

Efeito da adição de composto orgânico no solo de Camadas de Cobertura de Aterros Sanitários e sua influência nas propriedades geotécnicas



Effect of organic compost addition in the soil of landfill cover layers and its influence on geotechnical properties




- ▶ **Data de entrada:**
04/02/2019
- ▶ **Data de aprovação:**
23/12/2019

Jeovana Jisla das Neves Santos^{1*} | Jordan Carneiro Martins de Souza¹ | Pablo da Silva Araújo¹ | Márcio Camargo de Melo¹ | Veruschka Escarião Dessoles Monteiro¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2021.038>

ORCID ID

Santos JJN  <https://orcid.org/0000-0001-9914-5549>
Souza JCM  <https://orcid.org/0000-0001-7571-6298>

Araújo PS  <https://orcid.org/0000-0002-5251-2484>
Melo MC  <https://orcid.org/0000-0001-6215-8100>
Monteiro VED  <https://orcid.org/0000-0002-7714-5692>

Resumo

A adição de composto orgânico aos solos de cobertura de aterros sanitários, principalmente em regiões do semiárido, apresenta-se como ótima alternativa para melhoramento das suas propriedades. O principal objetivo é avaliar a influência da adição de composto orgânico no solo em relação às propriedades geotécnicas de misturas estudadas. O campo experimental foi o Aterro Sanitário em Campina Grande-PB. O solo utilizado foi coletado diretamente da camada de cobertura e o composto orgânico, resultante de compostagem, foi concedido pelo laboratório de engenharia agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. Os ensaios de caracterização geotécnica e sucção foram realizados segundo normas nacionais e internacionais. Verificou-se uma diminuição no percentual de partículas finas, aumento dos limites de consistência e redução da massa específica seca máxima na compactação, além de aumento da capacidade de retenção de umidade com o aumento do percentual orgânico nas misturas. Conclui-se que a adição de composto orgânico ao solo contribuiu para melhorar suas propriedades geotécnicas e fornecer nutrientes adequados ao processo de oxidação de metano por bactérias metanotróficas.

Palavras-chave: Sucção. Matéria orgânica. Compostagem. Misturas. Oxidação de metano. Bactérias metanotróficas.

Abstract

The addition of organic compound to landfill cover layers soils, especially in semi-arid regions, presents itself as an excellent alternative for the improvement of its properties. The main objective is evaluating the influence of the addition of organic compound on soil in relation to the geotechnical properties of the studied mixtures. The experimental field was the Landfill in Campina Grande-PB. The soil used was collected directly from the cover layer and the organic compound resulting from composting was granted by the agricultural engineering laboratory of the Federal University of Campina Grande. The geotechnical characterization and suction tests were performed according to national and international standards. There was a decrease in the percentage of fine particles, increase of the consistency limits and reduction of the maximum dry specific mass in compaction, as well as increase of the

¹ Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande - Paraíba - Brasil.

* **Autora correspondente:** jeovana_jisla@hotmail.com.

moisture retention capacity with the increment of the organic percentage in the mixtures. It was concluded that the addition of organic compound to the soil contributed to improve its geotechnical properties and to provide adequate nutrients to the process of methane oxidation by methanotrophic bacteria.

Keywords: Suction. Organic matter. Composting. Mixtures. Methane oxidation. Methanotrophic bacteria.

1 INTRODUÇÃO

Camadas de cobertura de solo compactado de aterros sanitários funcionam como uma barreira física, química e/ou biológica. Entretanto, devido às condições climáticas, sobretudo em países tropicais, podem ocorrer ciclos de umedecimento e secagem relacionados a períodos de grandes precipitações e elevadas temperaturas na época de estiagens. Tais condições podem acarretar em mudanças no comportamento do solo, no que se refere às suas propriedades geotécnicas, principalmente mecânicas e hidráulicas. Mudanças geotécnicas nas camadas de solo compactado direcionadas à cobertura de aterros podem, por exemplo, conduzir a uma perda da eficiência de retenção das emissões de gases e, assim, implicar em poluição atmosférica (CANDIANI, 2018)

Portanto, conforme as características geotécnicas do material utilizado e as condições meteorológicas da região onde o empreendimento se encontra, a forma de concepção dessa camada de cobertura deve ser considerada para evitar riscos sanitários e ambientais, pois devido à complexidade de fenômenos de interações físicas, químicas e biológicas essas camadas apresentarão um comportamento específico (MOREIRA, 2018).

Camadas convencionais de aterros sanitários em regiões de clima árido ou semiárido podem apresentar riscos sanitários e geotécnicos devido a fissuras, deficiência na coesão entre as partículas, em virtude da rarefação da cobertura vegetal nessas camadas. Para aumentar a coesão entre as partículas do solo e até mesmo a flora bacteriana presente, e auxiliar no desenvolvimento de cobertura vegetal, uma das alternativas é introduzir uma mistura de composto orgânico oriun-

do de compostagem, ao solo. A mistura orgânica, além de apresentar uma umidade adequada, possui microrganismos não-patógenos, que podem melhorar as características físicas e geotécnicas deste solo, bem como permitir a oxidação do metano (CH_4) que, porventura, difunda-se por essa camada, já que essa mistura pode ser enriquecida por microrganismos metanotróficos.

Em regiões de clima semiárido, a adição de composto orgânico às jazidas de solo pode ser viável e econômica, já que o material orgânico maturado pode compor a camada de cobertura de aterros sanitários, como foi utilizado nos estudos de Koshand e Fall (2014), Scheutz et al. (2014) e Santos (2015).

Estudos desenvolvidos no Aterro Sanitário em Campina Grande - PB, inclusive, podem ser ampliados para outros aterros com condições meteorológicas semelhantes.

2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é avaliar a influência da adição de composto orgânico, de folhas de jardim e esterco bovino, nas propriedades geotécnicas (mecânicas, hidráulicas) e sucção das misturas de solo: composto, com proporções de 3:1 e 1:1 (solo: composto) em peso.

3 METODOLOGIA

3.1 Campo Experimental: Caracterização do Aterro Sanitário em Campina Grande - PB

O campo experimental deste estudo foi o Aterro Sanitário em Campina Grande - PB (ASCG). Esse aterro encontra-se localizado no distrito de Catolé

de Boa Vista, a 10 Km da área urbana do município de Campina Grande-PB, conforme pode ser visto na

Fig. 1, sob coordenadas geográficas 7°16'38" latitude Sul e 36°00'51" longitude oeste de Greenwich.

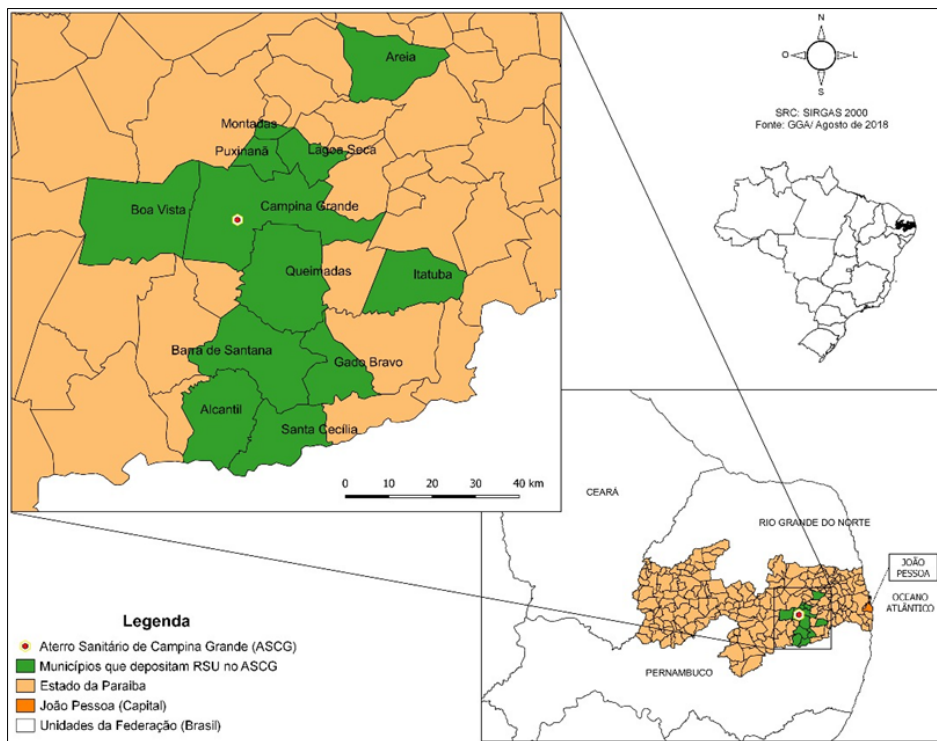


Figura 1 - Localização do Aterro Sanitário em Campina Grande - PB.
Fonte: Grupo de Geotecnia Ambiental (2018).

O ASCG iniciou sua operação em julho de 2015, sendo projetado para finalizar com 22 células em um tempo de vida útil de 25 anos. Atualmente, o ASCG possui 4 células de disposição de resíduos, com área de base de aproximadamente 100 x 100 m, altura em torno de 20 m, escalonadas em platôs de 5 m, com bermas de 6 m.

3.2 Coleta e análises geotécnicas de solo e misturas solo-composto orgânico

3.2.1 Coleta de solo

A coleta de amostra de solo foi realizada na camada de cobertura da Célula 2 do ASCG (Fig. 2) para posterior análise físico-química e geotécnica.

O número de pontos para coleta de amostras de solo foi realizado por meio do Teorema Central

do Limite, que é um teorema fundamental de probabilidade e estatística.

O teorema descreve a distribuição da média de uma amostra aleatória de uma população com variância finita. Quando o tamanho amostral é suficientemente grande, a distribuição da média é uma distribuição aproximadamente normal (LARSON E FABER, 2004; GUEDES, 2018). O teorema aplica-se independentemente da forma da distribuição da população. No caso de o número de amostras ser maior que 30, a população tem qualquer distribuição, então a distribuição das médias amostrais pode ser aproximada por uma distribuição Normal. Com base nessa premissa, foram coletadas amostras de solo em 31 pontos distribuídos uniformemente ao longo da Célula 2, conforme Fig. 2.

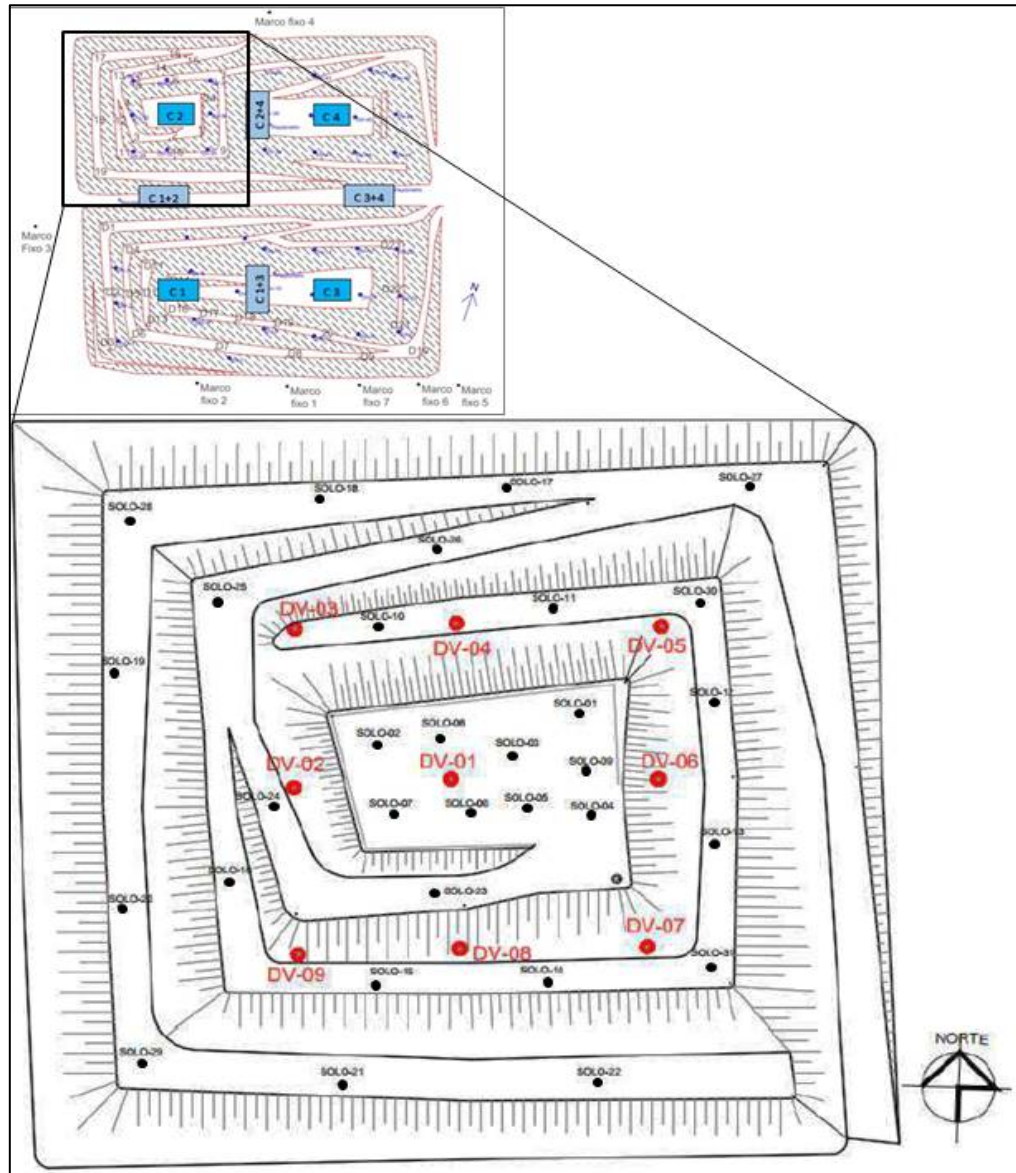


Figura 2 - Pontos de coleta de amostra de solo na Célula 2
 Fonte: Grupo de Geotecnia Ambiental (2018).

Conforme metodologia de amostragem da EM-BRAPA (2006), foi realizada a homogeneização das amostras simples para obtenção de uma amostra composta e representativa da Célula 2.

Para coleta do material realizou-se um furo superficial na camada de cobertura de solo compactado (*liner*), de aproximadamente 0,15m, em cada ponto de amostragem previamente definido pelo método do Teorema Central do Limite, descrito anteriormente. Essa profundidade foi

estabelecida como forma de isentar as amostras coletadas de qualquer material orgânico, a exemplo de raízes de plantas, que pudessem interferir nas análises. Em seguida, retirou-se uma amostra de solo de aproximadamente 0,5 kg, em cada ponto da camada de cobertura, previamente selecionada, a qual foi armazenada em saco plástico do tipo “zíper”, com objetivo de manter a integridade da amostra de solo. Posteriormente, o solo foi encaminhado ao Laboratório de Geo-

tecnia Ambiental (LGA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para a realização dos ensaios necessários.

As amostras de solo de cada ponto, em torno de 0,5 Kg (Fig. 3b) foram cuidadosamente destorroadas (Fig. 3a). Após o destorroamento, realizou-se no LGA/UFCG a homogeneização de todo o solo coletado nos 31 pontos na camada de cobertura da Célula 2, baseado nas metodologias

da EMBRAPA (2006) e na NBR 6457 (ABNT, 2016). Obteve-se, assim, uma amostra composta de 15,5 Kg para a caracterização física desse solo. Em seguida, essa amostra composta foi colocada para secar ao ar livre (Fig. 3c). Posteriormente à sua secagem, realizou-se o quarteamento do solo (Fig. 3d) e retiraram-se as quantidades de material necessárias à execução de cada ensaio de caracterização seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

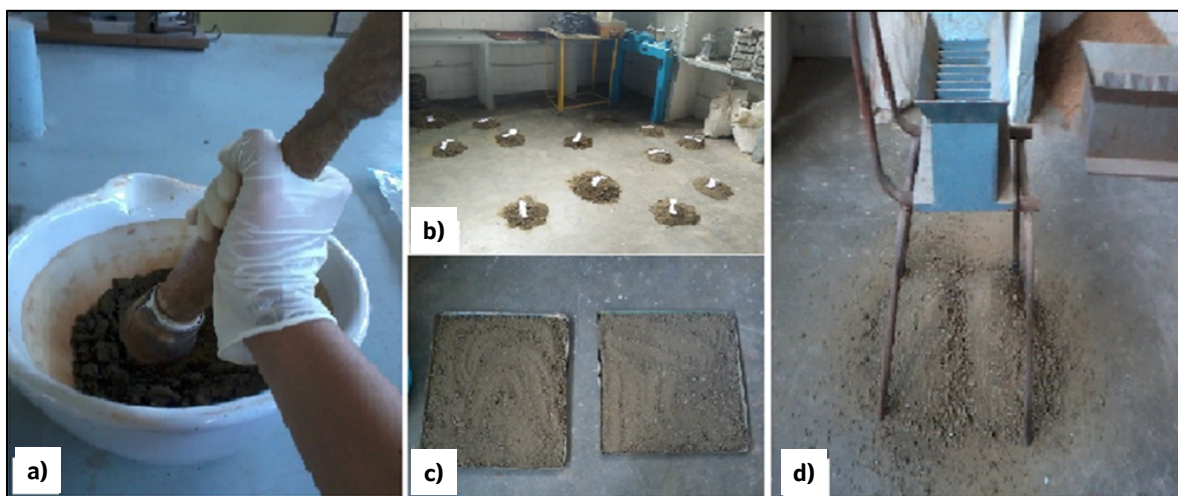


Figura 3 - Preparação das amostras a) destorroamento; b) homogeneização; c) secagem ao ar livre; d) quarteamento.
Fonte: Arquivo de Pesquisa (2018).

A última etapa de preparação das amostras consistiu no peneiramento e pesagem das quantidades equivalentes a cada ensaio de caracterização.

3.2.2 Coleta de composto orgânico

O composto utilizado nas misturas estudadas nesta pesquisa foi fornecido pelo Laboratório de Tecnologias Agroambientais (LTA/UFCG) vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

O composto orgânico é constituído de uma proporção de 3:1 em peso (Folhas de plantas de

jardim: esterco bovino), sendo resultante de um processo de compostagem que durou 110 dias. A leira foi formada a partir de 30 cm de altura de folhas de plantas de jardim e folhas de plantas coletadas no Campus I da UFCG, e 6 cm de esterco, com irrigação regular de água e 4 reviragens da leira a cada 15 dias, durante o período inicial de compostagem. Finalmente, o composto foi acondicionado em sacos plásticos (Fig. 4a) e encaminhado para o LGA, no qual foram realizadas as etapas de secagem ao ar livre (Fig. 4b) e preparação das misturas de solo e composto orgânico (Fig. 4c).



Figura 4 - Composto orgânico e misturas; a) Coleta do composto; b) secagem ao ar livre; c) misturas (solo-composto).

Fonte: Arquivo de Pesquisa (2018).

O Quadro 1 apresenta as metodologias que foram utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização geotécnica, química e o ensaio para determinação das curvas características de umidade (sucção).

Quadro 1 - Ensaios para caracterização geotécnica e química e determinação das curvas de retenção de umidade das amostras.

Ensaio	Método
Preparação de amostras e teor de umidade	NBR 6457 (ABNT, 2016) – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização
Massa específica dos grãos	NBR 6458 (ABNT, 2016) – Solo – Determinação da massa específica dos grãos de pedregulho que passam na peneira 4.8 mm
Limite de Liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2016) – Solo – Determinação do Limite de Liquidez
Limite de Plasticidade	NBR 7180 (ABNT, 2016) – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade
Compactação	NBR 7182 (ABNT, 2016) – Solo – Ensaio de Compactação
Granulometria por peneiramento e sedimentação	NBR 7181 (ABNT, 2016) – Solo – Análise Granulométrica
Permeabilidade à água	NBR 14545 (ABNT, 2000) – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga
Complexo Sortivo	EMPRABA (2011)
Matéria Orgânica	EMPRABA (2011)
pH em H ₂ O	EMPRABA (2011)
Curva de retenção de água (Sucção)	D5298 (ASTM, 2010)

Fonte: Arquivo de Pesquisa (2018).

3.2.3 Metodologia de sucção (Papel filtro)

Para a determinação das curvas características de umidade foi utilizado o método do papel filtro. O método baseia-se no princípio de absorção e equilíbrio que existe quando um material poroso com certa umidade é posto em contato com um papel filtro, com umidade menor. O papel filtro passa a absorver uma certa quantidade de água

do solo até que o sistema entre em equilíbrio de sucção (SANTOS, 2015; ARAÚJO, 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados referentes à caracterização geotécnica e sucção das amostras estudadas. A Tabela 1 apresenta também as características físico-químicas do solo e composto orgânico estudados.

Tabela 1 - Resultados da caracterização química de solo e composto orgânico.

Características químicas	Solo	Composto orgânico
Cálcio (cmolc/Kg)	4,35	23,55
Magnésio (cmolc/Kg)	6,64	37,12
Potássio (cmolc/Kg)	0,30	10,54
Nitrogênio (cmolc/Kg)	0,02	82,46
Carbono Orgânico (%)	0,22	7,68
Matéria Orgânica (%)	0,38	13,23
pH H ₂ O (1:2,5)	7,08	8,26

Fonte: Arquivo de Pesquisa (2018).

O solo apresenta uma Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de 14,6 cmolc/Kg, enquanto o composto orgânico apresenta uma CTC de 71,21 cmolc/Kg, correspondendo a um aumento de, aproximadamente, 81 % em relação ao solo. Uma CTC menor que 27 cmolc/Kg é considerada baixa, conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006).

É interessante verificar que solos com elevada CTC apresentam maiores taxas adsorptivas, o que implica em maior poder agregante de partículas com cargas contrárias a este solo. Assim, compostos tóxicos e com cargas elétricas como íons podem ser imobilizados aos solos. Por exemplo, as argilas, além de terem uma área superficial elevada, ainda possuem uma carga eletrostática final negativa, o que faz com que metais pesados fiquem agregados ou adsorvidos a este solo, considerando-se também que pH, temperatura e outros fatores físicos e químicos podem influenciar na adsorção de contaminantes. Quando se adiciona composto orgânico aos solos naturalmente encontrados em jazidas, pode-se aumentar o seu poder adsorptivo e, além disso, há um aumento natural da flora bacteriana que também é benéfico em propriedades adsorptivas de solos, permitindo, ainda, a realização de processos de oxidação de CH₄ em camadas de cobertura de aterros, o que pode reduzir significativamente emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Outro fator importante na adição de compostos orgânicos em solos de cobertura de aterros em locais de clima árido e semiárido é a adição de macronutrientes e a própria matéria orgânica presentes nestes compostos, que também auxiliam no desenvolvimento da biota microbiana e até mesmo na cobertura vegetal desses solos, uma vez que haverá uma maior retenção de líquidos.

A Saturação por Bases do solo (macronutrientes, argila e CTC), por sua vez, foi de 53,26%, o que o torna um meio Eutrófico (fértil), segundo Santos (2015), e possivelmente propício para o desenvolvimento de bactérias metanotróficas, que oxidam o CH₄ em camadas de cobertura de aterros sanitários. Vale salientar que, apesar de o solo das jazidas destinadas a cobertura de aterros ser fértil, o clima semiárido da região torna bastante difícil o desenvolvimento da vegetação sobre essas camadas e, por isso, a introdução de um composto rico em matéria orgânica, microrganismos e umidade (em torno de 20%) pode ser uma solução viável e permanente na execução dessas camadas de cobertura. Destaca-se que a maior quantidade de macronutrientes, matéria orgânica, microrganismos e umidade aumenta o entrosamento das partículas de solos, evitando, assim, a sua erosão.

Ainda, segundo Huber-Humer et al. (2009), entre as condições favoráveis para a atividade de bactérias que oxidam CH₄, destacam-se o carbono orgânico maior que 7 e o pH na faixa de 6,5 a 8,5. Castro, Mañas e De Las Heras (2009) relataram que adições de composto orgânico aumentam os macronutrientes no solo e Fuentes et al. (2010) descobriram que a aplicação de composto orgânico aumentou no solo a disponibilidade de nutrientes, como os teores disponíveis de Nitrogênio (N) e Fósforo (P).

Portanto, pesquisas que sejam desenvolvidas a fim de melhorar a qualidade de solos em clima semiárido podem ser direcionadas à obtenção de compostos orgânicos para posterior mistura aos solos que serão utilizados em aterros sanitários.

4.1 Caracterização geotécnica

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à distribuição granulométrica das amostras estudadas. Têm-se o resumo da granulometria e os coeficientes relacionados à distribuição dos grãos.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica das amostras de solo, composto orgânico e misturas.

Resumo da Granulometria	Solo	Mistura 3:1	Mistura 1:1	Composto
Pedregulho	0,14 %	5,52 %	5,47 %	0,10 %
Areia Grossa	11,6 %	11,27 %	11,48 %	20,54 %
Areia Média	28,08 %	30,87 %	31,37 %	39,63 %
Areia Fina	30,04 %	39,82 %	42,06 %	36,51 %
Silte	17,37 %	9,40 %	6,41 %	0,01 %
Argila	12,77 %	3,13 %	3,21 %	3,21 %
CNU	-	15	7,57	6,21
CC	-	3,75	1,89	0,99

Fonte: Arquivo de Pesquisa (2018).

Verifica-se que ocorre uma diminuição no percentual de partículas finas (silte e argila) nas misturas e aumento do percentual de partículas mais grossas, em especial areia média, a partir do aumento do percentual orgânico. Esse fato está em conformidade com o que foi observado por Santos (2015), que, ao estudar o comportamento de misturas de solo e composto orgânico em aterro sanitário, verificou uma influência maior do composto orgânico na fração areia das misturas analisadas.

Após a adição do composto orgânico ao solo, verificou-se que em todas as misturas houve uma suavização das curvas granulométricas, indicando uma distribuição dos grãos do solo mais homogênea. Uma distribuição mais homogênea aumenta ou potencializa propriedades geotécnicas do solo em direção a uma melhor eficiência de aterros. Uma distribuição granulométrica homogênea em solos compactados de aterros sanitários permite menor processo erosivo, pois ocorrerá uma melhor agregação desse solo, menor fluxo de gases e umidade pela camada de cobertura, além de favorecer CTCs maiores e,

portanto, melhores propriedades adsorptivas e, ainda, um melhor desenvolvimento da biota microbiana e de espécies vegetais.

Os melhores resultados nas características geotécnicas das misturas podem ser alcançados pela Mistura 1:1. Entretanto, para que seja aplicada essa mistura 1:1 é necessário um pátio ou local de compostagem bastante amplo, além de uma quantidade elevada de resíduos de poda, o que nem sempre é possível. Já a mistura 3:1 é a mais recomendada, não pela sua eficiência, que também é muito melhor que somente o solo obtido na jazida próxima ao aterro, mas pela facilidade de aquisição. Aterros como o de Campina Grande - PB podem facilmente obter compostos orgânicos advindos de podas de árvores, jardins, canteiros de estradas e rodovias. Esses resíduos orgânicos podem então ser compostados para destinação em camadas de cobertura de aterros. Embora o escopo deste artigo não seja o fator econômico, pode-se ainda inferir que os custos com irrigação de camadas de cobertura de aterros para diminuição de poeira e até mesmo com recirculação de líquidos pode ser diminuído.

Um outro fator que deve ser levado em conta e que diminui em muito os custos de um aterro é a aquisição de jazidas para obtenção de camadas de cobertura. Nesses casos, jazidas seriam utilizadas de forma mais racional, inclusive com ganho ambiental e com menores custos em máquinas e combustível.

4.2 Limites de Consistência

De uma maneira geral, os Limites de consistência do solo e das Misturas foram similares, especialmente com relação ao Limite de Liquidez (LL). Já com relação ao Limite de Plasticidade (LP), a mistura 3:1 teve um LP em torno de 20%, indicando o seu uso potencial em camadas de cobertura de aterros. O solo teve um LP em torno de 15% e a mistura 1:1 não foi plástica, o que dificulta a sua aplicação para camadas de cobertura. A mistura 3:1, devido ao seu LP em torno de 20%, permite ao solo uma menor fuga de líquidos e um melhor comportamento deste solo em função das características meteorológicas da região do aterro em Campina Grande-PB. Este solo apresentará menor

possibilidade de apresentar fissuras durante os ciclos de umedecimento e secagem. Ciclos de variações meteorológicas no semiárido são bastante comuns, o que ocasiona fissuras nos solos, e a adição de composto orgânico pode minimizar os efeitos adversos do clima local. Com relação ao índice de plasticidade (IP), o solo foi melhor nesse quesito (9%), enquanto a mistura 3:1 apresentou um IP em torno de 7%. Ambos estão na faixa preconizada pela Cetesb (1993). O IP representa em termos mais técnicos o quanto o solo é ativo, ou seja, o quanto o solo é adsorvivo, o que contribui para as trocas catiônicas. A mistura 1:1 não apresentou IP, entretanto os ensaios químicos realizados mostraram uma elevada CTC para essa mistura.

Assim, fica claro que a Mistura 3:1 é a mais indicada para a camada de cobertura do ASCG em relação aos limites de consistência.

4.3 Compactação

A Fig. 5 apresenta as curvas de compactação referentes às amostras estudadas.

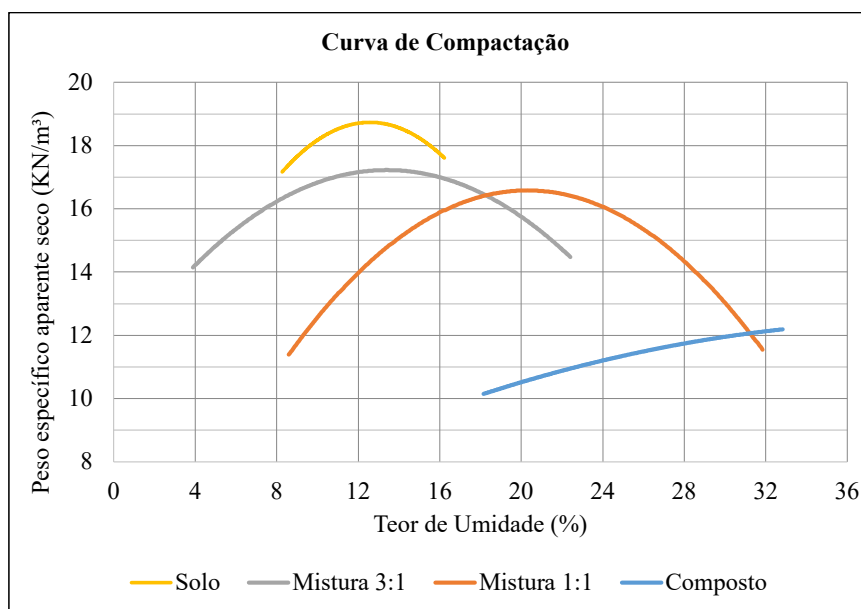


Figura 5 - Curvas de compactação das amostras estudadas.

Fonte: Arquivo de Pesquisa (2018).

Comparando as curvas de compactação, nota-se que com aumento no percentual de composto orgânico ocorre diminuição do peso específico seco máximo e aumento da umidade ótima. Resultados semelhantes foram verificados por Koshand e Fall (2016) ao estudar os efeitos da adição de composto orgânico (turfa) às propriedades do solo, no Canadá, e Sen et al. (2014) estudando o mesmo efeito em locais para implantação de barragens de terra, na Índia. Segundo esse último autor, o menor valor de peso específico seco observado para a turfa estudada pode ser atribuído ao menor peso específico dos grãos desse tipo de solo. No presente estudo, o composto orgânico também apresentou o menor peso específico aparente seco máximo, de $12,36 \text{ KN/m}^3$, o qual está relacionado também a um menor peso específico dos grãos. Resultados semelhantes também foram observados por Santos (2015) estudando o comportamento mecânico de misturas de solo e composto orgânico.

Deve ser observado que os aditivos orgânicos reduzem a compactação do solo, melhorando a aeração e a penetração de água (KUNCORO et al., 2014). Segundo Hossain (2017), a matéria orgânica do solo aplicada em longo prazo melhora a capacidade de retenção de água e aumenta a estabilidade agregada do solo por meio da formação de pontes catiônicas, que são mais fortes quando comparadas às forças iônicas, melhorando assim a sua estrutura. Além disso, foi verificado também que a adição de esterco bovino ao solo melhora as propriedades físicas aumentando a atividade microbiana, o que pode contribuir para o processo oxidativo de CH_4 em camadas de coberturas de aterros sanitários, e a consequente redução das emissões de GEE para a atmosfera.

Aterros sanitários são biorreatores e, portanto, devem permitir o fluxo de líquidos e gases pela camada de cobertura. Camadas de cobertura com menores pesos específicos resultam em so-

los mais porosos. Esses solos facilitam a agregação de microrganismos em uma área superficial aumentada, o que, por sua vez, eleva os processos biodegradativos e oxidativos do CH_4 e facilita o fluxo de líquidos na camada, o que permite a difusão de enzimas necessárias a processos biológicos, aumenta a possibilidade de fixação de raízes das plantas, a adsorção de metais e, portanto, melhora as propriedades geotécnicas do solo.

4.4 Condutividade hidráulica

Os coeficientes de permeabilidade saturada determinados em laboratório em amostras compactadas na umidade ótima foram de $8,01 \times 10^{-8} \text{ m/s}$, $2,09 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ e $8,43 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ para as amostras de solo, mistura 3:1 (solo-composto) e mistura 1:1 (solo-composto), respectivamente. Verifica-se um aumento gradativo nos coeficientes de permeabilidade com o aumento do percentual orgânico, o que pode ser explicado pela mudança ocorrida na distribuição granulométrica e, possivelmente, estrutura, devido à maior presença de matéria orgânica nas misturas em comparação ao solo. A matéria orgânica promove uma maior agregação do solo, o que pode ter influenciado para o aumento da condutividade saturada à medida que o percentual orgânico aumentou. Entretanto, como verificado pelas características químicas, a presença de matéria orgânica favoreceu o aumento de nutrientes e uma CTC alta, que permitem o desenvolvimento da flora bacteriana e, portanto, maior oxidação de metano no solo, interesse deste estudo.

4.5 Curvas de retenção

A Fig. 6 apresenta as curvas de retenção de umidade das quatro amostras estudadas nesta pesquisa, a partir da relação entre a umidade gravimétrica e a sucção matricial observadas.

Os valores de sucção variaram de 1 KPa a 30 KPa, de 2 KPa a 80 KPa e de 0,10 KPa a 300 KPa para as amostras de solo, mistura 3:1 e mistura 1:1, respectivamente. Maiores sucções foram observadas para a mistura 1:1, confirmando-se o que foi tam-

bém observado por Santos (2015) e Koshand e Fall (2014) em seus estudos. Isso é considerável, pois quanto maior o valor de sucção maior será o valor de umidade, estando a umidade, por sua vez, relacionada também à presença de compostos orgânicos.

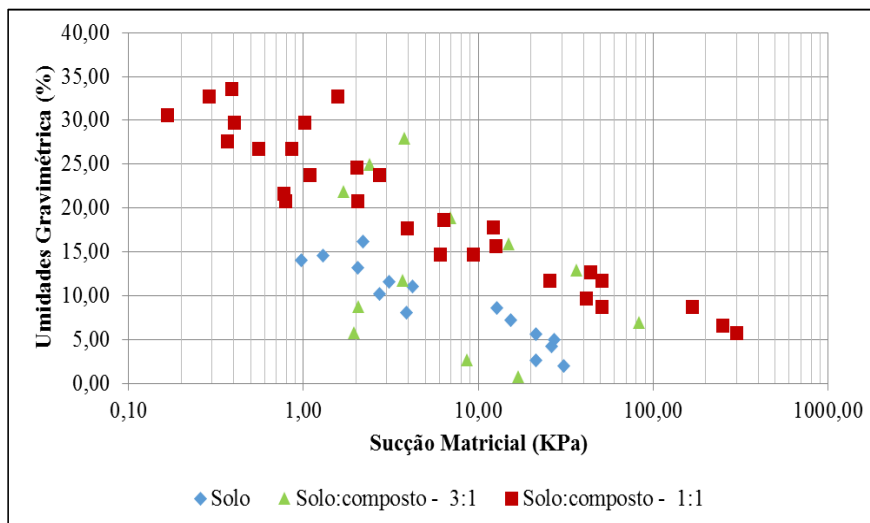


Figura 6 - Curvas de retenção de umidade do solo e misturas com composto orgânico.
Fonte: Arquivo de Pesquisa (2018).

A capacidade de retenção de água tende a aumentar com a adição de matéria orgânica. Esse aumento foi atribuído ao aumento da agregação, que aumenta o espaço total de poros e a diminuição da densidade aparente, o que altera a distribuição do tamanho de partículas.

Percebe-se que as curvas de retenção das duas misturas estudadas convergem para uma umidade gravimétrica de, aproximadamente, 20% e uma sucção de 6 KPa (correspondente à completa saturação das amostras). As maiores sucções são observadas para as misturas, aumentando à medida que o percentual de composto orgânico aumenta. Isso já era esperado, pois maiores quantidades de matéria orgânica representam maiores quantidades de umidade.

Em relação à capacidade diferencial de umidade, foram observados os valores de 8,64 % e 14,94

% para as misturas 3:1 e 1:1, respectivamente, para a faixa de 0 a 1000KPa de sucção nas curvas características, a qual refere-se à atuação da fase líquida, de energia mecânica e de forças de capilaridade no solo (SANTOS, 2015). O aumento da retenção de umidade com a adição do composto favorece a atuação das bactérias metanotróficas que oxidam metano fornecendo condições de umidade para o processo, desde que em teor adequado, além de minimizar a percolação do gás para a atmosfera, pois a difusão do gás na água é bem menor que em meios gasosos.

Interessante que a mistura 1:1 apresentou os melhores resultados quanto à sucção; entretanto, mais uma vez esses bons resultados ficam condicionados à capacidade de um aterro receber e dar um tratamento final recomendado aos compostos orgânicos.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que a adição de composto orgânico ao solo da camada de cobertura de Aterro Sanitário melhorou as propriedades geotécnicas deste solo.

A adição de composto ao solo permite uma melhor agregação do solo, desenvolvimento de cobertura vegetal, diminuição de perda de umidade, fornece condições para os processos de oxidação do metano, diminuindo a ação dos Gases de Efeito Estufa e, ainda, pode ser viável economicamente.

A mistura 3:1 apresentou bons resultados, se comparada ao solo, além de ser mais viável em sua obtenção. Misturas de orgânicos em maiores concentrações ao solo devem ser vistas em termos de aquisição de compostos e viabilidade técnica.

O estudo realizado no Semiárido paraibano pode ser estendido a aterros localizados em condições meteorológicas semelhantes.

6 AGRADECIMENTOS

Grupo de Geotecnia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande; Laboratório de Tecnologias Agroambientais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.

7 FONTES DE FINANCIAMENTO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Fundação Parque Tecnológico da Paraíba (PaqtcPB)
Ecosolo Gestão ambiental - LTDA

8 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Santos J.J.N. e Melo, M.C.; **Metodologia:** Santos, J.J.N., Araújo, P.S. e Souza, J.

C.M.; **Investigação:** Santos, J.J.N. e Souza, J.C.M.; **Redação – Primeira versão:** Santos, J.J.N. e Souza, J.C.M.; **Redação – Revisão & Edição:** Santos, J.J.N.; Melo, M.C. e Monteiro, V.E.D.; **Aquisição de Financiamento:** Monteiro, V.E.D. e Melo, M.C.

9 REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostra de Solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016. 8p.
- _____. NBR 6458: **Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2016. 10p.
- _____. NBR 6459: **Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2016. 5p.
- _____. NBR 7180: **Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016. 3p.
- _____. NBR 7181: **Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2016. 12p.
- _____. NBR 7182: **Compactação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2016. 9p.
- _____. NBR 14545: **Solo: determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.** Rio de Janeiro, 2000. 12p.
- ARAUJO, P.S. **Análise do desempenho de um solo compactado utilizado na camada de cobertura de um aterro sanitário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2017.
- _____. D5298: **Standard test method for measurement of soil potential (suction) using filter paper.** ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2010. 6p.
- CANDIANI, G.; VIANA, E. Emissões fugitivas de metano em aterros sanitários. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 21, n. 3, p. 845-857, dez. 2017. ISSN 2179-0892.
- CASTRO E., MANAS P., DE LAS HERAS J. (2009): A comparison of the application of different waste products to a lettuce crop: effects on plant and soil properties. **Scientia Horticulturae**, 123, 148-155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.08.013>.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduos Sólidos Industriais.** 2. ed. São Paulo: CETESB, 1993. 233p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas**

para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos.

Editado por FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de. Ja-guariúna-SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006, 1. ed., 169p. il. ISBN 85-85771-43-7. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

_____. **Manual de métodos de análise de solo.** DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; VIANA, J. H. M.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). 2011. 2 ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.

FUENTES, D.; VALDECANTOS, A.; LLOVET, J.; CORTINA, J.; VAL-LEJO, VR (2010): Fine-tuning of sewage sludge application to promote the establishment of *Pinus halepensis* seedlings. **Eco-logical Engineering**, 36, 1213–1221. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.012>.

GUEDES, M.J.F. **Estudo das emissões de biogás em aterro de re-síduos sólidos urbanos no semiárido brasileiro.** Tese (Doutora-do), Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2018.

HOSSAIN, M. Z.; NIEMSDORFF, V.F. Effect of Different Organic Was-tes on Soil Properties and Plant Growth and Yield: a Review. **Scien-tia Agriculturae Bohemica**, v. 48, n. 4, p. 224-237. 2017. <https://doi.org/10.1515/sab-2017-0030>.

HUBER-HUMER, M.; RODER, S.; LECHNER, P.. Approaches to assess biocover performance on landfills. **Waste Management**, v. 29, n.7, p.2092-2104. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.001>.

KUNCORO, PH.; KOGA, K.; SATTA, N.; MUTO, Y. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water

I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. **Soil and Tillage Research**, 143, 172–179. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.02.006>.

KHOSHAND, A; FALL, M. Geotechnical characterization of com-
post based biocover materials. **Geotechnical and Geological En-
gineering**, v. 32, n. 2, p. 489-503. 2014. <https://doi.org/10.1007/s10706-014-9728-9>.

KHOSHAND, A; FALL, M. Geotechnical characterization of peat-
-based landfill cover materials. **Journal of Rock Mechanics and
Geotechnical Engineering**, v. 8, n. 5, p. 596-604. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.05.007>.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada.** PATARRA, C. de C. (tradutor). São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2 ed., 2004.

MOREIRA, F.G.S. **Emissões fugitivas de biogás em célula de aterro sanitário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB. 2018.

SANTOS, G.M. **Comportamento hidromecânico de solo e das misturas solo-composto utilizados em camadas de cobertura no aterro experimental da Muribeca, Pernambuco.** 2015.

SCHEUTZ, C. et al. Mitigation of methane emission from an old unlined landfill in Klintholm, Denmark using a passive biocover system. **Waste management**, v. 34, n.7, p. 1179-1190. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.015>.

SEN, P. et al.. Effect of Organic Content on the Index Properties and Compaction Parameters of Soil. **International Journal of Emer-ging Technology and Advanced Engineering**, v. 4, n. 4, 2014.