XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/72

Camadas De Cobertura De Aterros Sanitários: Estudo Dos Principais Parâmetros Geotécnicos De Um Solo Considerando Informações Do Estado Da Arte

Gilberto da Conceição de Jesus Júnior
Graduando do Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana-DTEC, Feira de Santana-Ba, Brasil, gibaguvix@gmail.com

Gabriela Santos Silva
Graduanda do Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana-DTEC, Feira de Santana-Ba, Brasil, gabrielasantos.s@hotmail.com

Maria do Socorro Costa São Mateus
Professora Doutora, Universidade Estadual de Feira de Santana-DTEC, Feira de Santana-Ba, Brasil, socorro@uefs.br

RESUMO: As camadas de cobertura de aterros sanitários desempenham papel fundamental no controle da infiltração de água e da emissão de gases, influenciando diretamente a geração de lixiviados e o desempenho ambiental do sistema. Este trabalho analisa os principais parâmetros geotécnicos que governam o comportamento hidráulico dessas camadas, com base em revisão bibliográfica e na caracterização de um solo utilizado como cobertura final em um aterro sanitário. A literatura evidencia que o desempenho das coberturas é controlado por condições predominantemente não saturadas, sendo insuficiente a avaliação baseada apenas na condutividade hidráulica saturada. Parâmetros como sucção matricial, teor de umidade, estrutura do solo, capacidade de armazenamento hídrico e interação solo–atmosfera mostram-se determinantes para o desempenho de longo prazo. Experimentalmente, o solo analisado foi caracterizado quanto à granulometria, limites de consistência, compactação e classificação SUCS, apresentando comportamento distinto dos solos argilosos tradicionalmente recomendados para camadas convencionais. Os resultados reforçam a necessidade de abordagens baseadas em desempenho, incorporando critérios hidráulicos, mecânicos e ambientais no projeto e na avaliação de camadas de cobertura de aterros sanitários.

PALAVRAS-CHAVE: Camada de Cobertura, Aterros Sanitários, Parâmetros Geotécnicos.

ABSTRACT: Sanitary landfill cover layers play a fundamental role in controlling water infiltration and gas emissions, directly influencing leachate generation and the overall environmental performance of the system. This study analyzes the main geotechnical parameters governing the hydraulic behavior of these layers, based on a literature review and the characterization of a soil used as a final cover in a sanitary landfill. The literature indicates that the performance of cover systems is predominantly controlled by unsaturated conditions, making evaluations based solely on saturated hydraulic conductivity insufficient. Parameters such as matric suction, moisture content, soil structure, water storage capacity, and soil–atmosphere interaction are shown to be decisive for long-term performance. Experimentally, the analyzed soil was characterized in terms of grain-size distribution, consistency limits, compaction, and SUCS classification, presenting behavior distinct from the clayey soils traditionally recommended for conventional cover layers. The results reinforce the need for performance-based approaches that incorporate hydraulic, mechanical, and environmental criteria in the design and evaluation of landfill cover layers.

KEYWORDS: Cover Layer, Sanitary Landfills, Geotechnical parameters.

1 Introdução

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), quando dispostos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões, geram líquidos (chorume) e gases durante a decomposição. O chorume, ao se misturar com a água da chuva, forma o lixiviado, altamente poluidor; já entre os gases, destacam-se o metano (CH_4) e o gás carbônico

(CO_2). A entrada de água no aterro e a saída de gases dependem diretamente da camada de cobertura, cuja eficiência está relacionada à espessura, composição mineralógica, granulometria, arranjo estrutural e permeabilidade, no caso de serem compostas por materiais porosos. Além da eficácia dessas propriedades geotécnicas, é necessário avaliar a compatibilidade do sistema com o clima local.

As camadas de cobertura são um revestimento impermeável executado sobre a última camada de resíduos e suas principais funções são isolar os resíduos do meio ambiente, controlar a entrada de água e a saída de gases. Atuam como barreira à infiltração de chuva e à liberação de biogás, prevenindo o aumento de lixiviados e impactos atmosféricos. (Mariano, 2008).

As camadas podem ser projetadas como convencionais (formadas por solo compactado e geossintéticos) ou como alternativas e deverão ser compactadas. Dentre estas, existem as evapotranspirativas (utilizam o potencial de armazenamento de água no solo ou material poroso); oxidativas (utilizam bactérias metanotróficas do composto orgânico para oxidar o metano.

Para a avaliação do pleno funcionamento do sistema de cobertura, é executado um plano de monitoramento geotécnico que consiste em inspeções visuais e na realização de ensaios no solo como a medição de permeabilidade a água pela camada de cobertura. Nesse sentido, o entendimento do comportamento geotécnico do solo, in situ e em laboratório, possibilitam a eficiência e a segurança desejada ao projeto de sistemas de cobertura (Araujo, 2017). Para as camadas oxidativas, por exemplo, parâmetros como textura do solo, matéria orgânica e pH são determinantes e devem ser acompanhados para que se tenha o devido funcionamento da camada (Lira, 2017).

Urge destacar que camadas de cobertura constituídas por materiais porosos possuem aplicação como coberturas temporárias para os aterros sanitários e como coberturas finais para municípios de pequeno e médio porte. Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia (PERS-BA), cerca de 67,39% dos municípios baianos ainda utilizam vazadouros a céu aberto como forma de disposição final, evidenciando a necessidade de soluções viáveis para adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Além disso, dados do IBGE indicam que aproximadamente 60,34% dos 417 municípios da Bahia possuem população igual ou inferior a 20.000 habitantes, o que, em geral, está associado a menor capacidade financeira e técnica para implantação de aterros sanitários convencionais de maior complexidade.

Este trabalho apresenta os principais parâmetros de solo, considerados para garantir o bom funcionamento de camadas de cobertura de aterros de RSU. Por meio da revisão bibliográfica, foi possível ver que a eficiência das camadas de cobertura de aterros sanitários de RSU está diretamente associada ao comportamento geotécnico dos solos em condição predominantemente não saturada, no qual parâmetros como sucção matricial, teor de umidade, estrutura do solo e permeabilidade controlam os processos de infiltração, armazenamento e redistribuição da água.

Estudos demonstram que abordagens tradicionais baseadas exclusivamente na condutividade hidráulica saturada são insuficientes para representar o desempenho hidráulico de longo prazo das coberturas, uma vez que variações climáticas, ciclos de secagem e umedecimento, fissuração, alterações estruturais e processos pedogenéticos modificam significativamente suas propriedades ao longo do tempo.

Nesse contexto, pesquisas nacionais e internacionais indicam a necessidade de incorporar parâmetros associados ao regime não saturado, ao balanço hídrico, à capacidade de armazenamento de água no solo e à interação solo–atmosfera no dimensionamento e na avaliação de desempenho de coberturas convencionais e alternativas, bem como considerar seus efeitos hidráulicos, mecânicos e ambientais, reforçando a importância de monitoramento geotécnico contínuo e critérios de projeto compatíveis com o clima e o material empregado.

2 Revisão de Literatura

2.1 Principais parâmetros geotécnicos para camadas de cobertura de aterro sanitário de RSU

O solo é frequentemente encontrado em seu estado natural na condição não saturado, desse modo repercussões específicas ocorrem nessa condição e caracterizam o seu comportamento (Vilar, 2017). Durante a infiltração, a saturação plena raramente é atingida e o fluxo de água na camada de cobertura depende das precipitações efetivas, e é controlado por parâmetros como estrutura do solo, condutividade hidráulica e teor de umidade, os quais se modificam ao longo da vida útil do aterro em função das condições climáticas e do comportamento mecânico dos resíduos (São Mateus, 2008).

Nesse contexto, a sucção matricial, associada às forças capilares e de adsorção, regula a retenção de água no solo e se relaciona diretamente com o grau de saturação, cuja redução ocorre à medida que o ar passa a ocupar os vazios do material. As camadas de cobertura são compactadas na umidade ótima e, neste caso, em geral elas não estão na condição saturada. Desta forma, torna-se importante determinar a curva de retenção de umidade do material de cobertura, para compreender os fluxos de infiltração e evaporação da água, bem como o armazenamento.

Para a avaliação do pleno funcionamento do sistema de cobertura, é executado um plano de monitoramento geotécnico que consiste em inspeções visuais e na realização de ensaios no solo como a medição de permeabilidade a água pela camada de cobertura de solo compactado. Nesse sentido, o entendimento do comportamento geotécnico do solo, in situ e em laboratório, possibilitam a eficiência e a segurança desejada ao projeto de sistemas de cobertura (Araujo, 2017). Para as camadas oxidativas, por exemplo, parâmetros como textura do solo, matéria orgânica, umidade do solo, temperatura, nutrientes e pH são determinantes e devem ser acompanhados para que se tenha o funcionamento da camada (Lira, 2017). Embora haja recomendações na ABNT NBR 13896, quando à condutividade hidráulica do solo utilizado nas camadas de cobertura, não existem demais exigência quanto ao tipo de solo, espessura e manutenção ao longo do tempo.

2.2 Desempenho das camadas de cobertura convencionais

A cobertura final de um aterro sanitário é composta pelas seguintes camadas a partir da cobertura: de solo de cultivo; de separação e filtração; de drenagem de águas pluviais; de proteção da geomembrana; de impermeabilização composta por geomembrana ou argila; de drenagem de gases; e de regularização (Boscov, 2008), sendo que a exclusão de uma ou mais camadas dependerá das necessidades de cada aterro sanitário. Apesar disso, nem todas coberturas finais possui esses componentes, sendo que essa escolha é definida de acordo com as necessidades do aterro sanitário.

A camada convencional é uma barreiras de baixa permeabilidade e geralmente utilizam solos argilosos compactados e, em alguns casos, geossintéticos, com o objetivo de reduzir a infiltração por meio da impermeabilização (Medeiros, 2020). O desempenho dessas camadas de cobertura varia ao longo do tempo, devido a parâmetros como estrutura, índice de vazios, grau de compactação, umidade de compactação e variações climáticas tais como precipitação e pressão atmosférica, desse modo, estudos monitorando essas camadas em climas diferentes são necessários para entender o comportamento (Lopes, 2011).

As camadas de cobertura finais com argila compactada, embora atendam às indicações normativas, apresentam queda de desempenho hidráulico ao longo do tempo. Albright et al. (2006a), a partir do monitoramento de três camadas de cobertura por um perído de 2 a 4 anos com lisímetros instrumentados em diferentes condições climáticas, observaram aumento das taxas drenagem por fatores que variaram de 100 a 750. Esse aumento ocasionou na extrapolação da taxa de drenagem inicial e ocorreu em um curto espaço de tempo em comparação com a vida útil de projeto exigida frequentemente para 30 anos, nesse sentido, isso foi associado à formação de caminhos preferenciais de fluxo devido ciclo de congelamento e descongelamento do solo.

Analogamente, em clima úmido, Albright et al. (2006b) verificaram aumento da condutividade hidráulica da camada em até três ordens de grandeza, saindo de 10^(-7) para 10^(-4) em apenas quatro anos, indicando que o atendimento inicial à condutividade hidráulica saturada não assegura desempenho hidráulico de longo prazo. Isso acontece, porque o RSU se decompõe e o recalque diferencial é bastante elevado, causando recalque da camada de cobertura e, consequentemente, fissuração e aumento da condutividade hidráulica, ademais a presença de ciclos de congelamento e descongelamento, nesse caso, pode ter facilitado a formação de fluxo preferenciais através da camada.

Nesse sentido, a perda de eficiência das camadas de cobertura está associada a ciclos de secagem e umedecimento, que induzem fissuração e modificam as propriedades hidráulicas de solos argilosos. Magalhães e Soares (2021) observaram que, embora a secagem superficial gere trincas em argilas expansivas, o reumedecimento promove o fechamento dessas fissuras devido à expansão do material, indicando potencial de restrição à infiltração. Em regiões semiáridas, Silva et al. (2022) verificaram que o comportamento hidráulico é dominado pela condição não saturada, com redução abrupta da permeabilidade à medida que a umidade diminui, evidenciando que a permeabilidade saturada não representa o regime hidráulico

predominante, sendo, portanto, importante determinar as propriedades não saturadas, como já é de conhecimento geral. É importante destacar que, em regiões áridas e semi-áridas, o regime de chuvas é bem definido, fato que permite uma camada de cobertura armazenar água no período chuvoso, para evaporar no período de estiagem.

Oliveira et al. (2020) destacam a escassez de normas específicas no Brasil e propõem o uso do Método de Balanço Hídrico proposto por Pereira (2005) adaptado da de Thornthwaite e Mather (1957), para estimar a espessura da cobertura em função do fluxo de água. Sendo a condutividade hidráulica saturada insuficiente para representar o comportamento real das coberturas, indicaram a incorporação de parâmetros como armazenamento de água no solo, sucção matricial e permeabilidade não saturada, especialmente em climas semiáridos para avalia-la.

Albright et al. (2013) avaliaram o desempenho hidrológico em campo de coberturas finais de aterros com barreiras compostas ao verificar a compatibilidade entre as taxas de percolação medidas em campo e aquelas previstas em projeto em um monitoramento do balanço hídrico, ao longo de três a cinco anos. Contudo, foram observadas discrepâncias relevantes entre dados medidos e previsões de modelos hidrológicos, levando à conclusão de que os modelos hidrológicos frequentemente não previam com precisão os componentes do balanço hídrico medidos em campo, evidenciando a dependência do desempenho à integridade da geomembrana e à evolução das propriedades hidráulicas do solo.

2.3 Desempenho das camadas de cobertura alternativa

Zornberg et al. (2003) demonstram que coberturas evapotranspirativas funcionam a partir do armazenamento temporário de água no solo e de sua remoção por evapotranspiração, sendo a percolação influenciada de forma não linear por parâmetros como espessura da camada, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de água e profundidade radicular. De forma complementar, Albright et al. (2004), com base em lisímetros de grande escala, mostram que o escoamento superficial e a drenagem lateral influenciam pouco no balanço hídrico, enquanto a percolação varia conforme o tipo de cobertura e o clima, estando associada à capacidade de armazenamento hídrico do solo e às condições atmosféricas locais.

Ademais, Apiwantragoon e Benson (2023) demonstraram, a partir de dados de campo, que a equivalência hidráulica entre sistemas depende da taxa de percolação, da eficiência de armazenamento e do tempo de monitoramento, sendo influenciada por processos de dessecação e alterações pedogenéticas ao longo do tempo.

Estudos experimentais aprofundam a compreensão dos mecanismos associados à perda de desempenho de camadas de cobertura. Lobo, Machado e Marques Filho (2021) observaram, em ensaios com canal bidimensional instrumentado, que camadas argilosas compactadas submetidas a ciclos de insolação e precipitação típicos do semiárido desenvolveram trincas de retração, comprometendo a função hidráulica da barreira.

De forma convergente, Balugani, Lubczynski e Metselaar (2023) demonstraram, em lisímetros de campo, que a evaporação em solos secos é fortemente influenciada por gradientes térmicos, superando estimativas baseadas apenas na difusão de vapor. Esses resultados indicam que parâmetros como sucção, umidade volumétrica, temperatura do solo e espessura da zona seca são determinantes no comportamento hidráulico real, reforçando a necessidade de abordagens que considerem o regime não saturado e a interação solo–atmosfera. São Mateus (2008) e São Mateus et al. (2012) mostram a influência de cada parâmetro do balanço hídrico ao incluírem os parâmetros de teor de umidade, curva de retenção de umidade e infiltração do material da camada de cobertura e do RSU.

Estudos recentes ampliam a compreensão do papel das camadas de cobertura ao considerar, além da função hidráulica, seus efeitos mecânicos e ambientais. Norberto, Medeiros e Mariano (2018) demonstram que a inclusão da camada de cobertura em análises de estabilidade de aterros contribui para o aumento do fator de segurança dos taludes, a partir da incorporação de seus parâmetros de resistência ao cisalhamento vez que a camada de cobertura impede o aumento da umidade nos resíduos sólidos e, consequentemente, a redução da resistência.

Em relação à adição de composto orgânico ao solo para compor a camada de cobertura, Santos et al. (2021) mostram que a adição de composto orgânico eleva os limites de consistência, reduz a massa específica

seca máxima e aumenta a retenção de umidade em relação ao solo natural. Por sua vez, Sena et al. (2025) demonstram que, em solos com composto orgânico, a permeabilidade ao ar é fortemente reduzida com o aumento do grau de compactação e do teor de umidade, indicando que o desempenho dessas camadas depende diretamente do controle desses parâmetros durante a execução.

Medeiros et al. (2024) compararam camadas de cobertura convencionais e oxidativas, destacando a relevância de parâmetros como porosidade, permeabilidade ao ar e retenção de umidade para a oxidação biológica do metano, bem como para a estabilidade física da camada.

Costa et al. (2018) ao realizarem ensaios em colunas de solos comparando o desempenho de um solo siltoso e um solo adicionado de composto orgânico misturados na proporção 1:1, demonstraram que a mistura solo e composto orgânico apresentou desempenho superior ao solo convencional, promovendo maior retenção de água na camada e restringindo a infiltração para maiores profundidades, além de não apresentar macrofissuras visíveis, indicando melhor comportamento à retração.

Em relação às emissões de CH_4, ambas as camadas, convencional e solo compostado, tiveram desempenho semelhante em condições sem precipitação; entretanto, após eventos de infiltração, a mistura solo e composto alcançou redução de emissões em torno de 80%, enquanto o solo isolado atingiu cerca de 60%, evidenciando maior eficiência na mitigação de biogás. De modo geral, o uso do composto orgânico associado ao solo mostrou-se mais eficaz na redução da infiltração e das emissões, configurando alternativa tecnicamente mais eficiente às coberturas convencionais.

2.4 O solo estudado

A tabela 1 apresenta os valores determinados em laboratório, do solo estudado visando o seu aproveitamento enquanto camada de cobertura final de aterro sanitário. Pode-se ver que a granulometria do solo apresenta uma distribuição contínua e mostra que o solo possui em sua constituição uma fração maior de areia, desse modo, classifica-se o solo como uma areia média pedregulhosa. Segundamente, foi determinado também a massa específica dos sólidos e foi encontrado um valor de 2,693 g/cm³, e também os índices de consistência, que caracterizaram o solo como de baixa plasticidade. Além disso, os valores de teor de umidade ótimo e de massa específica seca máxima, encontrados para o ensaio de compactação, correspondem a 10,00% e 1,990 g/cm³, respectivamente.

Tabela 1 – Resumo dos Resultados da Caracterização Geotécnica, Fonte: Autoral.

Análise		Solo do Aterro Sanitário
Granulometria	Pedregulho %	25,81
	Areia Grossa %	21,35
	Areia Média %	27,04
	Areia Fina %	9,95
	Silte %	9,85
	Argila %	6
Índices de Consistência	Limite de Liquidez (LL) %	26
	Limite de Plasticidade (LP) %	17
	Índice de Plasticidade (IP) %	9
Massa específica dos grãos (g/cm³)		2,693
Classificação Sistema Unificado		SM

Nesse sentido, de acordo com (CETESB, 1993), se tratando de uma camada convencional, para que um solo argiloso possa ser caracterizado adequado como impermeabilização de aterros, precisa obedecer a alguns parâmetros. Foi comparado os parâmetros do solo estudado com as camadas citadas na literatura, mostrado na tabela 2, em seguida foi observado que as características do solo estudado e classificado como

areia siltosa (SM) possui divergências significativas para as peculiaridades de um solo indicado para se comportar como camada de cobertura convencional.

Tabela 2 – Comparação entre as características dos solos usados nas camadas de cobertura convencional e alternativas, Fonte: Autoral.

Parâmetros	CAM. CONV. (CETESB, 1993)	CAM. OXIDATIVA (Costa, 2018)	CAM. MONOLÍTICA (Zornberg, 2007)	CAM. ESTUDADA
Classificação SUCS	CL, CH, SC ou OH	ML	CL	SM
Limite de Liquidez	≥30%	43,71	26,7	26%
Índice de Plasticidade	≥15%	33,02	11,7	9%
Coeficiente de permeabilidade	< 10^(-7) cm/s	1,9 × 10^(-7) cm/s	4.70×10^(−4) cm/s	-

CONV. = CONVENCIONAL; CAM. = CAMADA.
CL – ARGILA DE BAIXA COMPRESSIBILIDADE; CH ARGILA DE ALTA COMPRESSIBILIDADE; SC- AREIA ARGILOSA; OH SOLO ORGÂNICO DE ALTA COMPRESSIBILIDADE; ML – SILTE DE BAIXA COMPRESSIBILIDADE; SM- AREIA SILTOSA.

3 CONCLUSÃO

A partir da análise desenvolvida, conclui-se que o desempenho das camadas de cobertura de aterros sanitários é controlado por um conjunto integrado de parâmetros geotécnicos e hidrológicos, sendo inadequado avaliá-lo apenas com base na condutividade hidráulica saturada. A estrutura do solo, o índice de vazios, o grau e a umidade de compactação condicionam diretamente a condutividade hidráulica e a evolução do comportamento hidráulico ao longo do tempo. A sucção matricial e o grau de saturação mostraram-se fundamentais para descrever o regime não saturado predominante, influenciando a retenção de água e a redução da permeabilidade em condições secas. A curva de retenção de umidade constitui ferramenta central para compreender a capacidade de armazenamento hídrico do solo e sua resposta aos ciclos de secagem e umedecimento. Observa-se ainda que a espessura da camada, a permeabilidade não saturada, a temperatura do solo e os processos de evaporação e evapotranspiração afetam diretamente a percolação e o desempenho hidráulico de longo prazo. Dessa forma, o dimensionamento e a avaliação de camadas de cobertura devem adotar abordagens baseadas em desempenho, incorporando parâmetros hidráulicos, mecânicos e ambientais de forma integrada e compatível com o regime não saturado. O solo estudado foi classificado como uma areia siltosa (SM), com pequena fração de argila de baixa compressibilidade, apresentando baixa quantidade de finos e limites de consistência distintos dos solos argilosos convencionalmente empregados em camadas de cobertura. A partir da granulometria do solo estudado, é possível inferir um valor elevado para o coeficiente de permeabilidade. Os ensaios para determinação dos parâmetros hidráulicos encontram-se em andamento. Para as condições climáticas semiáridas, como as de Feira de Santana-BA, será possível utilizar camada de cobertura alternativa, do tipo evapotranspirativa e, para isto, recomenda-se avaliar o balanço hídrico, bem como a possibilidade de dosagem do solo para ajustar os parâmetros geotécnicos. Estudos produzidos por Costa et al. (2018) apontam que a incorporação de compostos orgânicos a solos arenosos, pode reduzir significativamente a emissão de gases fugitivos (biogás) para a atmosfera e manter taxas de infiltração em níveis aceitáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albright, W. H.; Benson, C. H.; Gee, G. W.; Abichou, T.; Apiwantragoon, P.; Rock, S. A.; Lyles, B. F. (2012). Field hydrology of landfill final covers with composite barrier layers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 138 (3), p. 337–348.

Albright, W. H.; Benson, C. H.; Gee, G. W.; Abichou, T.; McDonald, E. V.; Tyler, S. W.; Rock, S. A. (2006). Field performance of a compacted clay landfill final cover at a humid site. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132 (11), p. 1393–1403.

Albright, W. H.; Benson, C. H.; Gee, G. W.; Abichou, T.; Tyler, S. W.; Rock, S. A. (2006). Field performance of three compacted clay landfill covers. *Vadose Zone Journal*, 5 (4), p. 1157–1171.

Albright, W. H.; Benson, C. H.; Gee, G. W.; Roesler, A. C.; Abichou, T.; Apiwantragoon, P.; Lyles, B. F.; Rock, S. A. (2004). Field water balance of landfill final covers. *Journal of Environmental Quality*, 33, p. 2317–2332.

Apiwantragoon, P.; Benson, C. H. (2025). Water balance landfill covers: Hydraulic performance and equivalency. *Geoenvironmental Engineering* (GSP 362), American Society of Civil Engineers (ASCE), p. 145–165.

Araujo, P. S. (2017). *Análise do desempenho de um solo compactado utilizado na camada de cobertura de um aterro sanitário*. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Balugani, E.; Lubczynski, M. W.; Metselaar, K. (2023). Lysimeter and in situ field experiments to study soil evaporation through a dry soil layer under semi-arid climate. *Water Resources Research*, 59, e2022WR033878.

Boscov, M. E. G. (2008). *Geotecnia ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (1993). *Resíduos sólidos industriais*. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: CETESB, 234 p.

Costa, D. M.; Mariano, M. O. H.; Araújo, L. B.; Jucá, J. F. T. (2018). Estudos laboratoriais para avaliação do desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação à redução de emissões de gases e infiltrações. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23 (1), p. 77–90.

Lira, B. S. (2017). *Uso de composto orgânico como material componente para camada de cobertura oxidativa.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 116 p.

LOBO, B. R. H.; MACHADO, S. L.; MARQUES FILHO, E. P. Construction and test of an instrumented 2D channel with rainfall and insolation control. Research Square, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-777481/v1. Acesso em: 27 out. 2025.

Lopes, R. L. (2011). *Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 250 p.

Magalhães, P. R. F.; Soares, A. B. (2021). Uso de argilas expansivas em camadas de impermeabilização de coberturas de aterros sanitários no Nordeste do Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 26 (6), p. 1069–1077.

Mariano, M. O. H. (2008). Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterro de resíduos sólidos. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 243 p.

Medeiros, R. M.; Oliveira, A. D.; Norberto, A. S.; Mariano, M. O. H.; Jucá, J. F. T. (2020). Avaliação das propriedades físicas na camada de cobertura oxidativa em áreas de disposição final de resíduos sólidos. In: *XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Campinas, SP. Anais *do XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*. ABMS.

Medeiros, R. M.; Oliveira, A. D.; Oliveira Júnior, A. I.; Mariano, M. O. H.; Jucá, J. F. T. (2024). Camada de cobertura oxidativa para redução da emissão do gás metano em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. In: *XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Balneário Camboriú, SC. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. ABMS.

Norberto, A. S.; Medeiros, R. M.; Mariano, M. O. H. (2018). Avaliação do efeito da camada de cobertura na estabilidade em aterros de resíduos sólidos urbanos. In: *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2018*, Salvador, BA. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. ABMS.

Oliveira, M. S.; Mariano, M. O. H.; Jucá, J. F. T. (2020). Dimensionamento de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação ao fluxo de água. In: *XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Campinas, SP. Anais *do XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*. ABMS.

Santos, J. J. N.; Souza, J. C. M.; Araújo, P. S.; Melo, M. C.; Monteiro, V. E. D. (2021). Efeito da adição de composto orgânico no solo de camadas de cobertura de aterros sanitários e sua influência nas propriedades geotécnicas. *Revista DAE*, 69 (230), p. 154–166.

São Mateus, M. S. C. (2008). *Proposta de modelo para avaliação do balanço hídrico de aterros de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Aterro Metropolitano Centro de Salvador-BA.* Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 312 p.

São Mateus, M. S. C.; Machado, S. L.; Barbosa, M. C. (2012). An attempt to perform water balance in a Brazilian municipal solid waste landfill. *Waste Management*. 32 (3), p. 471–481.

Sena, T. S.; Santos, J. J. N.; Souza, J. C. M.; Soares, A. B.; Melo, M. C.; Monteiro, V. E. D. (2025). Effects of organic compost, saturation, and compaction on air permeability in compost-modified soil for landfill biocover systems. *Journal of Environmental Engineering*, 151 (10), 04025064.

Silva, T. F.; Santos, J. J. N.; Souza, J. C. M.; Araújo, P. S.; Paiva, W. (2022). Comportamento da permeabilidade não saturada em camada de cobertura de aterro sanitário no semiárido brasileiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27 (5), p. 1049–1057.

Vilar, O. M. (2021). *Fundamentos da mecânica dos solos não saturados*. São Carlos.

Zornberg, J. G.; LaFountain, L.; Caldwell, J. A. (2003). Analysis and design of evapotranspirative cover for hazardous waste landfill. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129 (6), p. 427–438.

Zornberg, J. G.; McCartney, J. S. (2007). Evapotranspirative cover systems for waste containment. In: *The Handbook of Groundwater Engineering*. Boca Raton: CRC Press, p. 34-1–34-31.