

# PARÂMETROS INICIAIS DO PROCESSO DE SECAGEM DE SOLO INCENTIVADO POR MICRO-ONDAS

Gabriel Nido de Aveiro<sup>1</sup>; Renata Borges do Nascimento<sup>2</sup>; Edmilson Renato de Castro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>2</sup> Professores do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

**Resumo.** *A análise de solo é um processo imprescindível para a grande maioria dos plantios, entretanto para a realização da mesma é necessário, primariamente a secagem da amostra, que por sua vez é realizada em estufas. O método padrão atual para secagem do solo é considerado demorado, exigindo tempo de até 72 horas dependendo do tipo de solo. Deste modo, este trabalho visou estudar, de forma preliminar, se o processo de secagem da terra vegetal por micro-ondas influenciava ou não em duas importantes propriedades físico-químicas, pH e matéria orgânica e se o tempo de processamento era menor comparado ao método por estufa. Os resultados obtidos mostraram que a terra não sofreu alterações significativas nas propriedades analisadas, indicando ser possível a mudança do método convencional para a secagem com fornos micro-ondas além de ser mais rápido.*

## Introdução

Com o crescimento econômico contínuo e a crescente demanda por alimentos, torna-se imperativo aumentar a produtividade agrícola. Nesse contexto, é essencial aprimorar as ferramentas de trabalho, incorporando tecnologias avançadas, como a agricultura irrigada. No entanto, para garantir uma produção eficiente, é fundamental realizar análises químicas e da umidade do solo nas áreas cultivadas. Essas avaliações são essenciais para verificar a eficácia do sistema de irrigação, otimizar o aproveitamento pelo solo e garantir uma melhor qualidade e desenvolvimento para a plantação (Buske, 2013).

Neste prisma, a análise de solo teve seu início nos meados do século XIX, e com o avanço tecnológico, hoje, é possível, por meio de uma análise de solo eficiente, avaliar o grau de deficiência de nutrientes e determinar as quantidades a serem aplicadas nas adubações (Chicolita, 2009). Por esse conceito, pode-se concluir que a análise de solo, para avaliação de fertilidade, tem como objetivo conhecer o grau de fertilidade para uma adequada recomendação de corretivos e fertilizantes, com vista à produção, sendo atualmente de constante emprego, e, mais recentemente, é utilizada também para monitoramento de poluição de solos (IBGE, 2024).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (Embrapa), o melhor método para determinar a umidade do solo é por secagem em estufa de convecção de ar, levando à definição de terra fina secada ao ar (TFSA). Este é o método padrão adotado por várias indústrias do setor, porém esta metodologia demora em média 24 horas para secar uma simples amostra (Santos e Filho, 2019). O principal inconveniente da estufa é o longo tempo de secagem e na tentativa de reduzir o tempo de ensaio e o consumo energético, este estudo visou secar amostras de solo com a aplicação de micro-ondas como fonte de calor.

A principal vantagem em se aplicar micro-ondas, principalmente em processos de secagem, é o rápido aquecimento volumétrico na amostra, propiciando uma condução de calor mais rápida por toda a amostra. Essa justificativa é reforçada por Miller et al. (2007), para quem o uso de micro-ondas propicia redução significativa do tempo de secagem da amostra comparado ao método de estufa.

O objetivo principal da pesquisa foi em realizar as secagens de amostras de solo pelo método tradicional e por micro-ondas, podendo ao fim, apontar as possíveis diferenças de tempo de secagem (foram registrados durante os ensaios a perda de umidade ao longo do tempo) e nas propriedades físico-químicas (pH e matéria orgânica).

## Materiais e Métodos

### Materiais

Como amostra de solo para este estudo, utilizou-se uma terra vegetal composta para plantio utilizada em jardins, gramados e lavouras, podendo também ser aplicado em vasos de plantas e na produção de mudas. Optou-se por este material por ser composto por uma mistura de terra *in natura* enriquecida com matérias minerais e/ou orgânicos e por possuir uma combinação muito completa e rica em nutrientes. A matéria prima foi estocada em um recipiente fechado e refrigerado à  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  durante o período dos ensaios experimentais para manter sua umidade inicial, na faixa de 45 a 50 %. Todas os ensaios de secagem foram realizados com amostras de aproximadamente 20 g de terra acondicionadas em placas de Petri de vidro.

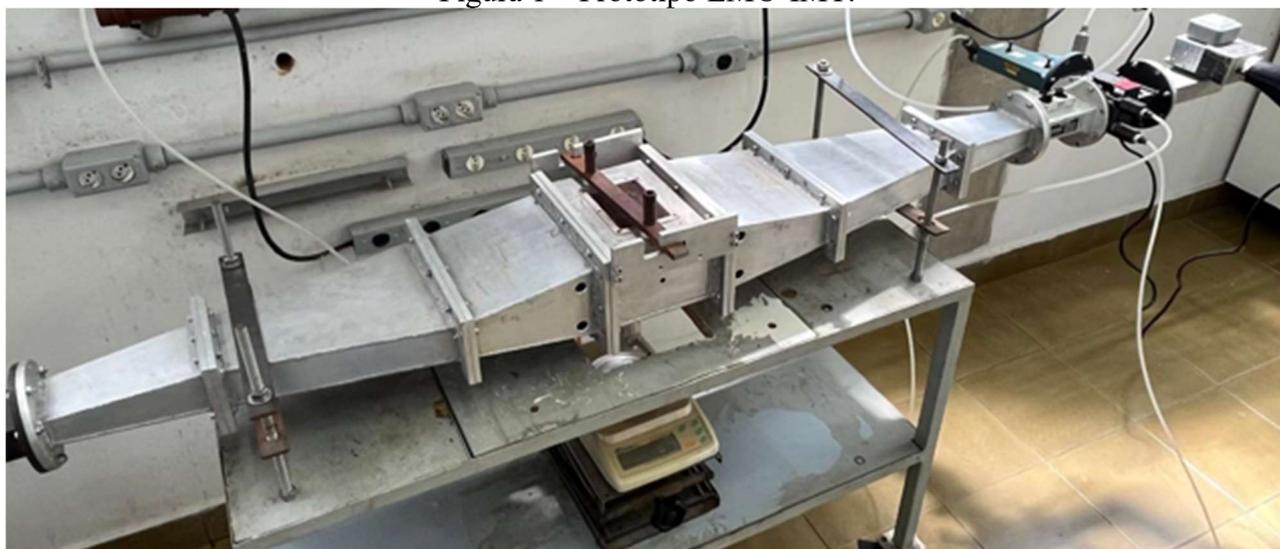
Os equipamentos utilizados para estes experimentos foram uma estufa de secagem convencional utilizada em laboratórios em geral, uma estufa de secagem com circulação de ar forçada, um analisador de umidade por infravermelho, dois fornos de micro-ondas domésticos e um protótipo, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas “Aplicações de Micro-ondas a Processos Químicos”, que possui característica de determinar curvas de secagem de materiais úmidos utilizando micro-ondas como fonte de calor. A Tabela 1 apresenta as características dos equipamentos utilizados neste estudo e a Figura 1 o protótipo LMO-IMT.

Tabela 1 – Informações técnicas dos equipamentos utilizados para secagem do solo.

Equipamentos	Marca	Potência (W)
Estufa, 315	Fanem	1000
Estufa circulação forçada ar, Q314M	Quimis	1700
Balança infravermelha, IV2500	Gehaka	-
Forno de micro-ondas 30 L,	Philco	800
Forno de micro-ondas 38 L,	Brastemp	1000
Protótipo (construção própria)	LMO-IMT	900

LMO-IMT: Laboratório de Micro-ondas - Instituto Mauá de Tecnologia.

Figura 1 – Protótipo LMO-IMT.



Fonte: Laboratório de Micro-ondas.

A Figura 1 apresenta o equipamento utilizado para a realização dos ensaios laboratoriais. Em sua configuração além da cavidade especialmente desenvolvida para ensaios de secagem, é possível

visualizar a válvula geradora de micro-ondas (magnetron), o sistema de controle e registro e uma balança semi-analítica.

### Métodos

Em todos os equipamentos de secagem listados na Tabela 1, a perda de massa úmida durante os ensaios foi registrada utilizando a Equação 1.

$$U(\%) = \left( \frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (1)$$

$U(\%)$  - Umidade do solo;

$m_u$  - Massa do solo úmido (g);

$m_s$  - Massa do solo seco (g);

#### *a) Determinação da eficiência energética dos fornos de micro-ondas domésticos*

Este método de teste é aplicável a fornos de micro-ondas projetados para uso doméstico e comercial (ASTM F1317 – 98). Inicialmente é necessário verificar a precisão do temporizador do forno de micro-ondas. Este teste consiste em ligar o forno por 3 min (com uma carga de água no seu interior, por exemplo um bécquer com água) e acompanhar a evolução do temporizador com um cronômetro. Os valores não devem diferir mais que 2%. Caso isso ocorra, determinar as configurações necessárias para garantir essa precisão. Após esta etapa inicial, encher um bécquer de vidro borossilicato de 2 L com exatamente 1000 mL de água destilada entre 18 a 20°C e registrar a temperatura inicial da água como  $T_1$ . Remover o termômetro e colocar o bécquer no centro do forno de micro-ondas. Se o forno tiver sido usado recentemente, deixe esfriar até atingir a temperatura ambiente. Irradiar micro-ondas em potência máxima por 2 min e 3 s (O tempo de 3 s adicional é para permitir o atraso na inicialização do magnetron). Imediatamente após a conclusão do ciclo de energia, mergulhar o termômetro na água agitar vigorosamente. Medir a temperatura da água. Registrar essa temperatura como  $T_2$ . Repetir as medições para obter resultados em triplicadas do aumento de temperatura e usar a média como a potência de saída calibrada do forno de micro-ondas. A potência de saída do forno foi registrada utilizando a Equação 2.

$$P_s (W) = 34.9 (T_2 - T_1) \quad (2)$$

$P_s (W)$  – Potência de saída do forno;

$T_1$  – Temperatura inicial da água (°C);

$T_2$  – Temperatura final da água (°C);

#### *b) Determinação de umidade do solo por estufa com e sem circulação e renovação forçada de ar*

Este método seguiu o manual de métodos de análise de solo (Embrapa, 2017). Pesar (amostra úmida + recipiente) em placa de Petri com volume mínimo de 150 mL, 20 g de amostra de solo, mantida em embalagem impermeável e vedada, e transferir para estufa a 105 °C, deixando-a nessa condição até peso constante (para a maioria dos solos, 24 horas é tempo suficiente). Retirar da estufa, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar (amostra seca + recipiente).

#### *c) Determinação de umidade do solo por balança de infravermelho*

Este método seguiu o manual de instruções do fabricante do analisador de umidade (Gehaka, 2018). Os testes, em triplicata, foram realizados com 20 g de solo, sem pelotas de terra e distribuídos de forma homogênea pelo prato. Quanto maior a homogeneidade da amostra, maior será a

repetitividade. A temperatura adotada foi de 105°C e tempo de ensaio de 40 min. Os pontos para a construção da curva de secagem foram registrados manualmente a cada minuto.

*d) Determinação de umidade do solo utilizando os dois modelos de fornos de micro-ondas*

Em todos os dois fornos de micro-ondas, de 30 L da marca Philco e 38 L da marca Brastemp, as amostras de 20 g de solo, foram acondicionadas em placas de Petri com volume mínimo de 150 mL e colocadas no centro da cavidade. Após esta etapa, irradiou-se 100 % da capacidade da válvula magnetron em gerar micro-ondas para o interior da cavidade. A perda de massa da amostra foi registrada minuto a minuto através de pesagens da variação da massa com o equipamento desligado, até peso constante.

*e) Determinação de umidade do solo utilizando o forno de micro-ondas do Laboratório de Micro-ondas*

Em cada experimento, o sistema de pesagem era composto por uma placa de Petri sob uma base circular conectada a um eixo, ambos de teflon, e este conjunto apoiado em uma balança semi-analítica para monitorar a perda de massa da amostra durante o processo de secagem. A amostra de solo (20 g) foi pesada no próprio sistema montado para evitar ao máximo variações de umidade da amostra de solo durante os preparativos para o ensaio. Especificamente nesta determinação, estudou-se apenas um nível de irradiação de micro-ondas na amostra de solo, 100 % da capacidade da válvula magnetron.

*f) Determinação do pH e da matéria orgânica do solo*

Para ambas as análises, pH e matéria volátil, foram realizadas em triplicatas, para as amostras de terra seca após ensaios de secagem da estufa 315, forno de micro-ondas Brastemp 38 L e forno LMO e adotou-se procedimentos descritos pelo manual de métodos de análise de solo (Embrapa, .

Na determinação do pH, em um béquer de 100 mL, pesou-se 10 g de solo com 25 mL de água destilada. O solo, livre de fragmentos rochosos, foi homogeneizado na água através de agitação com bastão de vidro por cerca de 60 s. Após esta diluição, a mistura resultante ficou 1 hora em repouso. Em seguida, agitou-se novamente a amostra com bastão de vidro, inserindo os eletrodos na suspensão homogeneizada e registrando o valor de pH. O pHmetro utilizado foi um MC226 da Mettler Toledo.

Na quantificação da matéria orgânica, misturou-se 0,5 g de terra seca com 10 ml de dicromato de potássio 0,2 mol/L e aquecido até a fervura branda por 5 minutos. Após o resfriamento da solução, adicionou-se 80 mL de água destilada, 1 mL de ácido fosfórico e 6 gotas do indicador redox difenilamina-4-sulfatada. Após estas adições, titulou-se com sulfato ferroso amoniacal 0,05 mol/L até a viragem da cor azul para a verde anotando-se o volume gasto.

$$g \text{ de carbono/kg de TFSE} = 0,06 \times V (40 - Va \times f) \times "f" \quad (3)$$

*TFSE*: Terra fina seca em estufa;

*V*: Volume de dicromato de potássio empregado;

*Va*: Volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco;

*f*: 40/volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco;

0,06: Fator de correção, decorrente das alíquotas tomadas;

"*f*" = 1,724: Fator de correção;

## **Resultados e Discussão**

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados, em triplicata, dos ensaios para determinar a real potência de micro-ondas fornecida pelos fornos de micro-ondas domésticos 30 L da Philco e 38 L da Brastemp, respectivamente.

Tabela 2 - Potências reais do forno micro-ondas Philco 30L

Massa de água (g)	T inicial (°C)	T final (°C)	Potência (W)	Potência média (W)	D <sub>p</sub>
1000,03	21	45	837,6		
999,97	21	45	837,6	837,6	0,0
1000,57	21	45	837,6		

D<sub>p</sub>: Desvio Padrão

Tabela 3 - Potências reais do forno micro-ondas Brastemp 38L

Massa de água (g)	T inicial (°C)	T final (°C)	Potência (W)	Potência média (W)	D <sub>p</sub>
1000,02	21	51	1047,0		
1000,36	21	50	1012,1	1012,1	35,0
1000,30	21	49	977,2		

D<sub>p</sub>: Desvio Padrão

É importante destacar que a potência nominal disponível no catálogo do fabricante de fornos de micro-ondas não informa apenas a potência máxima de micro-ondas, e sim, a potência total consumida pelo forno como um todo (transformador, capacitor, etc) da rede elétrica. Isso é corroborado através dos resultados médios apresentados nas Tabelas 2 e 3, isto é, 837,6 W versus 1400 W nominal para o forno de micro-ondas Philco de 30 L e 1012,1 W versus 1500 W para o forno de micro-ondas Brastemp de 38 L. Estes resultados são referências para os cálculos de interação do solo com a potência de micro-ondas disponível no interior da cavidade.

A Tabela 4 apresenta os resultados de umidade do solo determinados pelo método utilizando estufa tradicional sem ar forçado e por convecção.

Tabela 4 – Valores finais das umidades do solo – Método estufas

	E1 (%)	E2 (%)	E3 (%)	E4 (%)	E5 (%)	E6 (%)	M (%)	D <sub>p</sub>
Estufa 315	47,90	48,10	47,92	47,20	47,32	47,70	47,69	0,40
Estufa de convecção Q314M	47,86	48,20	47,89	47,85	47,40	47,92	47,85	0,30

M: Média; D<sub>p</sub>: Desvio Padrão; E: Ensaio.

Em ambas as estufas, os valores médios ficaram muito próximos, 47,69% para a estufa tradicional e 47,85% para a estufa por convecção, além de que, a repetibilidade dos ensaios foi comprovada por um baixo desvio padrão, indicando que os dados estão próximos da média ou do valor esperado. Utilizou-se como valor de umidade do solo para os cálculos das curvas de secagem o valor de 47,77% (média entre as médias obtidas nas estufas).

Os resultados apresentados pela Tabela 4, mostram que ambas as estufas atingem a porcentagem máxima possível de retirada de umidade da amostra. Importante ressaltar que estes resultados foram obtidos utilizando a metodologia da Embrapa (2017), isto é, com 24 horas de ensaio.

Figura 2 – Gráfico do perfil da perda de umidade versus tempo.  
(Balança infravermelha)

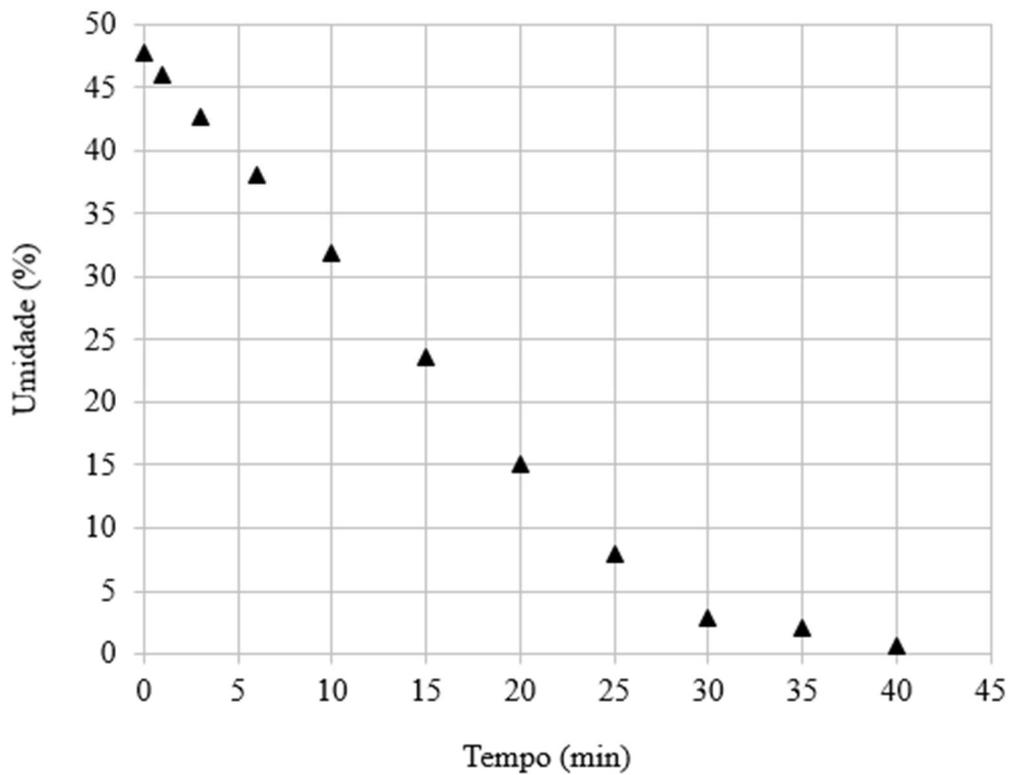
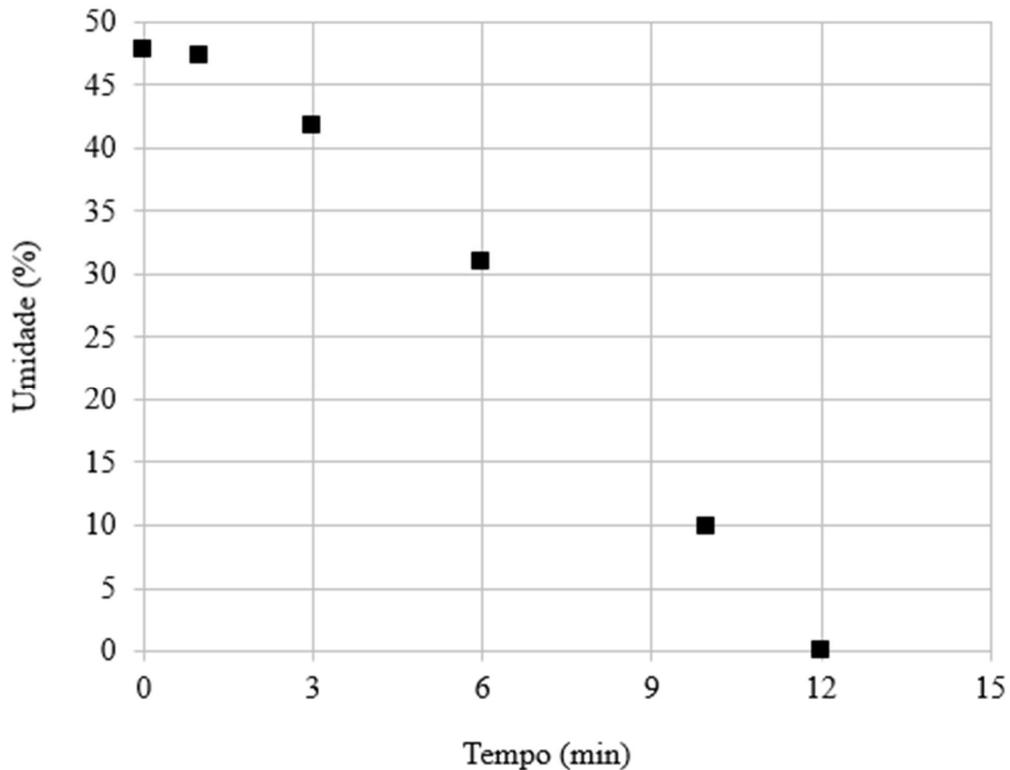


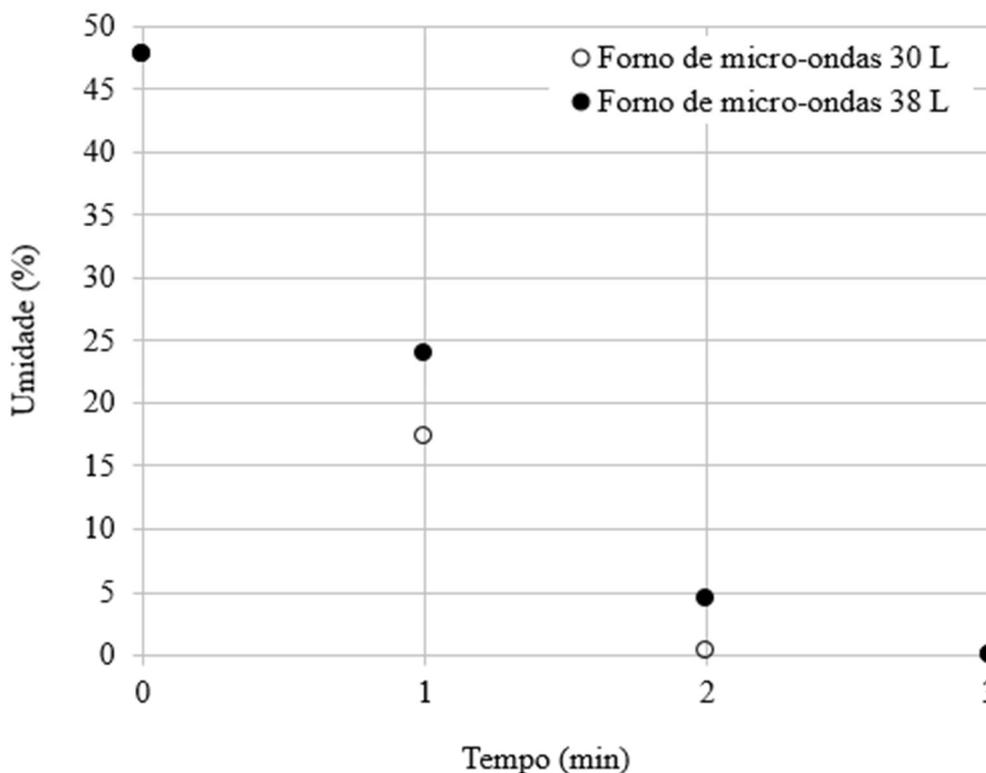
Figura 3 - Gráfico do perfil da perda de umidade versus tempo.  
(Forno micro-ondas LMO).



As Figuras 2 e 3, apresentam as curvas de secagem da amostra de solo obtidas através de ensaios, em triplicata, em uma balança de infravermelho e o protótipo LMO, respectivamente. Nos

ensaios com infravermelho, a temperatura média foi de aproximadamente 110°C e o tempo total de secagem foi de 40 minutos (tempo que a % de umidade entrou em patamar não ocorrendo mais variação de massa). Já nos ensaios com o secador LMO não foi possível medir a temperatura, porém observou-se uma redução de 70 % no tempo de secagem em comparação com o método por infravermelho. Isso se deve, ao fato de que as micro-ondas proporcionam um aquecimento volumétrico do material, isto é, aquecendo a amostra por igual e conseqüente extraído a água da amostra mais rápido.

Figura 4 - Gráfico do perfil da perda de umidade versus tempo.  
(Forno micro-ondas Philco 30 L).



A Figura 4, apresenta os resultados, em triplicata, da retirada da umidade versus tempo utilizando os fornos de micro-ondas de 38 e 30 L, respectivamente. Nesta série, também não foi possível mediar a temperatura, porém as amostras alcançaram o teor de umidade desejado em apenas 2 e 3 min para o forno de micro-ondas doméstico de 38 L e 30 L, respectivamente. Apesar desses ensaios atingirem o objetivo em pouco tempo, é importante destacar que na maioria dos ensaios formou-se pontos quentes na amostra, muitas vezes degradando-a. Comparando os resultados do forno LMO (Figura 3) com os fornos de micro-ondas domésticos (Figura 4), apesar da diferença no tempo de secagem, o secador LMO apresentou uma importante vantagem que foi a de não haver perdas de matéria orgânica por degradação.

Tabela 5 – Valores de pH do solo após secagem com micro-ondas.

Equipamento	E1	E2	E3	M	D <sub>p</sub>
Estufa 315	8,17	8,14	8,19	8,17	0,03
Forno Brastemp 38 L	8,19	8,17	8,23	8,20	0,03
Forno LMO	8,22	8,18	8,14	8,18	0,04

M: Média; D<sub>p</sub>: Desvio Padrão; E: Ensaio.

Tabela 6 – Valores de matéria volátil do solo após secagem.

Equipamento	E1	E2	E3	M	D <sub>p</sub>
Estufa 315	32,96	32,53	32,21	32,57	0,4
Forno Brastemp 38 L	31,67	31,45	30,81	31,31	0,4
Forno LMO	32,64	32,75	31,99	32,46	0,4

Unidade: grama de matéria orgânica por quilo; M: Média; D<sub>p</sub>: Desvio Padrão; E: Ensaio.

Os resultados apresentados pelas Tabelas 5 e 6 mostraram similaridades dos valores de pH e de matéria orgânica, respectivamente, independentemente do método de secagem utilizado. Em outras palavras, as micro-ondas não interferiram negativamente nos resultados.

Segundo o documento “Matéria Orgânica do Solo” (Embrapa, 2004), a matéria orgânica do solo (MOS) é importante reservatório de carbono, nutrientes e energia. Sem a presença da matéria orgânica, a superfície terrestre seria uma mistura estéril de minerais intemperados. Além disso, não há dúvidas quanto à sua essencialidade na fertilidade, produtividade e sustentabilidade das áreas agrícolas ou não-agrícolas.

## Conclusões

A principal conclusão deste trabalho foi que a secagem de amostras de solo usando micro-ondas é uma alternativa viável ao método tradicional com estufas, proporcionando uma significativa diminuição no tempo de secagem sem comprometer a integridade das análises químicas realizadas. Importante destacar que a utilização de fornos de micro-ondas domésticos para esses processos de secagem de solo, pode degradar a matéria orgânica presente nas amostras. Uma explicação plausível para esta degradação é que ocorreram pontos quentes na amostra, visualizadas durante dos experimentos, que certamente ultrapassavam a temperatura de secagem. Tal fenômeno não pode ser observado no forno de micro-ondas LMO, devido sua configuração ter sido projetada para evitar este superaquecimento localizado e propiciar a amostra, um processo de secagem sem a formação de ponto quentes. Deste modo, novas pesquisas devam ser realizadas no sentido de avançar no desenvolvimento de secadores utilizando micro-ondas para esta finalidade.

## Referências Bibliográficas

BUSKE, C. T.; Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos. (2013). 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade Santa Maria, Santa Maria RS.

CHICOTILA. J. C.; PRATA. F; SILVA, F. B; COELHO. A. C; (2009). Amostragem de solo para análises de fertilidade, de manejo e de contaminação. Embrapa.

IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – 2024.

SANTOS, S.L.M.; FILHO, E.P.S.; (2019). Determinação da Umidade de Solo pelos Métodos Estufa e Forno Micro-Ondas em Diferentes Texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Sul-Amazônico. Geografia (Londrina) v. 28. n. 2. pp. 41 – 60.

Manual de métodos de análises de solo. (2017). 3.ed. Rio de janeiro: Embrapa. 212p.

Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes. (2009). 2.ed. Rio de janeiro: Embrapa. 634p.

Standard Test Method for Calibration of Microwave Ovens – ASTM F1317 – 98 (Reapproved 2012).

Manual de Instruções do Analisador de Umidade IV2500. (2018). Gehaka.

MILLER, J. R. J.; SMITH, R. B.; BIGGAR, J. W. (2007). Soil water content. Microwave method. Proceedings Soil Science Society of America, Madison, v.38, n.3, p. 535-537.

Matéria Orgânica do Solo. (2004). Embrapa. 31p.