



MONITORAMENTO E DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO PARA A IRRIGAÇÃO

Patricia Angélica Alves Marques
Vinícius Villa e Vila
ORGANIZADORES



MONITORAMENTO E DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO PARA A IRRIGAÇÃO

Patricia Angélica Alves Marques
Vinícius Villa e Vila
ORGANIZADORES

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

A Atena Editora tem um compromisso sério com a transparência e a qualidade em todo o processo de publicação. Trabalhamos para garantir que tudo seja feito de forma ética, evitando problemas como plágio, manipulação de informações ou qualquer interferência externa que possa comprometer o trabalho.

Se surgir qualquer suspeita de irregularidade, ela será analisada com atenção e tratada com responsabilidade.

O conteúdo do livro, textos, dados e informações, é de responsabilidade total do autor e não representa necessariamente a opinião da Atena Editora. A obra pode ser baixada, compartilhada, adaptada ou reutilizada livremente, desde que o autor e a editora sejam mencionados, conforme a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Cada trabalho recebeu a atenção de especialistas antes da publicação. A equipe editorial da Atena avaliou as produções nacionais, e revisores externos analisaram os materiais de autores internacionais.

Todos os textos foram aprovados com base em critérios de imparcialidade e responsabilidade.

Monitoramento e determinação da umidade do solo para a irrigação

| Organizadores:

Patricia Angélica Alves Marques
Vinícius Villa e Vila

| Revisão:

Os autores

| Diagramação:

Nataly Gayde

| Capa:

Yago Raphael Massuqueto Rocha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M744 Monitoramento e determinação da umidade do solo para a irrigação / Organizadores Patricia Angélica Alves Marques, Vinícius Villa e Vila. – Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2026.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-3935-6
DOI <https://doi.org/10.22533/at.ed.356260502>

1. Ciência do solo. I. Marques, Patricia Angélica Alves (Organizadora). II. Vila, Vinícius Villa e (Organizador). III. Título.

CDD 631.4

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

📞 +55 (42) 3323-5493

📞 +55 (42) 99955-2866

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

- Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Prof^a Dr^a. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^a Dr^a Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Prof^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Este E-book reúne fundamentos teóricos e aplicações práticas voltadas ao monitoramento e à determinação da umidade do solo, destacando sua relevância para o manejo racional da irrigação em diferentes sistemas agrícolas. O conteúdo discute metodologias consolidadas e alternativas para avaliação do estado hídrico, abordando desde princípios físicos associados ao potencial mátrico até técnicas laboratoriais e de campo utilizadas na quantificação do conteúdo de água.

São apresentados os mecanismos de funcionamento dos tensiômetros, a interpretação das leituras com base na curva de retenção de água no solo e os critérios adotados para a tomada de decisão sobre o momento e a quantidade de irrigação. O livro também contempla métodos não convencionais de determinação da umidade, analisando seus fundamentos, vantagens, limitações e aplicabilidade em condições operacionais diversas. Ao integrar conceitos fundamentais, procedimentos técnicos e ferramentas de monitoramento, o material oferece suporte para aprimorar a eficiência do uso da água, reduzir perdas e promover práticas sustentáveis de irrigação, alinhadas às necessidades atuais da agricultura irrigada.

Esperamos que as contribuições reunidas neste E-book auxiliem e despertem o interesse de conhecimento relacionado à agricultura irrigada, especialmente às práticas relacionadas ao monitoramento e determinação da umidade do solo para a irrigação.

Organizadores

SUMÁRIO

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

FUNDAMENTOS DA TENSIOMETRIA APLICADOS AO MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Vinícius Villa e Vila

Ana Cláudia Sátiro de Araújo

Jessica Sabrina de Castro Couto

Lucas Santiago Lima

Fernando Campos Mendonça

Marcos Vinicius Folegatti

Patricia Angélica Alves Marques

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3562605021>

CAPÍTULO 2 9

MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS PARA A DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Ana Cláudia Sátiro de Araújo

Vinícius Villa e Vila

Jessica Sabrina de Castro Couto

Patricia Angélica Alves Marques

Fernando Campos Mendonça

Marcos Vinicius Folegatti

Sergio Nascimento Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3562605022>

ORGANIZADORES 18



C A P Í T U L O 1

FUNDAMENTOS DA TENSIOMETRIA APLICADOS AO MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Vinícius Villa e Vila

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Ana Cláudia Sátiro de Araújo

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Jessica Sabrina de Castro Couto

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Lucas Santiago Lima

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Fernando Campos Mendonça

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Marcos Vinícius Folegatti

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Patricia Angélica Alves Marques

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

RESUMO: A tensiometria é uma das técnicas mais simples e eficientes para o monitoramento do estado hídrico do solo no manejo da irrigação. O método baseia-se na leitura do potencial mátrico do solo. O tensiômetro, corresponde a um tubo preenchido com água e uma cápsula cerâmica porosa na extremidade basal, que estabelece comunicação hidráulica contínua com o solo, registrando as variações de tensão conforme a umidade se altera. Sua instalação em diferentes profundidades possibilita avaliar o perfil de água na zona radicular, orientando decisões precisas sobre o momento de irrigar e a quantidade necessária. A interpretação das leituras é potencializada quando associada à curva de retenção de água do solo, que relaciona umidade e potencial mátrico, permitindo converter tensões em conteúdos de água. Dessa forma, a tensiometria apresenta-se como uma ferramenta fundamental para otimizar o uso da água, evitar desperdícios, reduzir custos e manter a cultura em condições adequadas de desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: curva de retenção de água; potencial mátrico; umidade do solo.

ABSTRACT: Tensiometry is one of the simplest and most efficient techniques for monitoring soil water status in irrigation management. The method is based on measuring the soil matric potential. The tensiometer consists of a water-filled tube with a porous ceramic cup at its lower end, which maintains continuous hydraulic contact with the soil and records tension variations as soil moisture changes. Its installation at different depths makes it possible to evaluate the water profile within the root zone, guiding precise decisions on when to irrigate and how much water to apply. The interpretation of readings is enhanced when combined with the soil water retention curve, which relates moisture content to matric potential, allowing tension values to be converted into soil water content. Thus, tensiometry stands out as a fundamental tool for optimizing water use, avoiding waste, reducing costs, and maintaining crops under adequate development conditions.

KEYWORDS: soil water retention curve; matric potential; soil moisture.

INTRODUÇÃO

O manejo da irrigação é fundamental para otimizar o uso da água, garantir adequadas produtividades e preservar os recursos hídricos, exigindo estratégias de monitoramento que orientem a tomada de decisão sobre quando e quanto irrigar. Três abordagens principais são utilizadas: o manejo via clima, que se baseia na estimativa da evapotranspiração e na reposição da água consumida pela cultura; o manejo via planta, que considera respostas fisiológicas e morfológicas das plantas ao estresse hídrico; e o manejo via solo, que monitora a umidade ou o potencial matricial do solo para indicar o nível de água disponível às raízes. Dentro dessa última estratégia, destaca-se o tensiômetro, um instrumento simples, de baixo custo e altamente eficiente para medir a tensão com que a água é retida no solo.

A relação solo-água descreve os fenômenos físicos que determinam como a água é armazenada, movimentada e disponibilizada para as plantas dentro do perfil do solo. Essa relação é governada principalmente pela interação entre a estrutura do solo, sua composição granulométrica, a distribuição e continuidade dos poros e o potencial energético que controla o movimento da água. A água no solo encontra-se retida por forças de natureza capilar e adsorptiva, que variam conforme o tamanho dos poros e o grau de saturação. Em solos com predominância de microporos, como os argilosos, a água tende a ser retida com maior energia, dificultando a extração pelas plantas, enquanto solos arenosos, com maior proporção de macroporos, apresentam retenção menor e drenagem mais rápida.

A tensiometria é a técnica que utiliza um tensiômetro para medir a tensão da água no solo, ou seja, baseia-se na medição do potencial mátrico do solo, que representa a força com que as partículas do solo retêm a água. Quanto mais seco o solo, maior é essa força e, portanto, maior é a tensão registrada no tensiômetro. O princípio do funcionamento está na comunicação hidráulica entre o solo e a água dentro do tensiômetro: quando o solo perde água, a água dentro do tensiômetro é “puxada” para fora através da cápsula porosa, criando uma pressão negativa medida pelo vacuômetro ou tensímetro. Antigamente, os tensiômetros apresentavam vacuômetros de mercúrio fixos na sua extremidade, porém era sujeito a danos e exigia maior regulagem. Hoje, foram substituídos por tensímetros digitais, sendo necessário apenas um tensímetro para efetuar a leitura em vários tensiômetros.

CONSTITUIÇÃO E PREPARAÇÃO DO TENSÍMETRO

O tensiômetro é normalmente constituído por um tubo cilíndrico, uma cápsula porosa, e um tampão. A cápsula de porcelana fica localizada na extremidade inferior do tubo, é o elemento responsável pela comunicação hidráulica entre o solo e a água interna do tensiômetro. Normalmente feita de cerâmica microporosa, apresenta poros uniformes e suficientemente pequenos para evitar a entrada de ar, mas grandes o bastante para permitir a passagem de água.

O tubo cilíndrico é construído geralmente em PVC rígido ou acrílico transparente, o tubo funciona como reservatório de água e estrutura de sustentação do instrumento. Ele deve ser totalmente preenchido com água, idealmente destilada ou deionizada, sem a presença de bolhas de ar, pois estas prejudicam a leitura. O tubo é selado na extremidade inferior à cápsula porosa e, na extremidade superior, recebe o tampão.

A parte superior possui um sistema de vedação com um tampão de borracha tem a função de permitir a inserção da agulha do tensímetro sem comprometer a vedação interna do equipamento. Esse tampão é fabricado com borracha de alta densidade justamente para que, ao ser perfurado pela agulha, ele se adapte ao furo, mantenha o sistema hermético e evite a entrada de ar.

Cada aparelho deve ser testado e preparado antes de levar ao campo. O aparelho é preenchido com água, tomando-se cuidado para retirar todo o ar presente no seu interior e nos poros da cápsula de cerâmica. A fim de facilitar este trabalho, pode-se promover uma sucção na abertura, usando-se uma seringa hipodérmica e uma rolha de borracha. Isso é feito após preencher o aparelho com água e deixando a ponta porosa também em um recipiente com água limpa.

Por causa da sucção, as bolhas de ar presentes dentro do tubo ou na cápsula, se soltam e vão para a seringa. Em seguida, completa-se o volume com água e coloca-se a tampa hermética. O aparelho está pronto para ser levado ao campo. Assim, quando levar ao campo, o tensiômetro estará com o tubo preenchido com água e a cápsula também imersa em água por um período mínimo de 24h.

INSTALAÇÃO DO TENSIÔMETRO

A instalação adequada de um tensiômetro é determinante para garantir leituras confiáveis do ambiente radicular da cultura. O processo deve iniciar pela escolha do local onde o equipamento será instalado. Esse local deve refletir a condição média da área de cultivo, evitando pontos de compactação atípica, sombreamento excessivo, acúmulo de água ou regiões que não representem o padrão do solo. Ou seja, próximo às plantas, em área representativa e de fácil acesso.

Após a escolha do local, abre-se uma cova estreita e profunda o suficiente para alcançar a zona radicular da cultura, normalmente entre 15 cm e 60 cm, dependendo do sistema radicular específico. Assim, os tensiômetros podem variar em comprimento, em função do tamanho do tubo PVC. Geralmente, com auxílio de um trado é aberto um buraco no solo, de dimensões semelhantes ao tubo do tensiômetro. No qual é introduzido o aparelho, via ponta porosa, de maneira que a ponta porosa fique na profundidade adequada ao sistema radicular da cultura de interesse.

A profundidade de instalação de tensiômetros varia conforme o sistema radicular da cultura, o tipo de solo e os objetivos do manejo. Em geral, utiliza-se mais de um tensiômetro por ponto para representar adequadamente o perfil de umidade na zona explorada pelas raízes. Normalmente são instalados dois a três por local, sendo um mais raso (camada de maior densidade radicular) e outro mais profundo (camada de sustentação hídrica). Geralmente se instala um tensiômetro para cada 20 cm de camada de solo. Por exemplo, na cultura da cana-de-açúcar, é recomendado instalar 3 tensiômetros, o primeiro na camada de 0-20 cm, o segundo na camada de 20-40 cm e o terceiro na camada de 40-60 cm. Recomenda-se instalar pelo menos uma bateria de tensiômetros em cada área que apresente diferenças na textura, na profundidade de solo, no tipo da cultura ou na declividade do solo.

Para culturas com zona radicular de 0–20 cm, por exemplo, a instalação deve ser planejada para que o centro da cápsula porosa fique exatamente no meio dessa camada. Assim, o tensiômetro representa fielmente a umidade presente na faixa ativa de absorção de água. A instalação no solo deve ser realizada de modo que a cápsula porosa faça contato íntimo com o solo, sem espaços de ar ao seu redor. O preenchimento da cova deve ser feito cuidadosamente, compactando levemente o solo em camadas finas para evitar a formação de vazios. Para isso, recomenda-se antes de inserir o aparelho no buraco aberto com o trado, coloca-se um pouco de água, depois um pouco de solo do local, e depois mais um pouco de água, isso formará uma “lama”, e garantirá maior aderência do solo à cápsula porosa. Após instalado, caso tenha havido redução do volume de água interno, acrescenta-se mais água até o nível marcado no tubo. Após instalado, como medida para proteção contra ressecamento do tampão de borracha, pode-se colocar uma proteção feita com um pedaço de cano PVC e um cap.

Tensiômetros digitais demandam calibração periódica conforme especificações do fabricante. Manutenções rotineiras incluem reposição de água, remoção de bolhas, cerâmica e substituição de peças desgastadas. Um tensiômetro bem instalado e calibrado oferece leituras precisas e maior vida útil, reduzindo erros de manejo. A Figura 1 apresenta tensiômetros instalados em diferentes culturas.



Figura 1. Tensiômetros instalados nas culturas do trigo, alface e tomate.

FUNCIONAMENTO DO TENSIÔMETRO

O funcionamento do tensiômetro se baseia no equilíbrio entre a água do seu interior e o solo. Quando menor a umidade do solo, mais água sairá do aparelho e maior será o valor da tensão da água no solo (em módulo) registrado no tensímetro. Por outro lado, quando a umidade do solo aumentar, em virtude de uma chuva ou irrigação, ocorre o fluxo inverso: a água passará do solo para o interior do aparelho, reduzindo o valor registrado no tensímetro (em módulo).

Esse funcionamento ocorre porque o tensiômetro atua como uma ponte hidráulica entre o solo e o sistema de medição de pressão interna. O equilíbrio entre a água interna e a água do solo é dinâmico, e o tensiômetro responde rapidamente às mudanças, desde que não ultrapasse seu limite operacional (aproximadamente -80 kPa). Por isso, seu funcionamento baseia-se inteiramente em princípios de fluxo capilar, continuidade hidráulica e diferença de potenciais hídricos, permitindo uma leitura precisa do estado de umidade do solo e auxiliando de forma eficiente o manejo da irrigação, em que os valores de tensão medidos devem ser comparados com as faixas recomendadas para a cultura, que podem auxiliar no momento para a realização da irrigação, mas também podem fornecer a quantidade, utilizando-se a curva de retenção de água no solo.

CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Para o manejo da irrigação utilizando tensiômetros, é necessário dispor da curva de retenção de água no solo. A curva de retenção de água no solo, também chamada de curva característica, é a representação gráfica que relaciona o conteúdo de água do solo com o potencial mátrico. Essa curva apresenta informações essenciais sobre a capacidade de armazenamento hídrico, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a quantidade de água efetivamente disponível para as plantas. A inclinação da curva muda conforme a textura: solos argilosos apresentam curvas mais inclinadas e maior variação de conteúdo de água para pequenas mudanças de potencial, enquanto solos arenosos apresentam curvas mais achatadas. Essa curva é fundamental na interpretação da tensiometria, pois permite converter leituras de tensão em estimativas de conteúdo de água e, portanto, na tomada de decisão para irrigação.

A curva de retenção relaciona a umidade com a tensão que a água se encontra retida no solo. Para obtenção dessa curva, deve-se coletar amostras de solo representativas da profundidade efetiva das raízes e encaminhá-las a um laboratório especializado. O tensiômetro indica a tensão, em tempo real, que a água se encontra retida no solo. Desta forma, bastará você fazer a leitura no tensiômetro para determinar a umidade do solo, por meio da curva de retenção. É um método

fácil de monitorar a umidade e realizar as irrigações no momento e na quantidade certa. A Figura 2 apresenta um fluxograma sobre a obtenção da curva de retenção de água no solo.

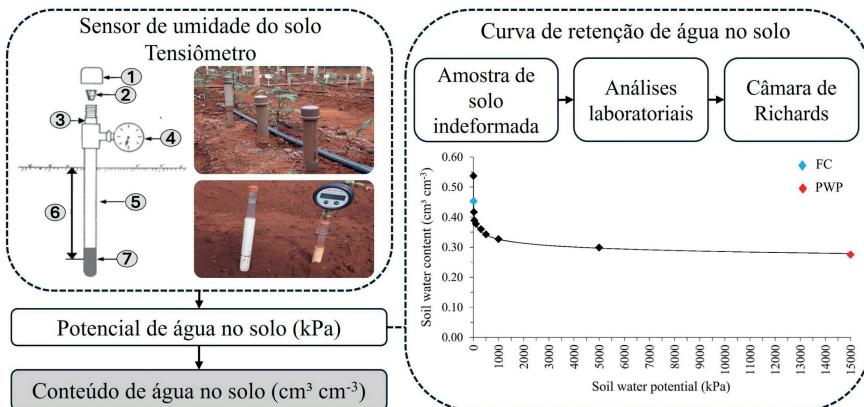


Figura 2. Fluxograma das etapas para monitoramento e determinação do conteúdo de água do solo. (1) cap; (2) rolha de borracha; (3) tubo de acrílico; (4) vacuômetro; (5) tubo de PVC; (6) profundidade de monitoramento; (7) cápsula de cerâmica; FC: capacidade de campo; PWP: ponto de murcha permanente. Fonte: Adaptado de Villa e Vila et al., 2025.

Para a obtenção dos pontos de umidade do solo que compõem a curva de retenção de água no solo, devem ser retiradas amostras de solo indeformadas, em anéis cilíndricos, na camada de solo de interesse. A obtenção dos pontos de umidade do solo geralmente é realizada submetendo as amostras de solo à câmara de Richards, considerando diferentes pontos de tensão, como 0; -10; -20; -40; -100; -300; -500; -1000 e -1500 kPa, conforme os procedimentos descritos por Camargo et al. (1986). Após isso, a curva de retenção de água no solo pode ser ajustada conforme o modelo de Van Genuchten (Van Genuchten, 1980).

CRITÉRIOS DE DECISÃO DA IRRIGAÇÃO

Os critérios de decisão de irrigação baseados na tensiometria permitem que o produtor determine o momento ideal para iniciar a irrigação, evitando tanto o estresse hídrico por déficit ou excesso. Cada cultura possui faixas adequadas de potencial mátrico, e ultrapassar esses limites pode comprometer o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e o rendimento final da produção. Por exemplo, em módulo, as hortaliças ficam em torno de 10–25 kPa, frutíferas em 20–40 kPa, enquanto culturas anuais podem variar de 25–50 kPa.

A interpretação das leituras do tensiômetro deve considerar não apenas o valor numérico, mas também a profundidade em que o equipamento está instalado. Tensões maiores nas camadas superficiais e menores nas camadas profundas indicam que a planta ainda possui acesso a água em profundidade, podendo-se adiar a irrigação. Já tensões elevadas em todas as profundidades monitoradas sugerem déficit hídrico acentuado e necessidade imediata de irrigação. Além da análise pontual, é fundamental observar a tendência das leituras ao longo dos dias. A taxa de aumento da tensão pode revelar o ritmo de consumo hídrico da planta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tensiometria mostra-se uma ferramenta adequada para o manejo da irrigação por permitir medir diretamente o potencial mátrico do solo, que indiretamente reflete a disponibilidade de água às plantas, através da umidade do solo. Para a obtenção de valores representativos, depende de um preparo adequado do tensiômetro, da correta instalação em profundidades representativas da zona radicular e da eliminação de bolhas de ar que possam comprometer as leituras. Seu funcionamento baseia-se no equilíbrio hidráulico entre o solo e o aparelho, registrando variações de umidade em tempo real. A interpretação das leituras torna-se ainda mais precisa quando associada à curva de retenção de água do solo, que permite converter tensões em conteúdos de água, orientando tanto o momento quanto a quantidade de irrigação.

REFERÊNCIAS

- Bernardo, S.; Soares, A.A; Mantovani, E.C. 2006. Manual de Irrigação. Ed. Universidade Federal de Viçosa. 8 ed. 625p.
- Camargo, A.P. de, Sentelhas, P.C., 1997. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia 5, 89–97.
- Dourado Neto, D.; Botrel, T. A.; Libardi, P. L. Curva de retenção de água no solo: algoritmo em QuickBasic para estimativa dos parâmetros empíricos do modelo de Genuchten. Piracicaba: EDUSP, 1990. 34 p.
- Folegatti, M. V. 2002. Manejo da Água em Sistemas Agrícolas. Apostila LER. 120p.
- Klar, A. E. Irrigação: freqüência e quantidade. São Paulo: Nobel, 1991. v. 1. 156 p.
- Van Genuchten, M.Th., 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Society of America Journal 44, 892–898.
- Villa e Vila, V.; Souza, S. A.; Mendonça, F. C.; Gomes, T. M.; Fiorio, P. R.; Marques, P. A. 2025. Potential of thermal imaging for yield and soil water content prediction in leafy vegetables. Smart Agricultural Technology, 12, 101587.



C A P Í T U L O 2

MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS PARA A DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Ana Cláudia Sátiro de Araújo

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Vinícius Villa e Vila

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Jessica Sabrina de Castro Couto

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Patricia Angélica Alves Marques

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Fernando Campos Mendonça

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Marcos Vinícius Folegatti

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Sergio Nascimento Duarte

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGES, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

RESUMO: A determinação da umidade do solo constitui uma das práticas mais relevantes para o manejo eficiente da irrigação. A quantidade de água presente no solo influencia diretamente processos de infiltração, retenção, drenagem, disponibilidade hídrica às plantas e até mesmo parâmetros físico-estruturais que regulam o crescimento radicular. Historicamente, o método padrão de estufa tem sido utilizado como referência, embora apresente limitações importantes relacionadas ao tempo prolongado de secagem, à necessidade de infraestrutura laboratorial específica e à inviabilidade de uso em campo. Como alternativa, uma série de métodos não convencionais surgiu, oferecendo rapidez, praticidade e possibilidade de aplicação imediata em ambientes agrícolas com menor capacidade de recursos e infraestrutura. Entre esses métodos, destacam-se o forno micro-ondas, o método do álcool, o método da frigideira e o método do acetileno, cada qual fundamentado em princípios físicos ou químicos que permitem a determinação indireta do teor de água.

PALAVRAS-CHAVE: método do acetileno; método do álcool; método da frigideira; método do micro-ondas.

ABSTRACT: The determination of soil moisture is one of the most important practices for the efficient management of irrigation. The amount of water present in the soil directly influences infiltration, retention, drainage, water availability to plants, and even physical-structural parameters that regulate root growth. Historically, the standard oven-dry method has been used as a reference, although it presents important limitations related to the long drying time, the need for specific laboratory infrastructure, and the impracticality of field use. As an alternative, a series of non-conventional methods has emerged, offering speed, practicality, and the possibility of immediate application in agricultural environments with limited resources and infrastructure. Among these methods are the microwave oven method, the alcohol method, the pan method, and the acetylene method, each based on physical or chemical principles that allow the indirect determination of water content.

KEYWORDS: acetylene method; alcohol method; frying pan method; microwave oven method.

INTRODUÇÃO

A água constitui o meio onde ocorrem reações bioquímicas fundamentais, além de facilitar o transporte de nutrientes pelas plantas e regular a temperatura no ambiente radicular. Quando o solo apresenta níveis adequados de umidade, as plantas mantêm elevados índices de crescimento, conseguem realizar fotossíntese de forma eficiente e expressam plenamente seu potencial produtivo. Em contrapartida, condições de déficit hídrico levam ao fechamento estomático, à redução da

fotossíntese, à diminuição da absorção de nutrientes, ao comprometimento da respiração e à queda generalizada da produtividade. Em situações de excesso de água, há problemas igualmente sérios, como hipóxia radicular, aumento da incidência de doenças, redução da mineralização da matéria orgânica e maior suscetibilidade a estresses ambientais.

Compreender e quantificar a umidade do solo é, portanto, indispensável para o manejo da irrigação, pois permite determinar o momento adequado de aplicar água e a quantidade necessária para repor a fração utilizada pelas plantas, evitando tanto déficits hídricos quanto aplicações excessivas que contribuem para o desperdício e o aumento dos custos de produção. A irrigação realizada sem critérios técnicos, baseada apenas na observação visual do solo ou na intuição do produtor, raramente alcança níveis adequados de eficiência hídrica. Em cenários de escassez de água, essa ineficiência se transforma em risco econômico e ambiental, uma vez que desperdícios hídricos comprometem a sustentabilidade da propriedade e afetam diretamente a disponibilidade de água em comunidades rurais e bacias hidrográficas.

Em áreas de agricultura familiar, pequenas propriedades e regiões com baixa disponibilidade de recursos financeiros, a infraestrutura laboratorial geralmente é inexistente, e equipamentos para o monitoramento da umidade do solo pode ser escassa. Para esses ambientes, metodologias alternativas e não convencionais de determinação da umidade do solo representam soluções de grande valor. São métodos que podem ser aplicados diretamente em campo, utilizando materiais de baixo custo e ferramentas amplamente acessíveis aos agricultores. O emprego adequado desses métodos permite que decisões sobre irrigação sejam tomadas com maior segurança, contribuindo significativamente para o uso mais racional dos recursos hídricos. Portanto, estudar métodos não convencionais não se trata apenas de buscar alternativas mais simples, mas sim de possibilitar que agricultores em condições adversas tenham acesso a ferramentas eficazes de diagnóstico. Isso democratiza o manejo da água, amplia a autonomia dos produtores, fortalece a agricultura de base familiar e contribui para a segurança alimentar.

COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

A coleta de amostras é o ponto de partida para qualquer método de determinação de forma direta da umidade. Trata-se de uma etapa crítica, pois o teor de água pode ser alterado facilmente pela exposição ao vento, ao calor, ao sol ou ao manuseio inadequado. A umidade do solo não é uniforme ao longo do perfil, variando conforme profundidade, textura, densidade e presença de raízes. Assim, a coleta precisa seguir critérios para que o resultado reflita a realidade do campo.

Amostras indeformadas desempenham papel insubstituível em análises físico-hídricas que envolvem porosidade, condutividade hidráulica ou retenção de água.

A estrutura original deve ser preservada porque os poros são responsáveis pela retenção, movimentação e drenagem da água. Qualquer compressão, vibração excessiva ou corte inadequado altera essas propriedades. O uso de anéis volumétricos, inserção cuidadosa no solo, nivelamento perfeito e proteção hermética compõem procedimentos que exigem técnica e precisão. A saturação controlada no laboratório possibilita a obtenção de parâmetros hidráulicos essenciais, permitindo que a amostra represente fielmente as condições naturais do campo.

Por outro lado, as amostras deformadas são amplamente utilizadas em métodos alternativos de determinação da umidade. Mesmo sem manutenção da estrutura, a representatividade da amostra precisa ser garantida. Amostras coletadas de forma inadequada, em locais compactados ou contendo raízes grandes, podem gerar resultados inconsistentes. É necessário evitar exposição à insolação direta, manter o solo em recipientes fechados imediatamente após a retirada e respeitar o gradiente de profundidades para evitar misturas indevidas.

MÉTODO PADRÃO DE ESTUFA

O método padrão de estufa é um procedimento direto e preciso para a determinação da umidade do solo, consistindo essencialmente na pesagem de amostras úmidas e posteriormente secas. A secagem é realizada em estufa a temperaturas em 105°C até que a amostra atinja peso constante, característica que confere confiabilidade ao processo e o consolidou como referência clássica na literatura. Para sua execução, utilizam-se latinhas de alumínio com capacidade para 50 a 200 g de solo, uma estufa regulada entre 105°C, uma balança com precisão de 0,01 g e um trado amostrador. O procedimento inicia-se com a pesagem da latinha vazia para determinação da tara; em seguida, as amostras são coletadas cuidadosamente com trado, enxadão ou instrumento similar, evitando misturar diferentes horizontes ou profundidades do perfil. Uma porção do solo é acondicionada na latinha, que deve ser bem fechada para impedir perdas de vapor, e o conjunto é pesado novamente para obtenção do peso úmido (M_u), calculado pela diferença entre o peso total e a tara. A amostra então é levada à estufa por um período de 24 a 48 horas, ou até que apresente peso constante, sendo posteriormente pesada para determinar o peso seco (M_s), também obtido pela diferença em relação à tara.

A partir desses valores, calcula-se a umidade na amostra tanto com base em peso seco (U) (Equação 1), quanto com base em volume (θ), que utiliza a conversão pela multiplicação com a densidade do solo (ds) (Equação 2).

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s}$$

Equação 1

$$\theta = U \cdot ds$$

Equação 2

Apesar de o cálculo da umidade, em peso, ser muito simples, é desejável que o cálculo da umidade seja realizado com base em volume, onde se tem a quantidade de água em determinado volume de solo, permitindo convertê-la facilmente em altura de lámina de água por unidade de profundidade de solo, que é um dado muito usado em irrigação. Este método apresenta um inconveniente para o manejo da irrigação, uma vez que só permite o conhecimento do conteúdo de água no solo cerca de 48 horas após a amostragem.

O método padrão da estufa (Figura 1) proporcionou o surgimento de uma série de outros métodos alternativos, que variam entre si em função da fonte de calor utilizada para a eliminação do conteúdo de água da amostra de solo. Dentre eles destacam-se: o método do forno micro-ondas, o método do álcool e o método da frigideira e do acetileno (Figura 2).



Figura 1. Secagem de amostras de solo em estufa para a determinação da umidade.

MÉTODO DO MICRO-ONDAS

O método do micro-ondas consiste em substituir a estufa tradicional por um forno micro-ondas comum, que utiliza radiação eletromagnética de alta frequência para promover o aquecimento das moléculas de água. As moléculas excitadas vibram intensamente, gerando calor interno que evapora a água de forma muito mais rápida do que a secagem convencional.

A eficiência do método depende de diversos fatores. A textura do solo é um dos mais importantes: solos arenosos, compostos por partículas maiores e menor área superficial, aquecem e secam com maior rapidez; solos argilosos, com partículas finas

e complexas interações eletroquímicas, retêm água com maior força e demandam tempos mais prolongados. A matéria orgânica também interfere no aquecimento por possuir propriedades dielétricas que absorvem energia de micro-ondas, podendo causar elevação excessiva da temperatura. A quantidade de solo e o estado inicial de umidade influenciam diretamente a duração necessária para atingir a massa constante.

O procedimento envolve ciclos alternados de aquecimento e pesagem. Inicialmente, um período curto de aquecimento remove a maior parte da água livre. A massa é então medida, e novos ciclos são aplicados até que a diferença entre pesagens sucessivas se torne desprezível. Caso o solo seja aquecido por tempo excessivo, pode ocorrer carbonização da matéria orgânica, liberação de fumaça, fusão de componentes minerais ou até mesmo danos ao recipiente.

A grande vantagem desse método é sua rapidez: análises que levariam mais de 24 horas em estufa podem ser concluídas em menos de 20 minutos. Para propriedades rurais que possuem energia elétrica, o micro-ondas se torna uma das melhores alternativas disponíveis. Além disso, a calibração prévia com o método padrão da estufa permite corrigir eventuais desvios sistemáticos, tornando o método extremamente confiável. Sua portabilidade amplia ainda mais as possibilidades de uso em ambientes remotos.

De maneira geral, o método exige materiais simples e de fácil obtenção, como latinhas de alumínio para acondicionar de 50 a 200 g de solo, um Becker de vidro com capacidade entre 100 e 200 mL, um forno micro-ondas comum, uma balança de precisão com sensibilidade de 0,01 g e um trado amostrador. A metodologia consiste inicialmente na coleta das amostras de solo com trado, enxadão ou instrumento equivalente, garantindo que materiais de diferentes horizontes ou profundidades não sejam misturados. Parte da amostra é armazenada em uma latinha bem fechada para evitar perda de vapor, enquanto outra porção é transferida para o Becker previamente pesado para determinação da tara. Em seguida, pesa-se o conjunto para obter o peso úmido (M_u) e leva-se o Becker ao micro-ondas até atingir peso constante. Após a secagem, realiza-se nova pesagem para determinar o peso seco (M_s), permitindo então o cálculo do teor de água da amostra conforme as Equações 1 e 2.

MÉTODO DO ÁLCOOL

O método do álcool baseia-se na combustão de álcool etílico para evaporação rápida da água do solo. A combustão libera calor intenso e imediato, aumentando drasticamente a temperatura da amostra. Quando o álcool entra em contato com o solo, distribui-se entre seus agregados, o que permite um aquecimento mais

homogêneo durante a queima. A evaporação ocorre em etapas, pois cada ciclo de queima remove uma fração da umidade.

O princípio físico envolvido relaciona-se à transferência térmica rápida. A chama aquece o solo por convecção e radiação, e o álcool, ao impregnar parcialmente a amostra, atua como veículo que transporta calor para o interior dos agregados. Entretanto, o método requer cautela, pois a queima pode afetar a matéria orgânica, alterando sutilmente a massa final do solo. Quanto maior o teor de matéria orgânica, maior é o risco de superestimação da umidade, já que parte desse material pode oxidar e queimar.

A repetição do processo três ou mais vezes tem como objetivo remover toda a água retida. Em solos argilosos, é comum que parte da água fique retida nos planos de argilominerais, exigindo maior número de queimadas para atingir massa constante. Já em solos arenosos, a evaporação é mais rápida. As principais vantagens desse método são a portabilidade, o baixo custo e a independência de energia elétrica. Isso o torna útil em áreas remotas, pequenas propriedades, agricultura familiar e equipes de campo que carecem de infraestrutura básica. Mesmo com limitações, quando bem aplicado, o método do álcool se torna ferramenta prática, também se utiliza das Equações 1 e 2.

MÉTODO DA FRIGIDEIRA

Esta aplicação requer apenas uma frigideira metálica, um fogareiro e uma balança simples. A evaporação da água ocorre por aquecimento direto da superfície do solo, que é revolvido continuamente durante o processo.

O fundamento físico é baseado no aumento da temperatura do solo, que promove a transição da água líquida para vapor. Como o controle da temperatura não é preciso, é fundamental que o operador conheça visualmente o comportamento do solo durante a secagem. A presença de brilho superficial indica umidade residual; à medida que a água evapora, essa superfície se torna opaca e granulada. A textura do solo também influencia fortemente o comportamento durante o aquecimento: solos argilosos formam placas e grumos quando ainda possuem água interlamelar; solos arenosos permanecem soltos durante todo o processo.

Os erros mais comuns nesse método ocorrem quando o operador aquece o solo excessivamente, carbonizando matéria orgânica e reduzindo a massa final da amostra. O solo também pode perder partículas por movimentação excessiva, especialmente quando são aplicadas altas temperaturas. Por isso, é recomendável revolver o solo de forma suave e constante. A pesagem deve ser feita somente após resfriamento completo, para evitar perda de massa por vapor residual ou correntes de ar quente.

Apesar de suas limitações, o método da frigideira oferece ao agricultor a possibilidade de obter uma estimativa razoável da umidade com recursos mínimos. Em situações de emergência, permite determinar rapidamente se o solo precisa ou não de irrigação, auxiliando no manejo de forma prática, sobretudo em locais isolados. Também se utiliza das Equações 1 e 2.

MÉTODO DO ACETILENO

No método do acetileno (Speedy), o seu princípio químico é baseado na reação entre o carbureto de cálcio (CaC_2) e a água presente no solo, gerando gás acetileno (C_2H_2). A velocidade e a intensidade dessa reação estão diretamente relacionadas ao teor de água na amostra. Como o processo ocorre dentro de um recipiente hermético, o gás produzido aumenta a pressão interna, registrada por um manômetro calibrado.

A relação entre pressão e umidade é estabelecida por tabelas empíricas ou calibrações prévias. A massa da amostra deve ser escolhida de acordo com a textura do solo: em solos arenosos, utiliza-se maior quantidade de material, pois o manômetro precisa de mais gás para registrar variações significativas; em solos argilosos, pequenas amostras são suficientes, pois a água retida em filmes finos sobre partículas laminares reage vigorosamente com o carbureto.

A agitação do recipiente tem papel fundamental, pois ajuda a quebrar agregados e expor a água que estava aprisionada em microporos. As esferas metálicas aumentam a eficiência da mistura, contribuindo para liberar água mais rapidamente. Uma vez estabilizada a pressão, a leitura no manômetro é convertida em teor de água, utilizando-se tabelas empíricas. A precisão do método depende de fatores como temperatura ambiente, estado de conservação do reagente e integridade da câmara pressurizada. Embora o carbureto exija cuidados de armazenamento e uso, o método Speedy permite análises em poucos minutos.



Figura 2. Métodos não convencionais para determinação da umidade do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos não convencionais de determinação da umidade do solo representam ferramentas especialmente em ambientes onde os recursos financeiros, tecnológicos e laboratoriais são limitados. Eles possibilitam uma democratização do acesso à informação hídrica, permitindo que agricultores tenham autonomia e façam escolhas conscientes com base em dados concretos. Embora apresentem limitações, quando comparados a utilização do método padrão de estufa, quando aplicados com conhecimento técnico e calibrados corretamente, esses métodos fornecem resultados suficientemente confiáveis para orientar o manejo da irrigação e diversas práticas agrícolas.

REFERÊNCIAS

- Folegatti, M. V.; Blanco, F. F.; Silva, L. D. B. Manejo da irrigação. Série didática nº14. ESALQ-USP. Piracicaba, 123 p., 2003.
- Libardi, P. L. Dinâmica da Água no Solo. 3. ed. Piracicaba: EDUSP, 2018.
- Souza, G. B., Nogueira, A. R. A.; Rassini, J. B., Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico. Circular técnica 33, Embrapa 9p. 2002.

ORGANIZADORES

PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES - Engenheira Agrônoma pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Mestre e Doutora em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP. Professora Associada no Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB) e INCT-EI da ESALQ/USP. Atua com pesquisas nas áreas de agronomia e engenharia agrícola, com ênfase em softwares e modelos para engenharia de água no solo, manejo da irrigação, modelagem, inteligência artificial, recursos hídricos, viabilidade econômica e plantas medicinais, aromáticas e condimentares.

ORCID: 0000-0002-6818-4833.

VINÍCIUS VILLA E VILA - Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e École d'Ingénieurs de PURPAN-França, Mestre em Agronomia pela UEM e Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Pesquisador a nível de pós-doutorado no Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ. Atua com pesquisas nas áreas de agronomia e engenharia agrícola, com ênfase em estratégias para aumento da eficiência do uso da água na agricultura irrigada, manejo da irrigação, irrigação deficitária e inteligência artificial na irrigação.

ORCID: 0000-0001-8757-8195.



MONITORAMENTO E DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO PARA A IRRIGAÇÃO

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



MONITORAMENTO E DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO PARA A IRRIGAÇÃO

www.atenaeditora.com.br 
contato@atenaeditora.com.br 
@atenaeditora 
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 