



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 8, nº 1 (2022)

<https://doi.org/10.21680/24447-3359.2022v8n1ID26206>



Umidade ótima do solo para fins de disposição de resíduos sólidos urbanos

Optimum soil moisture for urban solid waste disposal purposes

Guilherme Andreata Roessler¹; Vanderlei Rodrigues da Silva²; Sabrina Dreifke Baldez³; Willian Fernando de Borba⁴

- ¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen/RS, Brasil. Email: guilherme.roessler@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8112-7094>
- ² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen/RS, Brasil. Email: vanderlei@ufsm.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1636-7451>
- ³ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen/RS, Brasil. Email: sabrinabaldez@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3383-2367>
- ⁴ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen/RS, Brasil. Email: borbawf@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5717-1378>

Resumo: A geração de resíduos sólidos aliado à disposição desses resíduos de maneira adequada são fatores determinantes em aterros sanitários tanto para a questão ambiental quanto para a saúde pública. Nesse contexto, as variáveis físicas do solo com relação a permeabilidade do solo são essenciais para a segurança da operação dos aterros. Diante disso, esse estudo tem por objetivo determinar a umidade ótima do solo para a sua máxima compactação. O estudo foi desenvolvido na área de um aterro sanitário, localizado no noroeste gaúcho. O solo local é um LATOSSOLO VERMELHO, no qual foi realizado o ensaio de compactação pelo método do Proctor e posterior determinação da condutividade hidráulica saturada, por meio do permeâmetro de carga constante. Os resultados indicaram uma porcentagem de argila de 65 %, o que resultou em um teor de umidade ótima de 34 %, densidade máxima de 1.395 kg/m³, condutividade hidráulica saturada de 2,1 x 10⁻⁶ cm.s⁻¹. Com isso, conclui-se que o solo argiloso, apresentou os valores mínimos propostos pela legislação vigente para operação de aterros sanitários de resíduos urbanos, além de servir como auxílio no processo de tomada de decisão por órgãos gestores.

Palavras-chave: Aterro sanitário; Ensaio proctor; Permeabilidade.

Abstract: The generation of solid waste combined with the proper disposal of these wastes are determining factors in landfills both for the environmental issue and for public health. In this context, the physical variables of the soil in relation to the permeability of the soil are essential for the safe operation of landfills. Therefore, this study aims to determine the optimal soil moisture for maximum compaction. The study was carried out in the area of a sanitary landfill, located in northwestern Rio Grande do Sul. The local soil is a RED LATOSOL, in which the compaction test was carried out by the Proctor method and subsequent determination of the saturated hydraulic conductivity, by means of a constant load permeameter. The results indicated a clay percentage of 65 %, which resulted in an optimum moisture content of 34 %, maximum density of 1,395 kg/m³, saturated hydraulic conductivity of 2.1 x 10⁻⁶ cm.s⁻¹. Thus, it can be concluded that the clayey soil presented the minimum values proposed by the current legislation for the operation of urban waste landfills, in addition to serving as an aid in the decision-making process by management bodies.

Keywords: Landfill; Proctor assay; Permeability.

Recebido: 05/08/2021; Aceito: 10/11/2021; Publicado: 14/04/2022.

1. Introdução

O processo de gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) envolve uma série de normativas e legislações sobre o tema. Nesse sentido, os aterros sanitários desempenham um papel primordial como forma de disposição final ambientalmente adequado dos rejeitos. Porém, quando operado de maneira inadequada se torna uma fonte potencial de contaminação do meio físico (Solo e água subterrânea).

Neste contexto, o meio físico, principalmente o solo, desempenham uma função primordial na proteção do ambiente, por que acaba funcionando como filtro (REBOUÇAS; BRAGA JÚNIOR; TUDISI, 2002). Caso contrário, essa carga contaminante pode infiltrar na zona aerada até a zona vadosa, atingindo a água subterrânea, onde os impactos se agravam, poluindo o meio ambiente e afetando a sua qualidade.

Diante disso, pesquisas que tem como objetivo analisar o suporte do meio a operação dos aterros sanitários são de extrema importância. Nesse sentido, a determinação da umidade ótima para máxima compactação em laboratório se torna uma informação essencial para operação de aterros sanitários, pois visa a menor taxa de infiltração na base da estrutura ou ainda de cobertura final.

Um dos métodos mais comuns de se determinar a umidade ótima do solo, é o ensaio de Proctor. Esse ensaio de compactação leva em consideração a compactação do solo e seu teor de umidade. Klein (2014) afirma que à medida que aumenta o teor de umidade, as partículas se rearranjam em um estado mais compacto, sendo que a partir de um certo teor de água, a compactação não consegue mais expulsar o ar dos poros, assim, gerando a umidade ótima.

Diante da relevância do tema, diversas pesquisas referem-se à umidade ótima em áreas de aterros sanitários, seja em camadas de base ou de cobertura final (NIK DAUD; MUHAMED; KUNDRIRI, 2017; BECK-BROICHSITTER; GERKE, HORN, 2018; COSTA *et al.*, 2018; SOBREIRA *et al.*, 2008; ARIFIN, 2019; BECK-BROICHSITTER, GERKE, HORN, 2019; EMMANUEL *et al.*, 2020; DALA SANTA *et al.*, 2020). Com base no exposto acima, esse estudo tem por objetivo determinar a umidade ótima do solo para fins de disposição de RSU em uma área localizada no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Para isso, foram realizados ensaios de Proctor e posterior, determinada a permeabilidade das amostras.

2. Metodologia

Para a determinação desse estudo, as amostras de solo foram coletadas na área do Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos (CIGRES), situado as margens da BR 386/158, localizado no município de Seberi - RS (Figura 1).

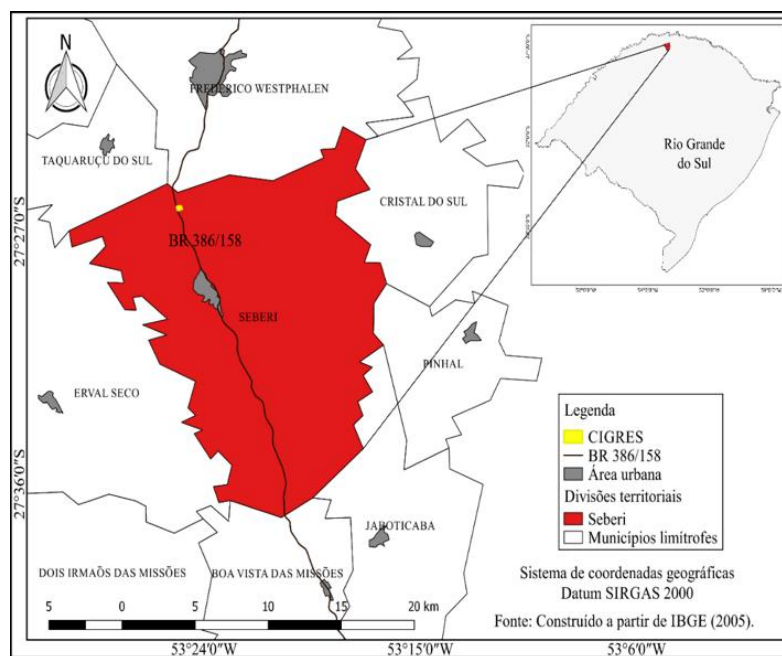


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Fonte: Borba (2019).

O CIGRES está situado na região hidrográfica do Rio Uruguai (U), Bacia do Rio da Várzea - U100 (SEMA, 2004), com clima subtropical úmido (MORENO, 1961) e contempla um total de chuvas anuais próximo a 1.900 mm, difundidas nos 12 meses do ano (SOTÉRIO; PEDROLLO; ANDRIOTTI, 2005).

Atualmente o CIGRES recebe cerca de 1.700 toneladas de RSU ao mês, oriunda de 31 municípios que envia os resíduos de uma população de aproximadamente 160 mil habitantes. Além disso, realiza o processo de triagem, destinação e disposição ambientalmente adequada. Sendo que o processo de triagem consegue recuperar cerca de 16 % do montante recebido (BORBA, 2019) e 84 % é disposto do aterro sanitário. Foi utilizado, além das informações de interesse, os estudos realizados por Borba (2016; 2019) como base de dados, quando necessário.

2.1. Coleta de solo, análise granulométrica e densidade de partículas

O solo local é um LATOSSOLO VERMELHO distrófico (EMBRAPA, 2017), oriundo da Formação Serra Geral (CPRM, 2006) e seus produtos de intemperização. A coleta de solo para a determinação dos parâmetros de interesse foi realizada em um local onde será implementada a célula de disposição dos rejeitos.

Assim, foi construído uma trincheira (Figura 2), onde foi coletada as amostras deformadas a uma profundidade entre 2 e 2,5 m. Isso se deve pelo fato, que para a implementação da célula, a base da célula ficará próximo a esses valores, em virtude de escavação e nivelamento. Para determinação da granulometria do solo utilizou-se o método da pipeta (EMBRAPA, 2017).



*Figura 2 – Localização do ponto de coleta do solo analisado.
Fonte: Autor (2019).*

A densidade de partículas foi determinada seguindo o proposto por Viana, Teixeira e Donagemma (2017), segundo a equação 1.

$$D_p = m_a / ((V_t - V_a)) \quad \text{Equação 1.}$$

Onde:

- D_p : Densidade de partículas, em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$;
- m_a : Massa da amostra seca a 105°C , em g;
- V_t : Volume total aferido do balão, em mL; e
- V_a : Volume utilizado para completar o balão com a amostra, em mL.

2.2. Ensaio de compactação do solo (PROCTOR)

Para o ensaio de Proctor, foi separado 3 kg de solo, peneirado em peneira de 4,75 mm e armazenados em sacolas plásticas fechadas, seguindo o proposto pela NBR 7.182/2016 (ABNT, 2016). Como base de compactação foi feita a reutilização do material e utilizado um cilindro pequeno, e um soquete base para o mesmo cilindro. Onde se encontra um cilindro de 1.000 cm^3 e o soquete com 2,5 kg de peso, e altura de queda de 30,5 cm, utilizando três camadas de solos compactadas por 26 golpes por camada (ABNT, 2016).

A determinação da curva de compactação, ocorreu o umedecimento inicial da amostra para se chegar próximo de um valor conhecido de umidade, ou seja, para iniciar o ensaio foi adicionado 20 % de água em relação ao solo seco de amostra. Após, foi adicionado água de modo crescente, onde, entre repetições era adicionado 2 % até chegar em um momento em que a densidade máxima encontrada resultasse em um valor menor a anterior, para assim encerrar os ensaios, sempre fazendo uma mistura homogênea para uma melhor aplicação da metodologia.

Conforme a Figura 3, cada umidade produzida foi colocada no cilindro em camadas, em um total de 3 camadas para uma melhor homogeneização de compactação, sendo aplicado 26 golpes em cada.



Figura 3 – Compactação do solo utilizando Proctor.

Fonte: Autor (2019).

Cada vez que gerada uma nova amostra, com uma nova umidade, era coletado dois modelos em cilindro menores (Figura 4), para colocar em estufa e averiguar a umidade real conhecida, para a comprovação do teor de umidade utilizado em cada modelo de compactação. Após, foi realizada uma planilha eletrônica para cálculo da específica aparente seca máxima e teor de umidade ótima.



Figura 4 – Cilindro com o solo compactado para coleta dos dados de densidade.
Fonte: Autor (2019).

2.3. Condutividade hidráulica saturada

A determinação das amostras para o cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada (k_{sat}), se deu a partir do conhecimento da umidade ótima e da densidade máxima aparente de solo seco. Para isso, o material foi alocado em um cilindro de 100 cm³, através de compactação manual. Nessa etapa, foram coletadas amostras em triplicata.

Posteriormente, as amostras foram saturadas por um período de 24 horas. A k_{sat} , se deu por meio de um permeâmetro de carga constante, conforme descrito por Marques et al. (2008). Foi utilizada a carga hidráulica constante de 8 cm área do cilindro de 19,63 cm². A condutividade hidráulica saturada foi obtida a partir da equação 2.

$$K_{sat} = ((Q.L)/(A.H.t)) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- k_{sat} : Condutividade hidráulica saturada (cm.s⁻¹);
- Q: Volume do perolado (mL);
- L: Altura do bloco de solo (cm);
- H: Altura de coluna d'água e do bloco (cm);
- A: Área do cilindro (cm²); e
- t: Tempo de percolação (s).

O tempo e o volume foram coletados em intervalos de duas horas, com a finalidade de haver homogeneidade de resultados, a medição de tempo foi aferida por cronômetro e o volume percolado medido com uma pipeta.

3. Resultados e discussão

A granulometria do solo apresentou valores médios de argila de 66 %, silte 25 % e areia total 9 %. De acordo com Chernicharo et al. (2008), as áreas de aterros sanitários devem conter percentual de argila superior a 30 % para atender as necessidades de permeabilidade e presença de argilominerais que atuam como elemento filtrante dos contaminantes

oriundos dos resíduos armazenados nesses locais. Estudos realizados em áreas de aterros sanitários por Silva et al. (2001), Beutler et al. (2005) e Fonseca et al. (2007), reiteram o que valores médios de argila deve estar entre 43 e 62 %. Na área do estudo, a predominância da argila é um ponto muito essencial, em virtude de suas características de baixa permeabilidade.

A compactação do solo é a redução do volume poroso do solo por esforço mecânico sobre a superfície do solo. Para que o solo seja compactado o teor de umidade do solo é fundamental, a água facilita a movimentação e o rearranjo das partículas sólidas (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000). A umidade ótima obtida no ensaio de proctor para este solo foi de 34 % (Figura 5) para atingir a compactação máxima. Isso representa que o solo necessitou 34 % do seu peso seco para obter a maior massa específica seca, sendo assim, um menor índice de vazios no solo, e consequentemente a menor permeabilidade da amostra.

Para a obtenção de uma umidade ótima de 34 %, a densidade máxima foi aproximadamente de $1.395 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ou $1,395 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Pinto (2006) afirma que solos argilosos, como o Latossolo presente na área de estudo, possuem umidade ótima entre 25 e 30 % e densidades secas máximas de 1,4 a $1,51 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, valores esses próximos aos encontrados na área analisada.

Para Maciel (2003), em um solo com 27 % de argila e 24 % de silte, a densidade máxima seca do solo foi de $1.610 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, para uma umidade de 23 %. Com isso podemos analisar que quanto maior o percentual de argila, maior o valor de umidade necessário para a compactação, pois para um solo argilo-siltoso (Solos <40 % de argila), Carvalho e Paschoalin Filho (2004) obtiveram um valor de umidade ótima a 28 %. Ozcoban et al. (2006) descrevem que a percolação do lixiviado pelo solo, pode alterar a sua permeabilidade, aumentando os seus valores. Assim, destaca-se a importância da proteção do meio subterrâneo nessas áreas.

No estudo desenvolvido por Franceschet (2006) em solos de três aterros sanitários, os valores encontrados pelo autor, para umidade ótima variaram de 23,60 a 36 %, para densidade máxima de 1,29 a $1,35 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ e para permeabilidade, de 10^{-7} a $10^{-5} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Sendo que para a umidade ótima de 32 %, os valores de densidade máxima foram de $1,35 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ e permeabilidade de $10^{-5} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, valores estes semelhantes ao encontrados nesse estudo. Já Araújo et al. (2016) encontraram, em um solo com umidade ótima de 13,40 %, valores de densidade máxima de $1,99 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ e permeabilidade na faixa de $10^{-8} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

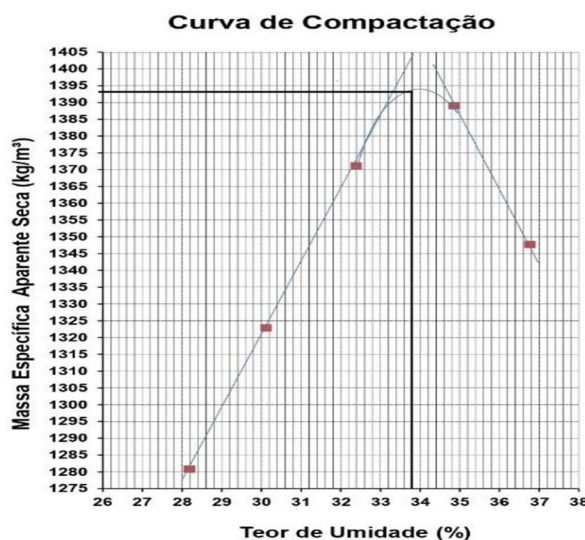


Figura 5 – Curva de compactação do solo em relação ao teor de umidade do solo.

Fonte: Autor (2019).

A condutividades k_{sat} do solo foi de $2,1 \times 10^{-6} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, valores abaixo dos verificados por Borba (2016; 2019) em condições de solo natural nesse mesmo local. O autor encontrou valores médios de $1,20 \times 10^{-4} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ e $5,09 \times 10^{-4} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente. Assim, percebe-se que o ensaio localizado *ex situ* apresentou menores valores de condutividade hidráulica saturada, estando dentro do permitido pelas de aterros sanitários, NBR 13.896/1997 (ABNT, 1997) e NBR 15.849/2010 (ABNT, 2010), elas indicam que os valores devem ser inferiores a $5 \times 10^{-5} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Com isso, destaca-se a importância do conhecimento da umidade ótima do solo, para realizar as operações de compactação do solo para atingir a compactação máxima do local, aumentando a segurança para operação e consequente proteção do meio subterrâneo quanto a percolação de água e contaminantes. No início do fluxo hídrico, o solo não está saturado e o movimento de água e contaminantes ocorre em condições não saturadas, envolvendo características do solo, do soluto e é afetado pela histerese (REICHARDT; TIMM, 2004). Com o aumento do fluxo de água e contaminantes, o movimento de água passa a ser definido com fluxo em solo saturado, onde interfere no movimento as condições de permeabilidade do meio e a diferença de potencial de pressão no ponto considerado. Em outros estudos envolvendo ensaios de permeabilidade do solo, Celligoi et al. (2006) em Londrina - PR, o solo oriundo de rochas vulcânicas apresentou valores de $1,9 \times 10^{-2} \text{ cm.s}^{-1}$. Já Pinheiro, Nummer e Rauber (2017) em Santa Maria - RS, obtiveram $3,3 \times 10^{-5} \text{ cms}^{-1}$, para um solo com 65 % de argila, valor esse semelhante ao encontrado por Borba (2019). Ainda, o solo local possui limites de liquidez de 68,39 %, plasticidade de 41,73 %, contração de 28,94 % e índice de plasticidade de 27,10 % (Borba, 2016). Segundo Borba (2016) esses valores estão de acordo com valores descritos em solos semelhantes, principalmente pelo teor de argila do mesmo além da atividade dessa fração.

Ainda assim, a informação sobre a mineralogia dos locais são informações essenciais, pois permitem identificar quais argilominerais estão presentes. A mineralogia da fração argila da área é predominante de caulinita (Borba, 2016), argilomineral silicatado do tipo 1:1, que apresenta baixa Capacidade de Troca de Cátions (CTC), sendo característica comum em solos intemperizados.

De acordo com Drever (1997), esses padrões podem ser relacionados com a retenção de metais pesados e conferir uma baixa permeabilidade do meio, conforme constatado nos resultados obtidos, por meio da k_{sat} . O estudo desenvolvido por Piarangeli et al. (2007) e um Latossolo de baixa CTC, ocorreu maior adsorção dos elementos Cobre e Chumbo, quando comparados ao Cádmio. Isso indica, uma possível retenção de contaminantes, mesmo com a presença de um argilomineral 1:1.

4. Considerações finais

Conclui-se com a realização desse estudo, que o solo amostrado apresentou teores médios de argila de 65 %, condicionaram ao solo um teor de umidade ótima para máxima compactação de 34 % e densidade máxima de 1.395 kg.m^{-3} , o que resultou em uma condutividade hidráulica saturada de $2,1 \times 10^{-6} \text{ cm.s}^{-1}$. Aliado a isso, a presença de caulinita no local, contribui para baixos valores de permeabilidade do solo, e consequente, uma maior proteção da água subterrânea.

Os resultados permitiram identificar que os ensaios de laboratório apresentaram informações de suma importância, pois comparado a outros estudos realizados no local, a umidade ótima resultou em valor de permeabilidade que está de acordo com as normas vigentes.

Em áreas de aterros sanitários, estudos desse cunho temático são de extrema importância, pois permitem, além de proporcionar a máxima compactação do solo, auxiliar no planejamento e reduzir custos operacionais por exemplo, auxiliando no processo de tomada de decisão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a equipe do Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa.

Referências

13896: *Aterro de Resíduos não perigosos - Critério para projetos, implantação e operação*. ABNT: Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15849: Resíduos Sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - diretrizes de localização, projeto, implantação, operação e encerramento*. ABNT: Rio de Janeiro, 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7182: Solo - Ensaio de Compactação*. 2ª edição. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.

- ARAÚJO, P. da S.; SANTOS, J. J. das N.; ARAÚJO NETO, C. L. de.; SOUSA, R. B. A. de.; PAIVA, W. de. Análise da viabilidade do uso de solo como material impermeabilizante em aterros sanitários. In: I Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. Anais... Campina Grande: ICNPEC, 2016.
- ARIFIN, Y. F. Bentonite Enhanced Soil as an Alternative Landfill Liner in Rikut Jawu, South Barito. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 239, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/239/1/012003>
- BECK-BROICHSITTER, S.; GERKE, H. H.; HORN, R. Effect of Compaction on Soil Physical Properties of Differently Textured Landfill Liner Materials. *Geosciences*, v. 9, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.3390/geosciences9010001>
- BECK-BROICHSITTER, S.; GERKE, H.H.; HORN R. Suitability of Boulder Marl and Marsh Clay as Sealing Substrates for Landfill Capping Systems - A Practical Comparison. *Geosciences*, v. 8, n. 10, p. 356., 2018. <https://doi.org/10.3390/geosciences8100356>
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de latossolos vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 6, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000600002>
- BORBA, W. F. de. *Vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea em área ocupada por aterro sanitário em Seberi - RS*. 2016. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2016.
- BORBA, W. F. *Avaliação da contaminação ambiental em um aterro sanitário de pequeno porte, sem utilização de geomembrana, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul*. 2019. 168f. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2019.
- CARVALHO, D.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Estudo da estabilidade de pequenas barragens de terra compactadas em três teores de umidade. *Exacta*, n. 2, p. 55 - 68, 2004.
- CELLIGOI, A.; LAMÔNICA, D.; MACHADO, A. de. C.; SOUSA, R. V. B. de; MEDEIROS, H. R. Determinação das condutividades hidráulicas das zonas saturada e não saturada do aquífero freático nas adjacências do aterro controlado de Londrina. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2010, Curitiba, PR. *Anais... ABAS*: Curitiba, 2006.
- CHERNICHARO, C. A.; RUTKOWSKI, E. W.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; CASSINI, S. T. A. *Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento - nível 2*. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120p.
- COSTA, M. D.; MARIANO, M. O. H.; ARAUJO, L. B.; JUCÁ, J. F. T. 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*, v. 23, p. 75 - 88, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018160393>
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 2006.
- DALLA SANTA, G.; COLA, S., TATEO, F.; GALGARO, A. Hydraulic conductivity changes in compacted clayey barriers due to temperature variations in landfill top covers. *Bulletin of Engineering Geology Environment* v. 79, p. 2893 - 2905, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01726-w>
- DREVER, J. I. *The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*. Prentice Hall: Upper Saddle River, 1997. 436p
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Manual de métodos de análise de solo. *Argila dispersa em água e grau de floculação*. Brasília: EMBRAPA, 2017. p. 117-124.

- EMMANUEL, E.; ANGGRAINI, V.; ASADI, A.; RAGHUNANDAN, M. E. Interaction of landfill leachate with olivine-treated marine clay: Suitability for bottom liner application. *Environmental Technology & Innovation*, v. 17, p. 100574. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100574>
- FRANCESCHET, M. *Estudo da permeabilidade de solos de aterros sanitários do Estado de Santa Catarina: Estudo de caso aplicado a Timbó, Chapecó e Curitibanos*. 2006. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2006.
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 1, p. 22 - 30, 2007.
- KLEIN, V. A. *Física do Solo*. 3 ed. Passo Fundo: Editora da UPF, 2014. 263p.
- MACIEL, F. J. *Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muricabeça/PE*. 2003. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2003.
- MARQUES, J. D.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JÚNIOR, O.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência de solos amazônicos em diferentes coberturas vegetais. *Acta Amazônica*, v. 38., n. 2., p. 193 - 206, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000200002>
- MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Secção de Geografia. Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, 1961. 42p.
- NIK DAUD, N. N.; MUHAMMED, A. S.; KUNDIRI, A. M. Hydraulic Conductivity of Compacted Granite Residual Soil Mixed with Palm Oil Fuel Ash in Landfill Application. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 35, p. 1967 - 1976, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0220-1>
- OZCOBAN, M. S.; TUFEKCI, N.; SAHIN, U.; CELIK, S. O. Leachate removal rate and the effect of lechate on the hydraulic conductivity of natural (undisturbed) clay. *Journal of Scientific & Industrial Research*, v. 65, p. 264 - 269, 2006.
- PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; COSTA, E. T. de S.; LIMA, J. M. de.; MARQUES, J. J. G. de S. e M.; FIGUEIREDO, L. F. P. Comportamento sortivo, individual e competitivo, de metais pesados em latossolos com mineralogia contrastante. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31., p. 819 - 826, 2007.
- PINTO, C. de S. *Curso básico de mecânica dos solos*. 3ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- PINHEIRO, R. J. B.; NUMMER, A. V.; RAUBER, A. C. Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria - RS. *Geociências*, v. 36., n. 2., p. 347 - 363, 2017.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JÚNIOR, B. P. F.; TUNDISI, J. G. *Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo: FTD, 2002. 703p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. *Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações*. Barueri: Manole, 2004.
- SEMA. Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. *Mapa das bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: SEMA, 2004.

-
- SILVA, G. M.; BUSO, W. H. D.; OLIVEIRA, L. F. C. de; NASCIMENTO, J. L. do. Caracterização físico-hídrica perférrico submetido a dois sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 31, n. 2, p. 127-131, 2001.
- SILVA, V. R. da.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um latossolo vermelho-escuro e de um podzólico vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 2, p. 239 - 249, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200001>
- SOBREIRA, D. S. V.; LUCENA, A. E. F. L.; LUCENA, L. C. F. L.; SOUSA, T. M. Estudo Comparativo entre os Métodos de Compactação de Solos por Impacto e Amassamento. *Geociências*, v. 37, p. 683 - 693, 2018.
- SOTÉRIO, P. W.; PEDROLLO, M. C. R.; ANDRIOTTI, J. L. Mapa de isoietas do Rio Grande do Sul. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa/PB: ABRH, 2005.
- VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade de partículas. IN: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos e análise de solo**. 3ª edição. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p. Cap. 8, p. 76 - 81.