



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS URUÇUI
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

PEDRO GOMES BATISTA FILHO

**MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA A SECAGEM DE AMOSTRAS DE SOLO EM
RELAÇÃO AO MÉTODO CONVENCIONAL**

URUÇUI
2025

PEDRO GOMES BATISTA FILHO

MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA A SECAGEM DE AMOSTRAS DE SOLO EM
RELAÇÃO AO MÉTODO CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Uruçuí.

Orientadora: Prof. Dra. Carmem Cristina
Mareco de Sousa Pereira

URUÇUÍ

2025

METÓDOS ALTERNATIVOS PARA A SECAGEM DE AMOSTRAS DE SOLO EM RELAÇÃO AO MÉTODO CONVENCIONAL

Pedro Gomes Batista Filho¹
Carmem Cristina Mareco de Sousa Pereira²

RESUMO

A análise físico-hídrica do solo é essencial para o manejo da irrigação, mas a secagem das amostras em estufa, que pode levar até 48 horas, representa um gargalo operacional na agricultura de precisão. Este trabalho teve como objetivo comparar a eficácia, a rapidez e a precisão da secagem de amostras de solo areno argiloso, utilizando métodos alternativos (forno de microondas e air fryer) em relação ao método convencional (estufa). O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 5 repetições, em duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm). Os resultados de tempo demonstraram uma redução de mais de 99% nos métodos alternativos, com estabilização da massa em 10 minutos (microondas) e 18 minutos (air fryer). A análise de variância para a umidade gravimétrica na profundidade de 10-20 cm indicou não haver diferença estatisticamente significativa entre os métodos, validando o uso do microondas e da air fryer nesta camada. Para a profundidade de 0-10 cm, houve diferença significativa, sendo a air fryer a que apresentou média de umidade mais próxima do método padrão. Concluiu-se que o microondas e a air fryer são viáveis para a otimização do tempo e a air fryer é o método mais promissor para a determinação da umidade do solo.

Palavras-chave: microondas; air fryer; umidade gravimétrica; manejo da irrigação.

ABSTRACT

Physical-hydric analysis of soil is essential for irrigation management, but drying samples in an oven, which can take up to 48 hours, represents an operational bottleneck in precision agriculture. This study aimed to compare the effectiveness, speed, and precision of drying sandy clay soil samples using alternative methods (microwave oven and air fryer) in relation to the conventional method (oven). The study was conducted in a completely randomized design, with 5 repetitions at two depths (0-10 cm and 10-20 cm). The time results showed a reduction of more than 99% in the alternative methods, with mass stabilization in 10 minutes (microwave) and 18 minutes (air fryer). The analysis of variance (ANOVA) for gravimetric moisture at a depth of 10-20 cm indicated no statistically significant difference between the methods ($P = 0.358$), validating the use of microwave and air fryer at this layer. For a depth of 0-10 cm, there was a significant difference ($P = 0.028$), with the air fryer showing the average moisture content closest to the standard method. It was concluded that the Microwave and the air fryer are viable for optimizing time, and the air fryer is the most promising method for determining soil moisture.

¹ Graduando(a) em Agronomia. Instituição Federal do Piauí. E-mail. pg0074688@gmail.com

² Professora Doutora em Engenharia Agrícola. Instituição Federal do Piauí. E-mail. carmem.pereira@ifpi.edu.br

Keywords: microwave; air fryer; gravimetric moisture; agronomic engineering.

Data de aprovação: 05/03/2026

1 INTRODUÇÃO

A análise físico-hídrica do solo é uma prática fundamental para a agricultura moderna, fornecendo dados essenciais para o manejo da cultura, com destaque para a otimização de sistemas de irrigação (CARDOSO et al., 2009).

Além disso, o estudo das propriedades físico-hídricas do solo é essencial para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis e eficazes, especialmente em regiões com escassez hídrica. A estrutura, a densidade e a porosidade do solo são determinantes na capacidade de retenção e movimentação da água, influenciando diretamente a disponibilidade hídrica para as culturas (SARTORI et al., 2018).

Entre os indicadores físicos, o teor de umidade do solo assume papel central no manejo da irrigação. A umidade é o parâmetro primário utilizado para quantificar o armazenamento de água e determinar o momento exato de aplicar a irrigação, otimizando o uso do recurso hídrico e prevenindo o estresse hídrico nas plantas (CARDOSO et al., 2009).

O teor de umidade gravimétrica (U_g %) é classicamente determinado pela relação entre a massa de água perdida após a secagem e a massa de solo seco, sendo expresso em percentual. Para que esta determinação seja precisa, é imprescindível que a amostra atinja o peso constante (massa seca) após o processo de secagem (BUSKE et al., 2014).

O método padrão e de referência para a determinação do teor de umidade é o método gravimétrico, que exige a secagem das amostras em estufa de ventilação forçada a 105 °C, até que se atinja a massa constante. Embora seja o método mais preciso, o tempo de secagem pode se estender por até 48 horas (Gonçalves et al., 2013). Esta longa espera impõe um significativo gargalo operacional e compromete a agilidade na tomada de decisões no campo, sendo incompatível com as demandas da agricultura de precisão.

Entretanto, a principal limitação do método gravimétrico reside no seu fator tempo. O processo para atingir o peso constante em estufa pode durar, em média, de

24 a 48 horas, dependendo da textura e do teor de umidade inicial do solo (TAVARES et al., 2010). Este extenso período de espera cria um gargalo operacional significativo em laboratórios de análise e, principalmente, no monitoramento em tempo real para fins de manejo de irrigação e de pesquisa, onde a rapidez na obtenção dos dados é crucial. A demora compromete a agilidade na recomendação agrônômica, o que estimula a busca por metodologias mais céleres (DEMOCH, 2010; TAVARES et al., 2008; BUSKE et al., 2014).

Essa urgência na otimização do tempo de secagem impulsionou a pesquisa por métodos alternativos que pudessem replicar a precisão da estufa em um intervalo de tempo muito menor (TAVARES et al., 2008; DEMOCH, 2010). O forno de micro-ondas, devido ao seu princípio de aquecimento dielétrico, tem sido amplamente estudado e demonstrou potencial para reduzir drasticamente o tempo de secagem de dias para minutos, com precisão aceitável em alguns tipos de solo (Siqueira et al., 2018; BUSKE et al., 2014; DEMOCH, 2010). Contudo, é necessário validar o desempenho deste método para diferentes realidades de solo e, também, cautela no seu uso, pois o aquecimento, excessivamente, rápido, pode levar ao superaquecimento ou à combustão da matéria orgânica, o que introduziria erros na massa seca final (GONÇALVES et al., 2013).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral comparar a eficácia, a rapidez e a precisão dos métodos de secagem alternativos (forno de micro-ondas e air fryer) com o método convencional (estufa) na determinação do teor de umidade gravimétrica de amostras de solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Agropecuária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Uruçuí, tendo altitude média de 167 metros, sob as coordenadas geográficas de 7° 15' 09.9" S e 44° 33' 06.8" W.

O clima da região é do tipo Aw no sistema Köppen, com temperatura média anual de 26,5 °C, precipitação anual de 1.200 mm, com estação chuvosa de outubro a abril, sendo janeiro a março o trimestre mais chuvoso, com ocorrência de veranicos.

O estudo foi delineado em um esquema inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos (métodos alternativos de determinação da umidade do solo) e cinco

repetições (n=5) para cada profundidade de coleta (0 a 10 e 10 a 20 cm), totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos foram:

- Método Padrão: Secagem em estufa com circulação de ar.
- Método Alternativo 1: Secagem em forno de micro-ondas.
- Método Alternativo 2: Secagem em air fryer (fritadeira a ar quente).

A amostra de solo utilizada foi classificada como areno argiloso e coletada na horta Boa Vista (7° 16' 15,5" S 44° 31' 39,9" W), localizada próxima à sede do Instituto Federal, campus de Uruçuí (Tabela 1). A coleta foi realizada em duas camadas distintas, representando a variação do perfil do solo: 0 a 10 cm (camada superficial) e 10 a 20 cm (camada subsuperficial), utilizando um trado tipo castelinho. As amostras foram mantidas com a umidade natural do solo no momento da coleta.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental na Propriedade Chacará Boa Vista, no município Uruçuí/PI.

Parâmetro	Valor	Unidade
Profundidade	00-20CM	-
pH em CaCl ₂	5,3	-
Matéria Orgânica (M.O.S)	6,06	g/dm ³
Acidez Potencial (H+Al)	2,16	cmolc/dm ³
CTC (pH 7,0)	8,33	cmolc/dm ³
V% (Saturação por Bases)	74,06	%
Cálcio (Ca ²⁺)	4,88	cmolc/dm ³
Magnésio (Mg ²⁺)	0,97	cmolc/dm ³
Potássio (K ⁺)	0,29	cmolc/dm ³
Alumínio (Al ³⁺)	0	cmolc/dm ³
Fósforo (P Mehlich 1)	104,9	mg/dm ³
Enxofre (S-SO ₄)	11,43	mg/dm ³
Ferro (Fe ²⁺)	161,28	mg/dm ³
Manganês (Mn ²⁺)	9,31	mg/dm ³
Zinco (Zn ²⁺)	2,93	mg/dm ³

Para a condução do experimento, utilizou-se uma estufa com circulação e renovação de ar (Figura 1), operando à temperatura constante de 105 °C, estabelecida como o método padrão de referência. Como fontes alternativas de calor, foram empregados um forno de micro-ondas da marca Panasonic (Figura 2), com

potência máxima de 700 W, e uma fritadeira elétrica air fryer (Figura 3) da marca Philco, configurada em sua temperatura máxima de 200 °C.



Figura 1. Estufa (padrão)



Figura 2. Microondas



Figura 3. Air fryer

As pesagens das amostras, tanto em estado úmido quanto após os processos de secagem, foram realizadas em uma balança eletrônica de precisão (Figura 4) com capacidade de 10 kg. Para o acondicionamento e manipulação das amostras de solo, utilizaram-se recipientes de alumínio do tipo marmitex retangulares (Figura 5), com capacidade de 220 ml, além de anéis volumétricos de alumínio de formato cilíndrico (Figura 6), com volume de 140 ml.



Figura 4. Balança eletrônica de precisão



Figura 5. Recipientes de alumínio



Figura 6. Anel volumétricos de alumínio

As amostras de solo foram colocadas em cápsulas de pesagem de massa conhecida (tara). A umidade gravimétrica das amostras foi determinada comparando o peso da amostra úmida com o peso da amostra após a secagem até a massa constante, em cada fonte de calor.

O processo de secagem das amostras de solo foi conduzido através de três métodos distintos para fins comparativos. Como método padrão de referência, utilizou-se a estufa, onde as amostras foram submetidas à temperatura constante de 105 °C pelo período de 48 horas, assegurando a remoção completa da água conforme o protocolo estabelecido por Klein (2008).

Paralelamente, foram testados dois métodos alternativos de secagem acelerada. No método do micro-ondas, as amostras foram expostas à potência máxima de 700 W durante 10 minutos. Este intervalo foi pré-determinado em estudos preliminares e corrobora com metodologias que buscam a estabilização da massa seca em tempos reduzidos para solos de classes texturais similares (TAVARES et al., 2008; BUSKE et al., 2014).

De forma análoga, para a secagem via air fryer, as amostras foram submetidas à temperatura máxima do equipamento por um período de 18 minutos. Este tempo também foi definido através de testes preliminares para garantir a estabilização da massa, fundamentando-se no princípio da transferência de calor por convecção forçada de alta velocidade para acelerar a evaporação da umidade (GONÇALVES et al., 2011).

Após a secagem, a umidade gravimétrica foi calculada para todas as amostras, utilizando a seguinte fórmula (KLEIN, 2008):

$$Ug(\%) = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100$$

Onde:

Ug: umidade gravimétrica (%)

Mu: massa da amostra úmida (g)

Ms: massa da amostra seca (g)

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para avaliar os efeitos dos métodos de secagem, das profundidades de amostragem e da interação entre esses fatores. Quando verificada significância estatística, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas e a verificação da normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) foram realizadas utilizando o software estatístico R, versão 4.5.2 (R CORE TEAM, 2024).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram uma otimização temporal expressiva com o uso dos métodos alternativos comparado ao método convencional, em relação ao tempo de secagem das amostras de solo, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Tempo de secagem para estabilização da massa das amostras de solo, por fonte de calor.

Método de Secagem	Tempo (minutos)	Tempo (horas)	Redução de Tempo (em relação a 24h)
Estufa (Padrão)	1440	24	—
Micro-ondas	10	0,17	99,29%
Air Fryer	18	0,3	98,75%

A utilização do forno de micro-ondas e da air fryer reduziu o tempo de secagem de dias para minutos, resultando em uma economia de tempo superior a 99%. O desempenho do micro-ondas (10 minutos) e da air fryer (18 minutos) confirma o potencial desses equipamentos para fornecer respostas rápidas essenciais para o manejo da irrigação, corroborando com Carvalho et al. (2023), comprovando que o método do forno de micro-ondas foi bastante eficaz na determinação da umidade do solo.

Fonseca et al. (2009), Oliveira et al. (2008) e Busker et al. (2014), ao compararem o método padrão de estufa com o método do forno elétrico e microondas para amostras de solo argiloso e arenoso, constataram que, os métodos alternativos, forno elétrico e microondas, apresentaram-se eficientes na determinação da umidade para os solos estudados, significando redução do tempo de secagem das amostras e, consequentemente, redução no consumo de energia. Além de serem métodos com grande potencial de utilização pelos produtores e técnicos, Tavares et al. (2008) afirmam que são métodos eficazes para se medir a umidade do solo, visto que é simples, rápido, e de baixo custo de aquisição.

Para avaliar a precisão dos métodos alternativos, as médias do teor de umidade gravimétrica (Ug%) foram comparadas nas duas profundidades, utilizando a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3. Média do teor de umidade gravimétrica (U_g %) e resultados da análise de variância (ANOVA) por profundidade.

Fator	Nível	Umidade Gravimétrica (%)
Métodos	Air Fryer	12,58 a*
	Estufa (Padrão)	12,34 ab
	Micro-ondas	11,52 b
Profundidade	0-10 cm	12,82 a
	10-20 cm	11,48 b
CV (%)		6,31

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A air fryer apresentou numericamente a maior média com 12,58%, enquanto o micro-ondas apresentou a menor com 11,52%. Entretanto, o ponto crucial para a validação do experimento é que ambos os métodos alternativos não diferiram estatisticamente do método padrão em estufa que apresentou 12,34%.

A equivalência estatística entre o micro-ondas e a estufa corrobora os resultados obtidos por Tavares et al. (2008), Buske et al. (2014) e Carvalho et al. (2023). A eficiência da air fryer, que utiliza a convecção forçada de ar em alta velocidade, também se mostrou promissora, demonstrando que é possível reduzir o tempo de secagem de 24 horas (estufa) para intervalos entre 10 e 18 minutos sem comprometer a acurácia dos dados de umidade gravimétrica. Este resultado é crucial, embora o micro-ondas seja mais rápido, sua média de umidade difere da air fryer, sendo a air fryer o método alternativo que demonstrou a maior consistência com o método padrão (estufa) estatisticamente observado.

Essa similaridade entre a air fryer e a estufa pode ser atribuída ao princípio de transferência de calor por convecção, comum a ambos os equipamentos, embora acelerado na air fryer pela alta velocidade de circulação do ar. Esse comportamento corrobora com Gonçalves et al. (2011), que destacam a eficácia da circulação forçada de ar na uniformidade da secagem.

Por outro lado, a variação observada no micro-ondas, mesmo sendo estatisticamente igual à estufa, reflete o que Tavares et al. (2008), Miranda et al. (2012), Buske et al. (2014) e Carvalho et al. (2023) que descrevem sobre a sensibilidade do aquecimento eletromagnético, onde a rapidez do método exige um

controle rigoroso do tempo de exposição para evitar a subestimação da umidade ou a degradação térmica da amostra, o que explica o valor de 11,52%.

Os resultados para a profundidade de 10-20 cm mantêm a validação de todos os métodos. A análise estatística revelou que não houve diferença significativa entre os três métodos de secagem ($P = 0,358$). A ausência de significância estatística confirma que a precisão é mantida na camada subsuperficial, permitindo o uso do microondas (11,156%) e da air fryer (11,828%) com igual confiança.

Tabela 4. Resumo do teste de Tukey na comparação de médias do teor de umidade gravimétrica ($U_g\%$) entre as fontes de calor ($\alpha = 0,05$).

Profundidade (cm)	Tratamento	Média $U_g(\%)$
0-10	Air Fryer	13,34 a
0-10	Estufa (Padrão)	13,23 ab
0-10	Micro-ondas	11,89 b
10-20	Air Fryer	11,82 a
10-20	Estufa (Padrão)	11,45 a
10-20	Micro-ondas	11,15 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade ($P > 0,05$).

O desdobramento da interação, conforme apresentada na Tabela 4, demonstra que na camada superficial (0-10 cm), o método da air fryer (13,34%) e a estufa padrão (13,23%) apresentaram as maiores médias, sendo estatisticamente semelhantes entre si. Já o micro-ondas (11,89%) diferiu da air fryer, mas manteve equivalência com a estufa, reforçando sua viabilidade como método alternativo.

Resultados que corroboraram com Cremon e al. (2014), que trabalhando com o objetivo de comparar o método do forno micro-ondas com o método padrão de estufa, na determinação de umidade do solo, comprovaram que os resultados estimados por meio do método do forno micro-ondas para a determinação de umidade do solo não difere estatisticamente do método padrão de estufa, constituindo uma metodologia confiável e que pode ser facilmente utilizada na determinação da umidade do solo.

Para a camada subsuperficial (10-20 cm), observa-se uma uniformidade ainda maior, onde todos os métodos (air fryer, estufa e micro-ondas) foram estatisticamente iguais. Este resultado confirma que a eficiência das fontes alternativas de calor para a secagem de solo é mantida em diferentes profundidades, permitindo a redução do tempo laboratorial de 24 horas para menos de 20 minutos com alta precisão experimental (CV = 6,31%).

De acordo com Vinholis et al. (2008), observando o potencial econômico, social e ambiental do micro-ondas para determinação do teor de umidade em solos, constataram que o uso desse equipamento permite otimizar atividades de irrigação em sistemas intensivos de produção agrícola, gerando impacto positivo do ponto de vista econômico, social e ambiental nos sistemas de controle da qualidade e de produção agrícola.

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que os métodos alternativos, como air fryer e microondas, comparado ao método convencional (estufa) não compromete a integridade dos dados agrônômicos, apresentando resultados precisos e replicáveis. Demonstrando uma otimização operacional nos laboratórios de solos, permitindo diagnósticos em tempos reduzidos em até 20 minutos.

O uso de equipamentos domésticos (micro-ondas e air fryer) democratiza o acesso à análise de umidade, oferecendo ao produtor e ao engenheiro agrônomo ferramentas de baixo custo, fácil manuseio e alta portabilidade para laboratórios de fazenda.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação: referências: elaboração**. Rio de Janeiro, 2018.

BUSKE, T. C. et al. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-324, abr./jun. 2014.

CARDOSO, E. L.; FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. **Análise de solos: finalidade e procedimentos de amostragem**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 5 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 79).

CREMON, Cassiano et al. Determinação da umidade de diferentes solos do Pantanal Matogrossense via micro-ondas e método padrão. **Agrarian**, v. 7, n. 24, p. 280-288, 2014.

DEMOCH, G. A. **Utilização do forno de micro-ondas na determinação do teor de água em diferentes tipos de solos**. 2010. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

GONÇALVES, F. C. et al. Métodos de determinação da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2009.

KLEIN, V. **Física do solo**. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008. 200 p.

MIRANDA, E. P.; MARTINS, G. S.; CARMO, F. F.; LIMA, L. C. P.; SILVA, F. M. Uso do forno de micro-ondas na determinação de um solo francosiltoso. In: IV WINOTEC WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO. Fortaleza, 2012. **Anais...**, Inovagri, Fortaleza, 2012.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 433-445, 2006.

TAVARES, M. H. F. et al. Uso do forno de microondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 529-538, jul./set. 2008.

VINHOLIS, M. de M. B. et al. Uso do microondas doméstico para determinação de matéria seca e do teor de água em solos e plantas: avaliação econômica, social e ambiental. **Custos e Agronegócio on line**, v. 4, n. 2, p. 80-97, mai./ago. 2008.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024.