



Métodos práticos alternativos para determinação da disponibilidade de água em substratos para produção de mudas

Rosilvam Ramos de Sousa¹, Carlos Luiz da Silva¹, Moema Barbosa de Sousa¹, Maria Gabriella Rodrigues Pundrich¹, Cleyton dos Santos Souza¹, Eliane Cristina Sampaio de Freitas¹

RESUMO: A determinação da capacidade de retenção de água no solo é importante para estabelecer a lâmina d'água necessária para a irrigação das culturas e estabelecer experimento de disponibilidade hídrica. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi definir uma metodologia acessível que apresente resultados semelhantes estatisticamente aos obtidos pelo método do funil de placa porosa na determinação da disponibilidade de água no substrato. O trabalho foi desenvolvido na casa de vegetação do Viveiro Florestal e no Laboratório de Física do Solo, ambos pertencentes à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). O delineamento experimental adotado foi o Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 2 x 3, sendo dois tipos de solos (S1 – Franco Arenoso e S2 – Areia Franca) e três métodos de determinação da disponibilidade de água no substrato (CV) [método do funil de placa porosa (testemunha), método da lâmina de água e o método da capilaridade (avaliados diretamente no vaso)], com 4 repetições cada. Foi constatado que o método do funil de placa porosa apresentou as maiores médias de CV, seguido pelo método da capilaridade. O método que apresenta resultados mais próximos ao do funil é o da capilaridade, sendo, portanto, a alternativa mais recomendada para uso em campo.

Palavras-chave: umidade do solo, água disponível, método do funil, capilaridade, lâmina de água.

Practical alternative methods for determining water availability in substrates for seedling production

ABSTRACT: The determination of the water retention capacity of the soil is important for establishing the required water depth for crop irrigation and conducting experiments on water availability. Therefore, the objective of this study was to define an accessible methodology that yields statistically similar results to those obtained with the porous plate funnel method for determining water availability in substrates. The study was conducted in the greenhouse of the Forest Nursery and the Soil Physics Laboratory, both belonging to the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE). The experimental design adopted was a Completely Randomized Design (CRD) in a 2 x 3 factorial scheme, with two soil types (S1 – Sandy Loam and S2 – Loamy Sand) and three methods for determining water availability in the substrate (AW) [porous plate funnel method (control), water depth method, and capillarity method (evaluated directly in the pot)], with 4 replicates each. It was found that the porous plate funnel method showed the highest AW averages, followed by the capillarity method. The method that presented results closest to the funnel method was the capillarity method, thus being the most recommended alternative for field use.

Keywords: soil moisture, available water, funnel method, capillarity, water depth.

INTRODUÇÃO

A produção de mudas florestais, especialmente de espécies nativas, desempenha um papel crucial na conservação da biodiversidade, na recuperação de áreas degradadas e na implementação de projetos de arborização e paisagismo. A irrigação é uma das ações mais importantes e fundamentais para produção de mudas, pois garante a disponibilidade hídrica necessária para promover o crescimento e vigor. Os sistemas de irrigação representam os principais consumidores de água em escala global, e, diante das mudanças climáticas, a redução do desperdício de água torna-se uma prioridade (Thebaldi *et al.*, 2016).

Para alcançar a maior eficiência no uso da água na irrigação, é essencial determinar a quantidade adequada de água para atender às necessidades hídricas da planta, ou seja, a reposição de água por meio da irrigação que resultará em mudas com maior qualidade, além de reduzir o desperdício de água e lixiviação dos nutrientes (Herculano *et al.*, 2022).

A capacidade de campo é um conceito fundamental na ciência do solo, especialmente quando se trata de irrigação e manejo de água no solo. De acordo com Jong van Lier (2020), apesar de sua definição imprecisa, é amplamente usada tanto no manejo da irrigação quanto como limite superior da

água disponível para as plantas. Comumente interpretada como o teor máximo de água que o solo pode reter contra a gravidade. Também, é influenciada principalmente pelos mecanismos de capilaridade e adsorção, que estabelecem as forças matriciais do solo (Mantovanelli *et al.*, 2022).

É importante ressaltar que as texturas do solo influenciam a capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica, o que, por sua vez, afeta a capacidade de um determinado solo em fornecer água às plantas (Kaiser; Silva, 2023). Logo, a retenção de água varia em função do tipo de solo, resultante da interação complexa de fatores, tais como o teor e a mineralogia da fração argila, o teor de matéria orgânica, a estrutura e a densidade (Ramírez; Matos, 2022).

Analogamente ao conceito de capacidade de campo, em estudos envolvendo o cultivo de plantas em vasos, é comum utilizar o termo "capacidade de vaso" para evidenciar a disponibilidade de água no substrato. No entanto, é importante destacar que o solo contido no vaso apresenta diferenças em relação ao solo em sua condição natural. O vaso é normalmente preenchido com material peneirado, por vezes misturado com algum condicionador, além disso, a altura do vaso é significativamente menor do que a de um perfil de solo convencional, e não apresenta a sequência de horizontes típica de um solo natural (Casaroli; Jong van Lier, 2008).

Para determinar a disponibilidade de água no substrato, existem várias metodologias e o método padrão, amplamente utilizado pelos laboratórios de física do solo, é o método da mesa tensão, adaptado e denominado por muitos pesquisadores como método de funil de placa porosa, desenvolvido por Haines, (1930). O método do funil de placa porosa envolve a aplicação de uma tensão à amostra de solo, que extrai uma quantidade de água. Esse método é realizado em laboratório e é considerado um dos métodos mais precisos para determinar a disponibilidade de água no substrato em laboratórios.

Entretanto, nem sempre os métodos laboratoriais estão à disposição de todos que trabalham com produção de mudas, sendo necessária a viabilização de métodos mais práticos de serem executados e mais acessíveis em relação aos equipamentos, infraestrutura e custos envolvidos. Entre os métodos realizados de forma direta para determinação da disponibilidade de água nos substratos, pode-se destacar o desenvolvido por Claessen *et al.* (1997), cuja saturação é realizada por meio de capilaridade e o desenvolvido por Oliveira e Melo (1971), em que a saturação ocorre aplicando-se uma lâmina d'água diretamente no substrato.

Essas metodologias podem ser executadas em condições que os produtores não têm acesso a laboratórios em sua região e nem meios e

conhecimento adequado para coleta e transporte de amostras de solo. Também, estruturas de pequeno porte no qual o interesse é apenas evitar o desperdício de água na hora da irrigação, bem como para produtores que não tem um controle do substrato que ele utiliza, podendo esse substrato variar entre tipo de solo, textura, e níveis de matéria orgânica, evitando que para cada tipo de solo seja necessário realizar testes laboratoriais para determinar qual seria a melhor lâmina de irrigação.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar metodologias alternativas para determinação da disponibilidade de água no substrato em comparação com o método do funil de placa porosa, utilizando dois tipos de solos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo foi conduzido na casa de vegetação do Viveiro Florestal e no Laboratório de Física do Solo, ambos pertencentes à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada em Recife. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região é caracterizada pelo clima do tipo Am, tropical úmido (Alvares *et al.*, 2013).

Coleta e análise do material

Foram coletados dois tipos solos (S1 e S2) a uma profundidade de 0 a 20 cm, no Campus Sede da UFRPE, formando amostras compostas (cinco amostras simples homogêneas), para cada tipo solo e utilizado os procedimentos propostos por Teixeira *et al.* (2017) para a determinação das granulometrias. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas manualmente e passadas em peneira de aço inoxidável com abertura de 2 mm, para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Pesou-se 20 g de TFSA, utilizando uma balança analítica, sendo depositado em um recipiente de alumínio e levado para a estufa de circulação forçada, com temperatura constante de 105° C durante 24 horas. Logo após, o material foi pesado novamente, para determinação da Terra Seca em Estufa (TFSE). Estes dados foram utilizados no cálculo do fator "f", utilizando a seguinte Equação 1:

$$f = \frac{TFSA}{TFSE} \quad (\text{Equação 1})$$

em que: f = fator "f" (adimensional);

$TFSA$ = massa da terra fina seca ao ar (g); e

$TFSE$ = massa da terra fina seca em estufa (g).

Os dados obtidos foram utilizados na determinação da $TFSA_{\text{corrigida}}$, com a Equação 2 a seguir:

$$TFSA_{\text{corrigida}} = \frac{TFSA}{f} \quad (\text{Equação 2})$$

em que: $TFS A_{corrigida}$ = massa da terra fina seca ao ar corrigida (g).

Após a obtenção dos dados de granulometria, a classificação dos solos foi realizada por meio do triângulo de textura do solo, proposto por Lemos e Santos (1996), no qual determinou-se os solos como Franco Arenoso (S1) e Areia Franca (S2) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise granulométrica dos solos Franco Arenoso (S1) e Areia Franca (S2) utilizados no experimento de determinação da disponibilidade de água

Solos	Análise física			Classificação textural
	Areia total	Silte	Argila	
	-----g kg ⁻¹ -----			
S1	794,0	76,0	130,0	Franco arenoso
S2	872,2	41,1	86,7	Areia franca

Fontes: Autores (2024).

Determinação da disponibilidade de água no substrato

Para determinar a disponibilidade de água no substrato é comum usar a expressão capacidade de campo dos solos, capacidade de retenção de água, e em alguns casos, como neste trabalho capacidade de vaso (CV). A avaliação da capacidade de campo dos solos que corresponde a disponibilidade de água (CV) foi conduzida por meio de três métodos, sendo utilizado como método padrão o funil de placa porosa (Haines, 1930), realizado em laboratório. Os métodos realizados de forma direta, nos vasos, foram os de Claessen *et al.* (1997), saturação realizada por meio de capilaridade e de Oliveira e Melo (1971), saturação realizada aplicando-se uma lâmina d'água sobre o substrato. O método foi considerado um fator, sendo a determinação da disponibilidade de água no substrato feita quadruplicatas, representadas por vasos plásticos com volume total de 1 litro para os métodos alternativos.

Metodologia de Claessen *et al.* (1997)

Esta metodologia será indicada ao longo do nosso texto como método da capilaridade. Os solos foram peneirados utilizando-se uma malha de 0,3 mm. Posteriormente, cada solo foi alocado em 4 vasos plásticos e pesados. Em seguida, os vasos foram alocados em bandejas plásticas contendo uma lâmina d'água de 2 cm, para saturação por capilaridade até atingir completa saturação dos solos, onde os vasos foram acomodados em grades superpostas em bandejas por 48 horas, totalizando uma altura de 4,4 cm, para que ocorresse o processo de drenagem livre. Consecutivamente, as amostras foram pesadas e submetidas à secagem em estufa a uma temperatura de 105 +/- 0,5 °C por 48 horas e novamente pesadas. Os solos foram pesados sem a saturação, após a drenagem livre e após a secagem em estufa, com a obtenção da massa seca das amostras

permitiu-se calcular a quantidade de água extraída durante o processo, a porosidade total, espaço de aeração dos solos representando a capacidade de retenção de água do vaso, determinada pela diferença entre as massas das amostras antes e após o procedimento de secagem (Equação 3).

$$\text{Porosidade total (\%)} = P2 - P1 - P3$$

(Equação 3)

em que: P2 = Massa do solo saturado por capilaridade e drenagem livre por 48 horas;

P1 = Massa do vaso e solo seco sem aplicação do tratamento; e

P3 = Massa do solo seco em estufa.

Metodologia de Oliveira e Melo (1971)

Esta metodologia será indicada no nosso texto como método da lâmina. Os solos foram peneirados utilizando-se uma malha de 0,3 mm. Subsequente, cada solo foi alocado em 4 vasos plásticos e pesados, em que, os vasos foram alocados em bandejas plásticas adicionado uma lâmina de água de 300 ml na parte superior dos vasos até a saturação do solo (observado após o escoamento pela parte inferior do vaso), feito isso, os vasos foram envoltos com sacos plásticos para evitar evapotranspiração excessiva. Logo após, os vasos foram acomodados em grades superpostas em bandejas por 48 horas, com altura de 4,4 cm, para o processo de drenagem livre.

Posteriormente, o material ficou em processo de drenagem livre durante um período de 48 horas, em seguida, as amostras foram pesadas. Deste modo, determinou-se o conteúdo volumétrico de água no solo por meio de uma nova pesagem, resultando na capacidade de retenção de água do vaso, calculada pela diferença entre as massas das amostras antes e depois do período de 48 horas. Os solos foram pesados sem a saturação, após a saturação e após a

drenagem livre, como a obtenção da massa seca das amostras permitiu calcular a quantidade de água extraída durante o processo, a porosidade total, espaço de aeração dos solos representando a capacidade de retenção de água do vaso, determinada pela diferença entre as massas das amostras antes e após o procedimento de secagem (Equação 4).

$$\text{Porosidade total} = P2 - P1 - P3$$

(Equação 4)

em que: P2 = Massa do solo saturado por adição da lâmina de água;

P1 = Massa do vaso e solo seco sem aplicação do tratamento; e

P3 = Massa do solo seco após drenagem livre por 48 horas.

Método do funil de placa porosa (Haines)

Esta metodologia será indicada no nosso texto como método do funil. Inicialmente, foi verificado o volume dos anéis de aço por meio da aferição das dimensões dos anéis com auxílio de um paquímetro digital, os quais foram preenchidos com os respectivos tipos de solo. Para evitar vazamentos, os anéis foram selados com um pano do tipo Flash Limp fixado por uma liga, em seguida, foram pesados e submetidos à saturação por capilaridade até a completa saturação dos solos presentes no anel. Após esse processo, os anéis foram novamente pesados (imediatamente após observação da primeira gota de água lixiviada), assim, as amostras dos solos (A e B) foram submetidas a uma tensão de 10 kPa, respectivamente utilizando o funil de Haines.

Após atingir o equilíbrio com o potencial mátrico da coluna de água (um tempo total de 48 horas), o material foi removido do funil e pesado novamente. Posteriormente, o material foi alocado em estufa a uma temperatura de $105 \pm 0,5$ °C por 24 horas, pesados novamente para determinar a perda de água e calcular a umidade residual. Os solos foram pesados sem a saturação, após a drenagem livre e após a secagem em estufa. Com a obtenção da massa

seca das amostras permitiu calcular a quantidade de água extraída durante o processo, a porosidade total, espaço de aeração dos solos representando a capacidade de retenção de água do vaso, determinada pela diferença entre as massas das amostras antes e após o procedimento de secagem (Equação 5).

$$\text{Porosidade total} = P2 - P1 - P3$$

(Equação 5)

em que: P2 = Massa do solo submetido ao método do funil de Haines;

P1 = Massa do solo seco sem aplicação do tratamento; e

P3 = Massa do solo seco em estufa.

Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 3, sendo dois tipos de solos (S1 – Franco Arenoso e S2 – Areia Franca) e três métodos de determinação da disponibilidade de água no substrato (CV) [F - funil de placa porosa (padrão), L - lâmina de água e C - capilaridade (avaliados em vasos plásticos, com capacidade volumétrica de 1 dm³)], totalizando seis tratamentos (S1-F, S1-L, S1-C, S2-F, S2-L e S2-C), com 4 repetições cada.

Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) pelo de F, e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), com o auxílio do Software R (R Core Team, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da ANAVA demonstrou que houve efeito significativo de todos os fatores estudados, bem como, interação significativa entre os fatores Solo (S) x Método (M) indicando que o efeito dos métodos avaliados na disponibilidade de água no substrato varia de acordo com o tipo de solo (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância da disponibilidade de água no substrato nos dois tipos de solo e nos três métodos.

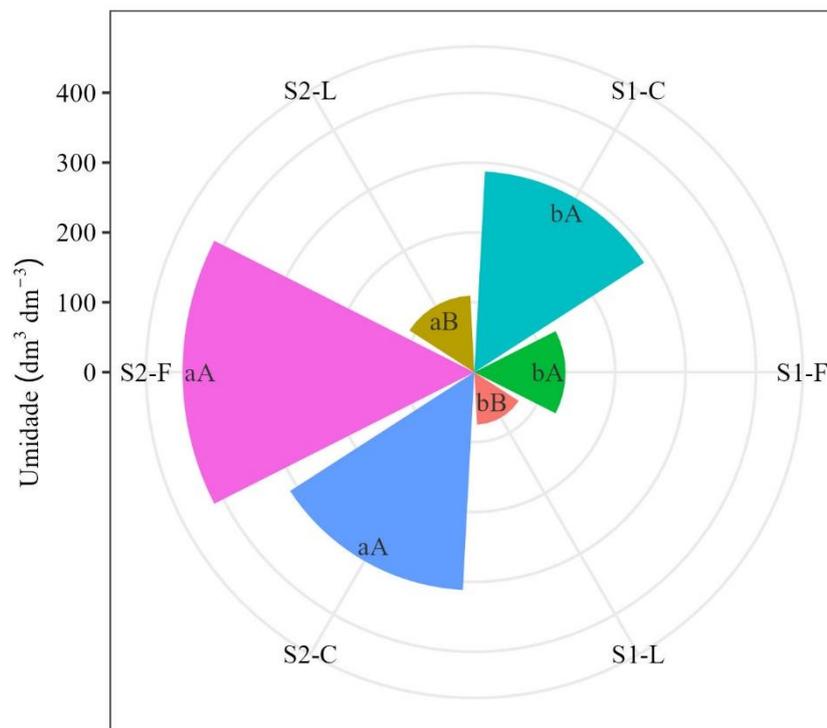
FV	GL	SQ	QM
Tratamento	5	368.156,97	73.631,39**
Solo (S)	1	78.769,20	78.769,20**
Método (M)	2	202.396,54	101.198,30**
S x M	2	86.991,23	43.495,62**
Resíduo	18	15.073,61	837,42
Total	23	383.230,58	
CV	13,02%		

Fonte: Autores (2024).

** Significativo pelo Teste F ($p < 0,01$).

Observou-se que os métodos influenciam significativamente ($p < 0,01$) a disponibilidade de água no substrato, em que, os diferentes métodos aplicados apresentaram variações consideráveis na capacidade de retenção de água. Com isso, a interação significativa entre solo e método sugere que o efeito de cada variável isolada pode ser modificado quando combinada com a outra. A exemplo, o comportamento do solo pode variar dependendo do método utilizado, o que pode ser crucial ao determinar as melhores práticas para o manejo da água no solo.

Os resultados revelaram que os maiores valores de capacidade de retenção de água foram obtidos pelos métodos de capilaridade e do funil, respectivamente, com o primeiro apresentando uma retenção de água 224% superior ao método da lâmina d'água (Figura 1). Essa diferença significativa deve-se ao fato de que o método de capilaridade se baseia no princípio da ascensão capilar gradual da água, proporcionando uma distribuição mais homogênea no substrato, ao contrário do método da lâmina d'água, onde a aplicação superficial pode formar bolsões de ar, prejudicando a uniformidade da infiltração (Sousa; Assunção, 2021).



Fonte: Autores (2024).

Letras minúsculas separam os tipos de solos e letras maiúsculas separam os tipos de métodos.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Figura 1 - Teor de umidade retida nos solos Franco arenoso (S1) e Areia Franca (S2) de acordo com os métodos do Funil de placa porosa (F), Lâmina de água (L) e Capilaridade (C), utilizados para determinação da capacidade de retenção de água.

De acordo com Claessen *et al.* (1997), o uso do princípio da capilaridade como referência garante maior confiabilidade nos resultados, o que justifica a compatibilidade observada entre o método de capilaridade e o método do funil, considerado padrão. A ascensão capilar, ao permitir uma expulsão mais eficaz do ar dos poros do solo, resulta em uma saturação mais uniforme e menor ocorrência de zonas secas, característica importante na otimização da irrigação e no manejo da disponibilidade hídrica no solo (Baldovino *et al.*, 2019; Liu, Yu, Wan, 2016).

Os métodos de determinação de umidade que dependem da ascensão capilar são particularmente influenciados pelas propriedades físicas do solo, como textura e composição mineral. No estudo, o solo classificado como Areia Franca apresentou uma maior capacidade de retenção de água, aproximadamente 70% superior ao solo Franco Arenoso.

O solo franco arenoso (S1) possui uma alta concentração de areia (794 g kg^{-1}), o que resulta em um solo com boa drenagem e baixa capacidade de retenção de água. Em solos arenosos, a água tende a

drenar rapidamente, tornando mais difícil para as raízes das plantas manterem a umidade. Isso pode resultar em uma disponibilidade limitada de água para as plantas, especialmente em períodos de seca, uma vez que a capacidade de retenção de água é reduzida devido à baixa proporção de partículas finas (argila e silte). Embora o Solo Areia Franca (S2) também contenha uma quantidade significativa de areia (872,2 g kg⁻¹), ele apresenta uma proporção relativamente maior de silte e argila em comparação com o Solo Franco Arenoso. Isso confere a ele uma ligeira maior capacidade de retenção de água. No entanto, a sua capacidade de reter água ainda será limitada, já que, mesmo com a presença de silte e argila, a grande concentração de areia impede uma retenção significativa da água.

Embora o solo Areia Franca possua maior proporção de areia, a presença de matéria orgânica e porosidade contribuíram para uma retenção de água mais eficiente (Giap; Rudiyanto; Sulaiman, 2021; Weil; Brady, 2022). A interação entre partículas do solo e componentes orgânicos aumenta o ângulo de contato na interface solo-água, impactando o potencial matricial e a ascensão capilar (Ohofugi *et al.*, 2021).

Outro aspecto a ser considerado é a textura do solo. Solos arenosos, como o Areia Franca, facilitam a infiltração devido à sua maior aeração, enquanto solos mais argilosos tendem a ser menos permeáveis, como destacado por Sá (2021). Esses fatores devem ser levados em consideração no manejo da irrigação, pois solos com diferentes características texturais apresentam comportamentos hídricos distintos. Otto e Alcaide (2001), ao compararem a capacidade de retenção de água em solos Franco Arenosos utilizando o método do funil e observações em campo, identificaram que o método do funil tende a superestimar a retenção de água em relação às condições reais, o que pode causar superestimativas no planejamento de irrigação.

Portanto, a utilização do método da capilaridade pode ser considerada uma alternativa viável, de baixo custo e de fácil aplicação, especialmente em condições de campo onde a precisão dos métodos laboratoriais pode não ser necessária. Sua aplicação em sistemas de irrigação poderia contribuir para uma melhor eficiência no uso da água, favorecendo a sustentabilidade agrícola.

Conclusão

A disponibilidade de água nos solos testados foi influenciada principalmente pela capacidade de retenção de água e pela drenagem do solo, onde o Solo Franco Arenoso (S1) apresenta uma menor retenção de água, se tornando mais suscetível a perdas rápidas de umidade. Já o solo Areia Franca (S2) apresenta uma maior capacidade de retenção de água

em relação ao S1, mas ainda com drenagem relativamente rápida.

O método de saturação por capilaridade é o mais recomendado, pois apresentou resultados comparáveis ao do método do funil.

Já o método da lâmina mostrou-se inadequado para avaliar a disponibilidade de água nos substratos testados, por ter sido o menos eficiente em comparação aos outros métodos.

Agradecimento

Expressamos nossa gratidão ao grupo de pesquisa Northeast Ecology and Management Research Group - NorEMa, cuja colaboração intelectual foi essencial para a concepção e desenvolvimento deste trabalho.

Fonte de financiamento

Este estudo foi possível graças ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, nº 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- BALDOVINO, J. J. A.; MOREIRA, E. B.; IZZO, R. L. S.; SILVA, É. R.; ALMEIDA, J. L.; PEREIRA, M. D.; ORIOLI, M. A.; MILLAN-PARAMO, C. Fundamentos de Ascensão Capilar em Solos não Saturados. **Brazilian Journal of Development**, vol. 5, nº 12, p. 30894–30911, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-197>.
- CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, nº 1, p. 59–66, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100007>.
- CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2º ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- GIAP, G. E.; RUDIYANTO; SULAIMAN, M. S. Water Infiltration into Sand, Silt, and Clay at Field Capacity. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, vol. 84, nº 2, p. 159–166, 2021. <https://doi.org/10.37934/arfmts.84.2.159166>.
- HAINES, W. B. Studies in the physical properties of soil. V. The hysteresis effect in capillary properties, and the modes of moisture distribution associated therewith. **The Journal of Agricultural Science**, vol. 20, nº 1, p. 97–116, 1930. <https://doi.org/10.1017/S002185960008864X>.
- HERCULANO, E. V. A.; SILVA, V. F.; BORGES, I. M. S.; FIRMINO, L. Q.; MENDONÇA, L. F. M.; MARTINS, M. S. Alocação de fitomassa e de água em mudas de

espécie florestal da Caatinga submetida ao estresse hídrico.

Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology, vol. 8, nº 3, p. 45–52, 2022.

JONG VAN LIER, Q. **Física do solo - baseada em processos**. 1º ed. Piracicaba: Edição do autor, 2020.

KAISER, D. R.; SILVA, V. R. Água no solo. **Física do Solo**. 1º ed. Santa Maria: Pallotti, 2023. p. 221–276.

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3º ed. Campinas: Embrapa e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330369>. Acessado em: 16 maio 2024.

LIU, Z.; YU, X.; WAN, L. Capillary rise method for the measurement of the contact angle of soils. **Acta Geotechnica**, vol. 11, nº 1, p. 21–35, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11440-014-0352-x>.

MANTOVANELLI, B. C.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; CARLESSO, R. Qualidade física de solos do Brasil e aplicabilidade de métodos para estimativas de retenção de água no solo: A revisão. **Revista Edutec**, vol. 11, nº 1, p. 87–100, 2022.

OHOFUGI, N. G.; GÓIS, M. S.; COSTA, K. R. C. B.; CAVALCANTE, A. L. B. Instrumentação de Baixo Custo em Coluna de Solo para Monitoramento Time-Lapse da Ascensão Capilar. **Brazilian Applied Science Review**, vol. 5, nº 1, p. 226–240, 2021. <https://doi.org/10.34115/basrv5n1-014>.

OLIVEIRA, L. B.; MELO, V. Estudo da disponibilidade de água em um solo da Estação Experimental de Itapirema, Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 6, nº 1, p. 31–37, 1971.

OTTO, S. R. L.; ALCAIDE, M. Utilização do método TDR-tensiômetro na obtenção da curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 5, nº 2, p. 226–269, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200015>.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acessado em: 25 set. 2023.

RAMÍREZ, V. S.; MATOS, A. T. Influência da textura do solo receptor e das condições climáticas e ambientais na taxa e fração de mineralização da matéria orgânica no solo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, vol. 27, nº 2, p. 315–323, 2022. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220200122>.

SÁ, M. A. C. **Dispersão do solo para análise granulométrica: uma breve revisão**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021.

SOUSA, F. A.; ASSUNÇÃO, H. F. Capacidade de Armazenamento de Água no Solo (CAD) e Características Físicas dos Solos na Avaliação da Distribuição da Água das Chuvas na Alta Bacia do Ribeirão Santo Antônio. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 14, nº 6, p. 3635–3647, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3635-3647>.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3º ed. Brasília: Embrapa, 2017.

THEBALDI, M. S.; LIMA, L. A.; SILVA, A. C.; COLARES, M. F. B.; LIMA, P. L. T. Eficiência de sistemas de irrigação em mudas de espécies florestais nativas produzidas em tubetes. **Ciência Florestal**, vol. 26, nº 2, p. 401–410, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509822741>.

WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The Nature and Properties of Soils**. 16º ed. [S. l.]: Pearson Education, 2022.