral, observaram-se grandes variações de ângulo de atrito das amostras e resultados de coesão muito abaixo do provável para misturas com cimento incorporado. Não foram obtidos resultados compatíveis com outros trabalhos consultados na literatura, como por exemplo, o trabalho desenvolvido por Montalvan (2003) que verificou redução de coesão com a adição de lodo de ETA nas misturas, e pequeno aumento do ângulo de atrito, algo em torno de 3° de variação, muito menores do que as variações obtidas para este parâmetro no presente trabalho. Salienta-se que os resultados obtidos neste trabalho podem ter sido fortemente afetados pelas dificuldades encontradas durante a moldagem dos corpos de prova para o ensaio.

Tabela 2. Resumo dos resultados do ensaio de cisalhamento direto.

Mistura avaliada	Cimento (%)	Lodo (%)	Ângulo de atrito (ϕ')	Coesão (c')
1	3	0	41,90°	12,31 kPa
2	3	5	32,09°	13,19 kPa
3	3	10	22,17°	15,55 kPa

4 CONCLUSÕES

A presente pesquisa objetivou avaliar a influência da adição de lodo têxtil na resistência à compressão simples e parâmetros de resistência ao cisalhamento de um solo estabilizado com cimento. A adição de lodo demonstrou perdas de resistência à compressão simples em misturas com 3% de cimento, sendo esta perda menos considerável com a adição de 7% de cimento. Resultados do ensaio de cisalhamento direto apresentaram baixos valores de coesão, fato não esperado para solos tratados com cimento. Acredita-se que o método de moldagem dos corpos de prova para o ensaio de cisalhamento possa ter afetado os resultados. Novas técnicas de moldagem dos corpos de prova devem ser explorados para trabalhos futuros, bem como, a realização de ensaios triaxiais nas misturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa, F. M. S. (2014). *Estudo da viabilidade da utilização de cinza de lodo de esgoto como adição em argamassa de cimento Portland*. Dissertação de Mestrado em Mecânica das Estruturas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Fellenberg, G. (1980). *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda.
- Kelm, T. A. (2014) *Avaliação do uso de lodo de estação de tratamento de esgoto na estabilização de materiais para pavimentação*. 2014. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Moltanvan, E. L. T. (2016). *Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo da estação de tratamento de água do município de Cubatão, SP*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Mucelin, C. A.; Bellini, M. (2008) *Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano*. Sociedade & Natureza. Uberlândia, n. 20, p. 111-124.
- Petry, N. S. (2015). *Uso de resíduos de ágata como agregado em argamassa de cimento Portland branco*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Prim. E.C.C. (1996) Relatório de visita técnica à indústrias têxteis de Blumenau. Florianópolis - UFSC, 1996. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- Prim. E. C. C. (2011) *Utilização de lodo de estações de tratamento de água e esgoto como material de cobertura de aterro sanitário*. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Sanepar – Companhia de Saneamento do Paraná. (1999) *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Manual técnico, p. 96, Curitiba.
- Santos, A. D. (2003) *Estudo da possibilidade de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade de São Paulo. São Paulo.