



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/PPGESA,
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/PPGESA,
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/PPGESA,
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ, Universidade de São
Paulo/USP Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil

Patrícia Angélica Alves Marques

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

Marcos Vinicius Folegatti

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas/PPGESA,
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/PPGESA,
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 (d_s) (Equação 2).

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad \text{Equação 1}$$

$$\theta = U \cdot d_s \quad \text{Equação 2}$$

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 lâmina 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.