

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **EFEITOS DO COMPOSTO ORGÂNICO NA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO POR MEIO DA MODELAGEM DA CURVA DE RETENÇÃO**

*Thiago de Sá Sena<sup>1</sup>; Jordan Carneiro Martins de Souza<sup>2</sup>; Jeovana Jisla das Neves Santos<sup>3</sup>; Dário Macedo Lima<sup>4</sup>; Anderson Borghetti Soares<sup>5</sup>; Márcio Camargo de Melo<sup>6</sup>; Veruschka Escarião Dessoles Monteiro<sup>7</sup>; Cinthia Maria de Abreu Claudino<sup>8</sup>; Maria Ingridy Lacerda Diniz<sup>9</sup> & Daniela Lima Machado da Silva<sup>10</sup>*

**Abstract:** The intensification of climate variability and growing water scarcity pose major challenges to sustainable soil management, especially in vulnerable regions. This study evaluated the effect of organic compost addition on water retention and plant-available water in mixtures with soil, targeting applications in sustainable agriculture, soil covers, and degraded land restoration. Suction tests were performed using the filter paper method, with curve fitting via the Van Genuchten model, for soil, compost, and mixtures at 3:1, 1:1, and 1:3 (by weight). The results showed that compost increased the saturation water content, reduced air-entry suction, and significantly improved available water for plants. These outcomes support the use of soil-compost mixtures as a cost-effective strategy to enhance water resilience in land use systems, especially under the context of climate change adaptation.

**Resumo:** A intensificação da variabilidade climática e a crescente escassez de água impõem desafios ao manejo sustentável dos solos, especialmente em regiões vulneráveis. Este estudo avaliou o efeito da adição de composto orgânico na retenção de água e na disponibilidade de água para plantas de misturas solo-composto orgânico, visando aplicações em sistemas agrícolas sustentáveis, coberturas de solo e recuperação de áreas degradadas. Foram realizados ensaios de sucção pelo método do papel filtro, com ajustes pelo modelo de Van Genuchten, para o solo, composto e misturas nas proporções 3:1, 1:1 e 1:3 (por peso). Os resultados indicaram que o composto elevou a umidade volumétrica

1) Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Bloco 713, Cep: 60400-900, Fortaleza, CE, Brasil; e-mail: thiagosena@ufc.br.

2) Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande, PB, Brasil, 58429-900; e-mail: jordan.carneiro@estudante.ufcg.edu.br;

3) Universidade de Sherbrooke, Departamento de Engenharia Civil e de Construção, Sherbrooke, QC, Canadá, J1K 2R1; e-mail: jeovana.jisla.das.neves.santos@usherbrooke.ca;

4) Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Av. Rui Barbosa, 1246 - Aldeota, Fortaleza - CE, 60115-221, (85) 3101-1088; e-mail: dariomacedolima@gmail.com;

5) Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Bloco 713, Cep: 60400-900, Fortaleza, CE, Brasil; e-mail: borghetti@ufc.br;

6) Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande, PB Brasil, 58429-900; e-mail: melomc90@gmail.com;

7) Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande, PB Brasil, 58429-900; e-mail: veruschkamonteiro@hotmail.com;

8) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, PB, PB Brasil, 58051-900; e-mail: cinthiamariaac@gmail.com;

9) Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande, PB Brasil, 58429-900; e-mail: mariaingridydiniz@gmail.com;

10) Universidade Federal do Ceará, Campus Russas. R. Felipe Santiago, 411 Cidade Universitária 62900-000 - Russas, CE – Brasil; e-mail: danielalms@ufc.br.

de saturação, reduziu a sucção de entrada de ar e ampliou significativamente a quantidade de água disponível para plantas. Tais efeitos são desejáveis para aumentar a resiliência hídrica dos sistemas de uso do solo frente às mudanças climáticas, oferecendo uma solução viável e de baixo custo.

**Palavras-Chave** – Retenção de água; Ponto de murcha; Melhoramento do solo.

## INTRODUÇÃO

A intensificação de eventos climáticos extremos e a crescente escassez hídrica, impulsionadas pelas mudanças climáticas globais, impõem desafios significativos ao manejo sustentável dos recursos naturais (IPCC, 2022). Em regiões semiáridas, onde a variabilidade pluviométrica é elevada, a capacidade do solo de reter e disponibilizar água para as plantas é um fator crítico para garantir a produtividade agrícola, promover a recuperação de áreas degradadas e conservar os ecossistemas.

Nesse cenário, práticas de manejo que aumentem a retenção de água no solo tornam-se essenciais para fortalecer a resiliência dos sistemas agrícolas e ambientais. A adição de composto orgânico ao solo tem sido amplamente investigada como uma estratégia eficaz para melhorar suas propriedades físicas, como a agregação, a porosidade e a condutividade hidráulica, influenciando positivamente a infiltração, o armazenamento e a disponibilidade de água (Weber *et al.*, 2007; Gomes, 2020; Santos, 2015; Noor *et al.*, 2020; Ibrahim; Horton, 2021; Hossain *et al.*, 2017).

Este estudo investiga os efeitos da incorporação de composto orgânico em misturas com solo sobre a curva de retenção de água, o ponto de entrada de ar e a quantidade de água disponível. Os resultados são discutidos à luz da adaptação dos sistemas de uso do solo à crise climática, com foco em aplicações em coberturas de solo, agricultura sustentável e reabilitação de ambientes degradados.

## METODOLOGIA

As amostras de solo foram coletadas da camada de cobertura do aterro sanitário em Campina Grande-PB e o composto orgânico foi fornecido pelo Laboratório de Tecnologias Agroambientais da Universidade Federal de Campina Grande, sendo produzido a partir de folhas de jardim e esterco bovino na proporção de 3:1 (massa), por meio de um processo de compostagem com duração de 110 dias. As misturas de solo e composto orgânico foram nas proporções de 3:1, 1:1 e 1:3 (em massa).

### Ensaio de papel filtro (sucção)

As propriedades do solo em condição não saturada foram estudadas por meio do ensaio de sucção por meio do método do papel filtro, seguindo as metodologias da norma D5298 (ASTM, 2010), Marinho e Oliveira (2006) e Santos (2015). A plotagem da curva de retenção de água possibilita a verificação da relação gráfica entre a sucção matricial e a umidade volumétrica ou grau de saturação, a partir do princípio da absorção e equilíbrio no contato entre o material poroso com deficiência de umidade (solo ou misturas) e o papel filtro com umidade menor em relação ao material poroso (Araujo, 2017).

Foram realizados ensaios de sucção pelo método do papel filtro com o solo, o composto orgânico puro e as misturas solo e composto orgânico moldados em suas respectivas umidades ótimas para obtenção de máxima massa específica sob energia de compactação Proctor normal (Figura 1), a partir da realização deste ensaio foi possível observar os valores da sucção ao longo do processo de secagem das amostras.

Figura 1 – Ensaio de sucção pelo método do papel filtro para os cinco materiais



(a) Moldagem

(b) Saturação

(c) Embalagem

O período mínimo de equilíbrio aderido foi de 7 dias após embalar, como Marinho e Oliveira (2006) indica. O papel filtro utilizado foi o Whatman nº 42, que admite valores de sucção de zero até 29 MPa. As Equações 1 e 2 propostas por Chandler *et al.* (1992) foram utilizadas para calibração com esse papel filtro.

$$\log \psi = 4,84 - 0,0622 \times w, \text{ se } w \leq 47\% \quad (1)$$

$$\log \psi = 6,05 - 2,48 \times \log w, \text{ se } w > 47\% \quad (2)$$

Em que  $\psi$  é a sucção matricial em quilopascal (kPa) e  $w$  é a umidade gravimétrica do papel filtro em porcentagem (%).

Após processamento dos dados e resultados obtidos nos ensaios de sucção, foi utilizada a Equação 3, que expressa o modelo de ajuste de Van Genuchten (1980) para o cálculo da umidade volumétrica em função da sucção.

$$\theta = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad (3)$$

O modelo de ajuste de Van Genuchten (1980) também pode ser expresso de acordo com a Saturação Efetiva ( $S_e$ ), como descrito na Equação 4.

$$S_e = \frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \quad (4)$$

Em que  $S_e$  é o coeficiente de saturação efetiva (adimensional),  $\theta$  é a umidade volumétrica (%),  $\theta_{res}$  é a umidade volumétrica residual (%),  $\theta_{sat}$  é a umidade volumétrica de saturação (%),  $\psi$  é a sucção matricial (kPa),  $\alpha$  é o parâmetro de ajuste do modelo relacionado a sucção de entrada de ar,  $n$  e  $m$  são os parâmetros de ajuste do modelo relacionados à inclinação da curva. Os três parâmetros de foram obtidos por meio de iterações com o auxílio do suplemento *Solver* do *Microsoft Excel*.

## Água disponível para plantas e ponto de entrada de ar

A partir das curvas de retenção de água é possível determinar o percentual de água disponível, que é aquela fração de água que pode ser aproveitada por plantas. A água disponível é definida pela subtração do ponto de murcha da capacidade de campo (Weber *et al.*, 2007; Vaheddoost; Guan; Mohammadi, 2020).

A capacidade de campo do solo é a quantidade de umidade quando a sucção desse material está em um valor de 33 kPa, que representa a água remanescente após 2 a 3 dias de excesso desse líquido ser drenado (SSSA, 1984). Já o ponto de murcha permanente é definido como o conteúdo de água no solo, que as plantas não conseguem extrair, o que representa o limite inferior de água disponível para a planta, que é retida pelas partículas do solo sob uma sucção de 1500 kPa (Slatyer, 1967).

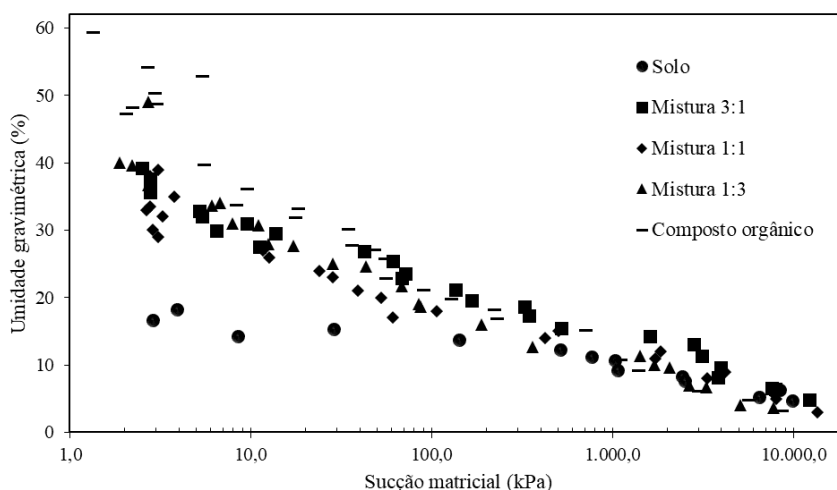
Também foi identificado o ponto de entrada generalizada de ar (GAE), conforme Jucá e Maciel (2006), importante para avaliar a dinâmica da perda de umidade no solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Retenção de Água e Curvas Ajustadas

Os resultados do ensaio de sucção pelo método do papel filtro estão distribuídos de acordo com a umidade gravimétrica na Figura 2.

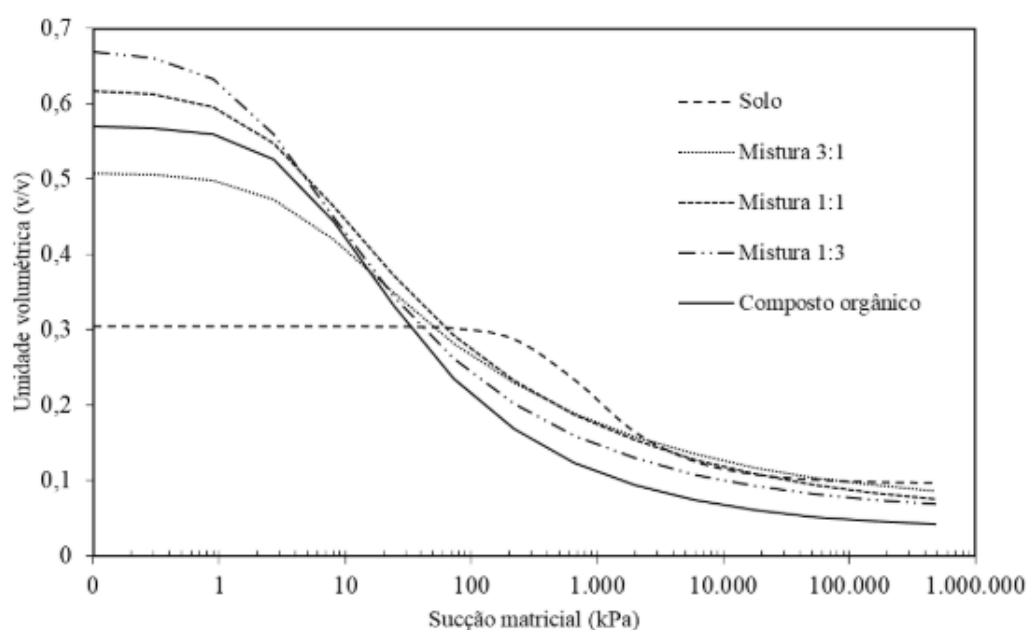
Figura 2 – Resultados dos ensaios de curva de retenção de água para os materiais



Verifica-se que a sucção matricial teve uma faixa de variação entre 1,5 e 13.500 kPa, considerando todos os materiais estudados, e a faixa de variação das umidades gravimétricas ficou entre 3,0% e 59,4%. No entanto, analisando cada material individualmente, nota-se que a presença do composto orgânico eleva a umidade gravimétrica para um mesmo valor de sucção. Esse comportamento corrobora com o fato de a adição de composto orgânico aumentar a capacidade de retenção de água do solo observado por Santos (2015) e Hossain *et al.* (2017).

As curvas de retenção de água ajustas pelo modelo de Van Genuchten (1980), para cada um dos materiais estudados, estão plotadas no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Curvas de retenção de água dos materiais



A partir das curvas de retenção de água, percebe-se que a umidade volumétrica de saturação do composto orgânico é quase duas vezes maior do que a do solo. Nota-se também que o composto orgânico associado ao solo nas misturas 1:1 e 1:3 possuem capacidade de retenção maior que somente o composto orgânico, e que a adição de 25% (mistura 3:1) elevou a umidade volumétrica de saturação consideravelmente, com um acréscimo de pouco mais de 0,2 em relação a umidade volumétrica de saturação do solo.

O valor da sucção matricial correspondente ao início da redução da saturação é denominado de sucção de entrada de ar (Alam *et al.*, 2019). Assim, a sucção de entrada de ar foi de 200 kPa para o solo, esse valor condiz com os valores mais elevados de sucção matricial de entrada de ar para o solo encontrados na pesquisa de Santos (2015), que chegou até a ordem de 1000 kPa.

Para as misturas 3:1, 1:1, 1:3 e o composto orgânico, os valores de sucção matricial de entrada de ar foram de 2 kPa, 1,3 kPa, 0,9 kPa e 2 kPa, respectivamente. Tais valores são bem menores que o obtido para o solo. No entanto, Santos (2015) e Jalilzadeh (2019) que também estudaram misturas de solo e composto orgânico verificaram valores de sucção de entrada de ar bem reduzidos, na faixa de 1 a 10 kPa.



Ademais, Alam *et al.* (2019) encontraram valores de sucção de entrada de ar da ordem de 4 a 10 kPa, e Gomes (2020) justifica que a presença de vegetação e raízes, que estão presentes na composição do composto orgânico, podem colaborar com o aumento do índice de vazios e que isso pode influenciar na baixa do valor da sucção de entrada de ar.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos parâmetros de ajuste das curvas pelo modelo de Van Genuchten (1980) e dos parâmetros estatísticos de verificação para os cinco materiais estudados. Os parâmetros estatísticos considerados para análise foram o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), a Soma dos Quadrados dos Resíduos (SQR) e a Raiz do Erro Quadrado Médio (REQM).

Tabela 1 – Parâmetros obtidos com os ajustes do modelo de Van Genuchten (1980)

Material	$\alpha$	$n$	$m$	SQR	$R^2$	REQM
Solo	0,0019	1,7991	0,4442	0,0065	0,9317	0,0216
Mistura 3:1	0,2142	1,2557	0,2036	0,0216	0,9519	0,0289
Mistura 1:1	0,3461	1,2633	0,2084	0,0323	0,9556	0,0359
Mistura 1:3	0,4563	1,3114	0,2375	0,0299	0,9574	0,0353
Composto orgânico	0,1810	1,3762	0,2734	0,0177	0,9753	0,0261

Observa-se que, entre os materiais analisados, apenas o solo apresentou diferenças significativas nos parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980), refletindo alterações no formato da curva de retenção de água. As curvas dos demais materiais, por sua vez, mostraram comportamento semelhante entre si. O parâmetro  $\alpha$  indica a diferença no valor de sucção de entrada de ar e os valores dos parâmetros  $n$  e  $m$  remetam a inclinação das curvas de ajuste (Van Genuchten, 1980), o que justifica as semelhanças nas curvas de retenção de água do composto orgânico puro e das misturas de solo e composto orgânico em relação a curva de retenção de água do solo.

Os parâmetros de avaliação estatística considerados apresentaram valores que indicam boa validação para o ajuste das curvas realizados. Os cinco materiais apresentaram  $R^2$  acima de 0,93, próximo de 1, o que indica boa correlação. Os valores de SQR e REQM foram bem pequenos, quase zero, o que indica uma pequena diferença entre os valores observados e os valores ajustados pelo modelo.

## Água Disponível para as plantas

A capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e o volume de água disponível para as plantas nos materiais avaliados (solo, composto orgânico e misturas de solo com composto orgânico) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades físicas dos materiais

Material	Capacidade de campo (%)	Ponto de murcha permanente (%)	Água disponível (%)
Solo	30,05	13,8	16,25
Mistura 3:1	33	13,5	19,5
Mistura 1:1	35	13	22
Mistura 1:3	33	11	22
Composto orgânico	31	7,5	23,5

A capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a água disponível das três misturas estudadas não variaram consideravelmente com o acréscimo de composto orgânico. No entanto, quando se analisa os valores dessas características do solo puro com a adição de composto orgânico, nota-se um aumento considerável da capacidade de campo e principalmente da água disponível (um aumento de 5,75%). Um comportamento similar foi observado por Noor *et al.* (2020) ao analisar os efeitos da adição de composto orgânico nas propriedades físicas do solo, e constaram aumentos significativos na capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível com a adição de composto orgânico.

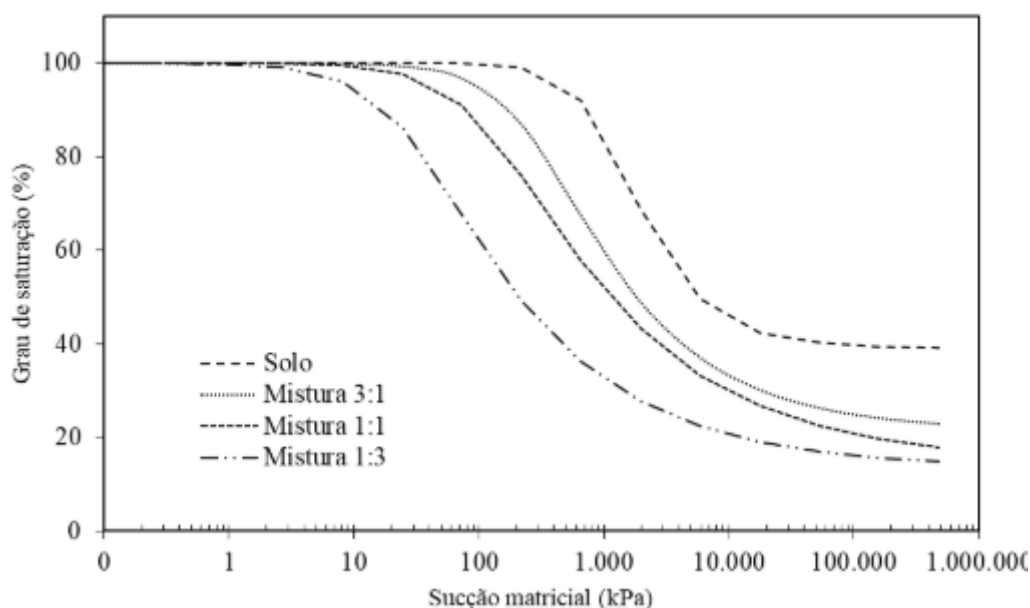
De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), solos arenosos tendem a ter pouca disponibilidade de água para plantas. Assim, a adição de composto orgânico pode auxiliar nesse sentido devido sua propriedade de maior retenção de água, o que possibilita condições melhores para manutenção de plantas que venham a ser cultivadas, já que o solo utilizado neste estudo é uma areia siltosa e naturalmente tem pouca água disponível para plantas.

A adição de composto orgânico ao solo contribuiu para a redução do ponto de murcha, o que favorece a retirada de água do meio poroso pelas plantas, ou seja, possibilita uma maior facilidade para o cultivo de plantas. Em aplicações para camada de cobertura de um aterro sanitário, Ndanga, Bradley e Cabral (2015) elencaram que a presença de vegetação tem a capacidade de influenciar a oxidação de metano que seria emitido, além disso Li *et al.* (2016) afirmam que as raízes das plantas ter a capacidade de conter a formação de fissuras no solo, diminuindo possíveis emissões de biogás para atmosfera.

### Ponto de Entrada de Ar e Saturação Residual

Jucá e Maciel (2006) definem o ponto de entrada generalizada de ar (GAE) como aquele ponto correspondente a rápida mudança no grau de saturação do solo. Nesse sentido, a Figura 4 mostra a curva de retenção de água com a sucção matricial em função do grau de saturação para o solo e as misturas de solo e composto orgânico.

Figura 4 – Curva grau de saturação em função da sucção matricial



Ao considerar a definição do ponto de entrada generalizada de ar e o gráfico do grau de saturação em função da sucção matricial, foram obtidos os valores de sucção de entrada generalizada de ar para o solo e as misturas como exposto na Tabela 3, assim como os valores da saturação residual.

Tabela 3 – Ponto de entrada generalizada de ar para cada material

Material	Sucção matricial no GAE (kPa)	Saturação residual (%)
Solo	450	42,47
Mistura 3:1	100	30,23
Mistura 1:1	40	33,28
Mistura 1:3	10	27,70

Observa-se que a sucção matricial referente ao ponto de entrada generalizada de ar diminui com o acréscimo de composto orgânico na mistura. Em pesquisa com solo e composto orgânico, Santos (2015) concluiu que a adição de composto orgânico ao solo provoca o aumento da umidade gravimétrica correspondente ao ponto de entrada generalizada de ar e uma diminuição do valor da sucção matricial correspondente, que está relacionado de forma direta com uma capacidade de retenção de água mais elevada.

O grau de saturação residual foi de 27,7% para a mistura 1:3 a 42,47% para o solo, com sucção inicial na zona de saturação residual de 1000 e 9000 kPa, respectivamente. Dessa forma, nota-se uma redução do valor do grau de saturação residual com o aumento do percentual de composto orgânico. O valor da sucção de início da zona de saturação para a mistura 3:1 condiz com os valores encontrados por Alam *et al.* (2019), entre 4 e 2000 kPa para zona de transição a partir de dados de campo de uma camada de cobertura de silte argiloso.



A redução da saturação residual com a adição de composto orgânico pode estar relacionada ao aumento do tamanho dos poros do solo que o composto orgânico ocasiona, visto que segundo Ibrahim e Horton (2021), os poros maiores facilitam a drenagem da água.

## CONCLUSÕES

A adição de composto orgânico ao solo utilizado como cobertura de resíduos sólidos urbanos revelou-se uma estratégia eficiente para aumentar a retenção de água e a disponibilidade de água para plantas, reduzir o ponto de murcha e melhorar a dinâmica da umidade nos solos. Tais propriedades são essenciais para ampliar a resiliência hídrica de sistemas agrícolas e ambientais frente às mudanças climáticas.

Aplicações práticas incluem a cobertura final de aterros sanitários com vegetação, agricultura em solos frágeis e recuperação de áreas degradadas. O uso de misturas de solo e composto orgânico representa uma abordagem de baixo custo e alto impacto para adaptação climática em territórios vulneráveis.

## REFERÊNCIAS

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D6539: Standard test method for measurement of the Permeability of unsaturated porous materials by flowing air. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2006.

ARAÚJO, P. S. “*Análise do desempenho de um solo compactado utilizado na camada de cobertura de um aterro sanitário*”. Dissertação (Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2017.

ALAM, M. J. B.; HOSSAIN, M. S.; SARKAR, L.; RAHMAN, N. “*Evaluation of Field Scale Unsaturated Soil Behavior of Landfill Cover through Geophysical Testing and Instrumentation*” In Geo-Congress 2019: Geoenvironmental Engineering and Sustainability. [s.l.], p. 1-11, 2019.

CHANDLER, R. J.; CRILLY, M. S.; SMITH, M. G. “*A low-cost method of assessing clay desiccation for low-rise buildings*”. Proceedings of the institution of Civil Engineers - Civil Engineering, [s.l.], v. 92, n. 2, p. 82-89, 1992.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. *Hidrologia para engenharias e ciências ambientais*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

GOMES, G. J. C. “*Análise da adição de composto orgânico para dimensionamento de biocoberturas em aterro sanitário*”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020, 135 p.

HOSSAIN, M. Z.; VON FRAGSTEIN, P.; VON NIEMSDORFF, P.; HEß, J. “*Effect of Different Organic Wastes on Soil Properties and Plant Growth and Yield: a Review*”. Scientia Agriculturae Bohemica, v. 48, n. 4, p. 224–237, 2017.

IBRAHIM, A.; HORTON, R. “*Biochar and compost amendment impacts on soil water and pore size*”

*distribution of a loamy sand soil*". Soil Science Society of America Journal, v. 85, n. 4, p. 1021–1036, 2021.

IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, 2022.

JUCÁ, J.; MACIEL, F. "Gas permeability of a compacted soil used in a landfill cover layer" In Miller GA, Zapata CE, Houston SL, Fredlund DG (eds) Fourth international conference on unsaturated soils. American Society of Civil Engineers, Carefree, pp 1535–1546, 2006.

JALILZADEH, H. "Field Performance and Water Balance Predictions of Evapotranspirative Landfill Biocovers". Tese de M.Sc. em University of Calgary. Calgary, Canada, 2019.

LI, J. H.; LI, L.; CHEN, R.; LI, D. Q. "Cracking and vertical preferential flow through landfill clay liners". Engineering Geology, v. 206, p. 33–41, 2016.

MARINHO, F. A. M.; OLIVEIRA, O. M. "The filter paper method revisited". Geotechnical Testing Journal, USA, v. 29, n. 3, p. 250–258, 2006.

NDANGA, É. M.; BRADLEY, R. L.; CABRAL, A. R. "Does vegetation affect the methane oxidation efficiency of passive biosystems?" Waste Management, v. 38, p. 240–249, 2015.

NOOR, R. S.; HUSSAIN, F.; ABBAS, I.; UMAIR, M.; SUN, Y. "Effect of compost and chemical fertilizer application on soil physical properties and productivity of sesame (*Sesamum Indicum L.*)". Biomass Conversion and Biorefinery, 2020.

SANTOS, J. J. N. "Caracterização geotécnica de misturas de solo e composto orgânico para uso como biocoberturas em aterros sanitários". Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2019.

SLATYER, R.O. *Plant-water relationships*. Academic Press, New York, pp 73–77, 1967.

SSSA - Soil Science Society of America. *Glossary of soil science terms*, Madison, 1984.

VAHEDDOOST, B.; GUAN, Y.; MOHAMMADI, B. "Application of hybrid ANN-whale optimization model in evaluation of the field capacity and the permanent wilting point of the soils". Environmental Science and Pollution Research, v. 27, p. 13131–13141, 2020.

VAN GENUCHTEN, M.T. "A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils". Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

WEBER, J.; KARCZEWSKA, A.; DROZD, J.; LICZNAR, M.; LICZNAR, S.; JAMROZ, E.; KOCOWICZ, A. "Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts". Soil Biology and Biochemistry, v. 39, n. 6, p. 1294–1302, 2007.