

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO POR DIFERENTES FONTES DE AQUECIMENTO

TAISE CRISTINE BUSKE¹; ADROALDO DIAS ROBAINA²; MARCIA XAVIER PEITER²; ROGÉRIO RICALDE TORRES³; RICARDO BENETTI ROSSO³ E FABIANO DE VARGAS ARIGONY BRAGA³

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP: 97105-900, Santa Maria, RS. E-mail: taisecbuske@gmail.com

²Professor do Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria, RS.

³Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria, RS.

1 RESUMO

A umidade do solo é um dos indicadores da condição hídrica na qual o mesmo se encontra, sendo vários os métodos utilizados para sua determinação. O presente trabalho objetivou comparar os valores de umidade do solo, obtidos por diferentes métodos, utilizando solos de diferentes classes texturais. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria. Foram testados três métodos (método padrão de estufa, M0; método do forno elétrico, M1; método do forno de micro-ondas, M2), com amostras de três solos (S1, S2, S3) e três repetições para cada. Foi feita a regressão linear entre os métodos, com a finalidade de se obter o coeficiente de correlação (r), o índice de concordância de Willmott (I_w) e o índice de desempenho (I_d). Pela análise dos resultados obtidos pode-se afirmar que o método M1 e o método M2 apresentaram desempenho ótimo quando comparados ao método padrão. Também concluiu-se que o tempo de 20 minutos para o método M1 foi eficiente, significando redução no tempo para determinação da umidade. Para o método M2 o tempo de 5 minutos de secagem foi suficiente, não diferindo estatisticamente do método padrão.

Palavras-chave: solo, irrigação, métodos alternativos.

BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. de V. A.

DETERMINATION OF SOIL MOISTURE BY DIFFERENT HEATING SOURCES

2 ABSTRACT

Soil moisture is one of the indicators of hydro conditions in which it lies, and many methods are used for its determination. The objective of the study was to compare values of soil moisture obtained by different methods, using soils of different textural classes. The study was conducted in the laboratory of Agricultural Hydraulics of Santa Maria Federal University. A total of three methods (standard method, M0; electric oven method, M1; microwave oven method, M2) with three soil samples (S1, S2, S3) and three replications for each one were tested. The linear regression between methods was carried out in order to obtain the correlation coefficient (r), the Willmott concordance index (I_w) and the

performance index (I_d) The results showed that Method M1 and M2 had an excellent performance as compared to the standard method. In addition, the time of 20 minutes for the electric oven method was efficient, with a consequent decrease in the time for determination of moisture content. The 5 minute drying period for the microwave oven method was enough, and no statistically significant difference was found between it and the standard method.

Keywords: soil, irrigation, alternative methods

3 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de água para os diversos fins tem tornado o manejo deste recurso um problema complexo em todo o mundo, sendo de significativa importância obter-se a maior eficiência possível no uso da água para a agricultura. A disponibilidade de água às culturas é variável de acordo com as características do solo, das condições climáticas e necessidade da planta, além do que o aumento ou a redução da mesma estão muito relacionados com o manejo do solo (MICHELON et al., 2007). Dentre os fatores de produção, a água é o que mais limita os rendimentos das plantas cultivadas, principalmente em regiões com precipitações pluviárias irregulares (SOARES et al., 2010). Segundo Parizi et al. (2009) a região das missões, RS, apresenta uma quantidade precipitada de chuvas relativamente alta durante o ano, porém com distribuição irregular, justificando a necessidade de irrigação suplementar nos períodos críticos das culturas.

A determinação do teor de água no solo é fundamental em várias situações na agricultura e é imperativa para definir o momento de operações mecanizadas e controlar o correto manejo da irrigação. A umidade do solo é uma propriedade que afeta a porosidade e suscetibilidade à compactação, exigindo equipamentos que permitam o monitoramento espacial e temporal (KAISER et al., 2010). O manejo de irrigação via solo, que considera a umidade do solo na profundidade efetiva do sistema radicular é, talvez, o mais antigo procedimento dentre aqueles que hoje são utilizados, segundo Soares et al. (2010).

Vários métodos e técnicas são utilizados para a determinação do teor de água no solo, algumas demoradas, outras caras e, ainda, algumas bastante imprecisas em função da condição do solo, segundo Klein (2008). As principais diferenças entre os métodos resumem-se à forma de medição, custos, tempo de resposta e operacionalidade no campo.

O método considerado padrão é a extração de água de uma amostra de solo por meio de calor utilizando-se estufas elétricas, determinando-se, assim, a umidade gravimétrica do solo pela relação entre a massa de água e a massa de solo seco (KLEIN, 2008). Conforme Santos et al. (2006) é um método destrutivo, direto e muito preciso. O maior limitante deste método é o tempo necessário para obtenção do resultado, o qual se aproxima de 24 horas.

Segundo Fonseca et al. (2009a) o método do forno elétrico foi desenvolvido com o objetivo de reduzir o consumo de energia e o tempo de secagem do solo. É um método com grande potencial de utilização pelos produtores e técnicos para se medir a umidade do solo, visto que é simples, rápido, e de baixo custo de aquisição e execução. Tem seu funcionamento à base de energia elétrica e a fonte de geração do calor usado para executar o aquecimento é através das resistências de aquecimento.

O método do forno de micro-ondas utiliza o forno de micro-ondas doméstico como equipamento e requer dez minutos para secar solo e catorze para plantas, segundo Souza et al. (2002). É um método alternativo ao método convencional em que o aquecimento ocorre em razão de uma radiação eletromagnética, que é gerada por um magnetron e irradiada por um

ventilador de metal, que fica localizado na parte superior do aparelho. Essa radiação é que aumenta a agitação das moléculas de água, aquecendo-as de forma quase uniforme e de fora para dentro. Fonseca et al. (2009b) e Tavares et al. (2008) argumentam que o 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 no manejo de irrigação.

As principais vantagens desses métodos são a significativa redução no tempo de secagem e possibilidade de ser empregado diretamente no campo. Dessa maneira, o presente trabalho objetiva comparar os resultados de umidade do solo obtidos pelos diferentes métodos expeditos para determinação do conteúdo de água no solo em diferentes classes texturais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Agrícola do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Foram coletadas amostras de três solos (S1, S2 e S3) de regiões geográficas distintas, na camada de 0-0,2 m, sendo o solo S1 classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta, localizado no município de Santiago (RS); o solo S2 classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico, pertencente à unidade de mapeamento São Borja, localizado em Bossoroca (RS); e o solo S3 classificado como Argissolo Vermelho Ditrófico arênico, unidade de mapeamento São Pedro, do município de Alegrete (RS). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, conforme procedimento descrito em Embrapa (1997), a fim de classificar texturalmente os solos estudados.

Para determinar a umidade dos solos conduziram-se os experimentos utilizando estufa com circulação de ar (método padrão, M0) marca CENCO e termostato digital TIC-17RGTi. Para o método do forno elétrico (M1) utilizou-se um forno elétrico com 9 litros de capacidade, marca Home Life, modelo HLF 600, de 600 W. No método do forno de micro-ondas (M2) utilizou-se um forno micro-ondas comercial da marca Philco, modelo PMS35N, 31 litros de capacidade e 900 W.

Os três métodos (M0, M1, M2) foram testados com amostras de três solos (S1, S2, S3) e três repetições para cada, totalizando nove amostras para cada método e 27 no total para cada percentual de umidade. Separou-se 50 gramas de cada solo seco em estufa, na sequência acrescentou-se água destilada para valores de umidade gravimétrica de 5, 10, 15, 20 e 25%, deixando em repouso durante 24 horas. No dia seguinte mediu-se a massa úmida de cada amostra e determinou-se a umidade do solo pelos três métodos propostos neste estudo.

No método padrão de estufa as amostras foram secas durante 24 horas em estufa a 105-110°C e sua massa medida após o resfriamento, conforme Embrapa (1997). No método do forno elétrico, este foi preaquecido durante cinco minutos e as amostras tiveram suas massas medidas aos 20, 25 e 30 minutos de secagem. No método do forno de micro-ondas foi utilizada a potência máxima (100%) do aparelho, sendo que as amostras tiveram suas massas medidas aos 5, 10, 15 e 20 minutos de secagem. A equação (1) foi utilizada na obtenção do conteúdo gravimétrico de água no solo (U_g , em % de massa seca), sendo M_u a massa úmida da amostra (g) e M_s a massa seca da amostra (g) (KLEIN, 2008).

$$U_g = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Para a análise dos dados foi feita a regressão linear entre os métodos alternativos e o método padrão de estufa utilizando o software TableCurve 2D, obtendo os respectivos coeficientes linear e angular, o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância de Willmott (I_w). Após a obtenção dos valores dos coeficientes da regressão linear foi feito o teste t de Student, ao nível de confiança de 95%.

O coeficiente de correlação permitiu quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise (SCHNEIDER, 1998), estimado pela equação (2).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2][\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]}} \quad (2)$$

Sendo E_i os valores obtidos pelo método alternativo, O_i os valores obtidos pelo método padrão, \bar{E} a média dos valores obtidos pelo método alternativo e \bar{O} a média dos valores obtidos pelo método padrão.

O índice de concordância forneceu o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas, (WILLMOTT, 1981) e foi calculado pela equação (3).

$$I_w = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{E}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (3)$$

A avaliação do desempenho das fórmulas utilizadas foi feita pelo índice de desempenho (I_d), proposto por Camargo & Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do coeficiente de correlação pelo índice de concordância. O critério de interpretação do índice de desempenho e das respectivas classes de desempenho conforme os autores pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho.

Critério de interpretação do índice de desempenho				Classes de Desempenho	
0,85	<	Id			Ótimo
0,76	<	Id	≤	0,85	Muito Bom
0,66	<	Id	≤	0,76	Bom
0,61	<	Id	≤	0,66	Mediano
0,51	<	Id	≤	0,61	Ruim
0,41	<	Id	≤	0,51	Muito Ruim
		Id	≤	0,41	Péssimo

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na análise granulométrica indicam que o solo S1 contém 45,4% de areias e 35,9% de argila, pertencendo à classe textural argilo arenoso. O solo S2 6,2% e 63,6%, respectivamente, sendo classificado como muito argiloso. Já o solo S3 apresentou 70,3% de areias e 27,3% de argila, classe textural franco argilo arenoso. Conforme os resultados encontrados pode-se perceber que são solos com classes texturais distintas,

justificando o comportamento diferenciado frente a propriedades físicas como a capacidade de retenção de água. Segundo Michelin et al. (2007), os solos de áreas irrigadas da região das missões e do planalto do estado do Rio Grande do Sul apresentam teores médios de argila na faixa de 400 a 500 g.Kg⁻¹ na camada superficial.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios de umidade gravimétrica (%), obtidos na aplicação do método padrão de estufa, do método do forno elétrico e do método do forno de micro-ondas. Percebe-se que os valores de umidade obtidos quando se utilizou o forno de micro-ondas se aproximaram mais dos valores encontrados pelo método padrão. Quanto ao forno elétrico, este removeu mais umidade do solo do que a estufa.

O comportamento da umidade não diferiu em função das classes texturais, como pode ser visto na Tabela 2. Oliveira (1979) chegou a conclusão semelhante, de que o processo final da secagem não variou muito com a textura, mas sim com o conteúdo de água e o peso da amostra.

Para ambos os gráficos apresentados na Figura 1 foi ajustada uma equação linear relacionando o método padrão, como variável dependente, em relação aos outros métodos. As equações apresentaram coeficientes de determinação iguais a 0,981 e 0,968 para o solo S1, quando comparados o método padrão com o método do forno elétrico e com o método do forno de micro-ondas, respectivamente, usando os tempos testados reunidos. Da mesma forma, apresentaram coeficientes de determinação iguais a 0,978 e 0,975 para o solo S2 e iguais a 0,990 e 0,913 para o solo S3, indicando haver um bom ajustamento dos valores de umidade na comparação entre os métodos.

Analizando as equações encontradas, em ambas as comparações (M0 x M1 e M0 x M2), pode-se afirmar que os valores de coeficiente angular foram não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro, podendo assumi-los como sendo iguais a 1 (um). Resultado este percebido tanto quando se avalia todos os solos reunidos em todos os tempos, assim como, quando se avalia cada solo em cada tempo estudado.

Pode-se afirmar que o método do forno elétrico e o método do forno de micro-ondas são métodos confiáveis para a determinação da umidade do solo, visto que não diferiram estatisticamente do método padrão de estufa, de forma que existe a possibilidade de usar o forno elétrico e o forno de micro-ondas comercial para determinar a umidade do solo em substituição ao método padrão.

Conclusões semelhantes foram apresentadas por Fonseca et al. (2009a) e Oliveira et al. (2008), ao comparar o método padrão de estufa com o método do forno elétrico para amostras de solo argiloso e arenoso, não diferindo estatisticamente. Em relação aos tempos testados para o forno elétrico, pode-se verificar que o tempo de 20 minutos é eficiente na determinação da umidade para os solos estudados, significando redução do tempo de secagem das amostras e, conseqüentemente, redução no consumo de energia. Além disso, é um método com grande potencial de utilização pelos produtores e técnicos para se medir a umidade do solo, visto que é simples, rápido, e de baixo custo de aquisição.

Resultados similares na comparação entre o método padrão e o método do forno de micro-ondas foram observados por Fonseca et al. (2009b). Estudando dois solos, um de textura arenosa e outro argilosa, os autores evidenciaram que o método testado para a determinação de umidade do solo não diferiu estatisticamente do método padrão de estufa. Oliveira (1979) testou a aplicabilidade de um forno de micro-ondas comercial para determinação de umidade através da secagem de amostras de solo, e os resultados mostraram que as umidades obtidas da secagem por micro-ondas não foram muito diferentes daqueles obtidos através do método gravimétrico.

Tabela 2. Valores médios de umidade gravimétrica (%), e respectivo desvio padrão, obtidos com o método padrão (M0), com o método do forno elétrico (M1) e com o método do forno de micro-ondas (M2) nos tempos de secagem testados, para os diferentes percentuais de umidade gravimétrica estabelecidos.

	M0	M1 20min	M1 25min	M1 30min	M2 5min	M2 10min	M2 15min	M2 20min
5%								
S1	4,92	5,76	5,98	5,84	4,66	4,87	4,87	4,87
D. padrão	0,14	0,62	0,59	0,61	0,24	0,24	0,12	0,12
S2	5,01	6,51	6,51	6,44	4,67	5,37	5,37	5,44
D. padrão	0,40	0,20	0,20	0,32	0,43	0,11	0,24	0,21
S3	4,81	5,71	5,85	5,92	4,46	4,67	4,60	4,67
D. padrão	0,41	0,45	0,55	0,26	0,11	0,11	0,20	0,24
10%								
S1	9,50	11,27	11,34	11,34	9,38	9,52	9,59	9,81
D. padrão	0,33	0,66	0,57	0,57	0,22	0,17	0,26	0,05
S2	9,79	12,56	12,41	12,33	9,74	10,11	10,25	10,18
D. padrão	0,20	0,40	0,27	0,19	0,19	0,49	0,38	0,39
S3	9,80	10,51	10,66	10,74	8,31	9,39	9,46	9,61
D. padrão	0,35	0,36	0,24	0,18	0,76	0,20	0,10	0,20
15%								
S1	14,78	15,59	15,51	15,51	13,45	14,35	14,43	14,50
D. padrão	0,32	0,29	0,41	0,41	0,28	0,19	0,30	0,21
S2	14,30	15,37	15,52	15,60	13,60	13,98	14,29	14,36
D. padrão	0,21	0,62	0,35	0,43	0,77	0,90	0,82	0,85
S3	14,63	15,00	15,07	15,00	11,39	13,92	14,22	14,30
D. padrão	0,19	0,16	0,30	0,38	0,31	0,17	0,27	0,09
20%								
S1	19,95	20,80	20,71	20,71	16,79	19,51	19,59	19,75
D. padrão	0,17	0,53	0,33	0,33	1,04	0,32	0,24	0,17
S2	19,68	19,79	20,51	20,51	18,28	19,85	20,01	20,09
D. padrão	0,33	1,04	0,59	0,59	0,48	0,39	0,26	0,29
S3	19,60	20,26	20,58	20,58	14,27	19,61	19,77	19,85
D. padrão	0,14	0,27	0,20	0,20	1,54	0,37	0,36	0,50
25%								
S1	24,24	23,51	24,01	24,01	18,70	22,10	22,18	22,26
D. padrão	1,44	0,83	0,51	0,58	2,18	1,87	1,89	1,91
S2	21,75	22,80	23,54	23,70	21,30	23,88	23,88	24,13
D. padrão	0,55	1,53	1,22	1,20	1,44	1,10	1,10	1,10
S3	22,67	23,20	23,45	23,28	17,22	23,63	23,80	23,80
D. padrão	0,20	1,72	1,87	1,74	2,00	2,06	1,95	1,95

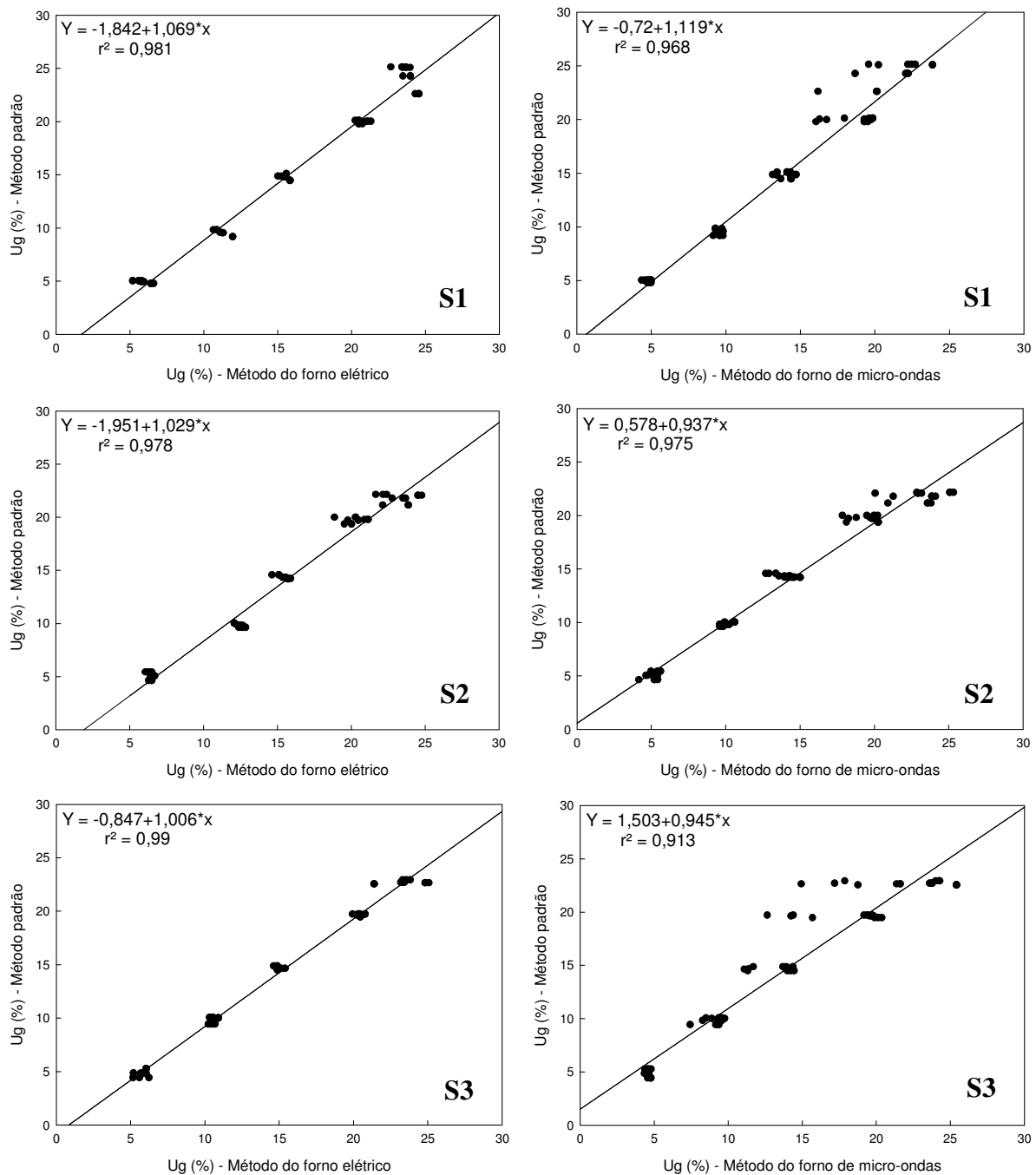


Figura 1. Comparação entre os valores de umidade gravimétrica (Ug) obtidos através do método da estufa, com o método do forno elétrico e com o método do forno de micro-ondas, para os tempos testados reunidos em todos os percentuais de umidade do S1, S2, S3, respectivamente.

Com relação aos tempos testados (5, 10, 15 e 20 minutos) para o forno de micro-ondas, pode-se verificar que o tempo de 5 minutos é eficiente na determinação da umidade para os solos estudados. Carmo et al. (2012) também concluiu que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos de 5, 10 e 15 minutos no forno de micro-ondas e a estufa a 110°C. Portanto, o método do forno micro-ondas, com a utilização de equipamentos

simples e acessíveis aos produtores, tem efeito na rapidez de fornecimento de resultados e na redução do consumo de energia, além de ter efeito no incremento de produtividade laboratorial, pois é um método de fácil execução.

Vinholis et al. (2008), avaliando o potencial econômico, social e ambiental do micro-ondas doméstico para determinação do teor de água em solos e plantas, concluiu que o uso de micro-ondas 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. Ainda segundo este autor, o destaque da tecnologia adotada teve seu maior impacto no aspecto econômico, pois tem efeito direto no custo da análise, em função da redução de gastos com energia, aumento do rendimento das análises e otimização da mão de obra qualificada.

Como pode ser observado na Tabela 3 os desempenhos de ambos os métodos foram classificados como ótimos, o coeficiente de correlação para todas as combinações se mostrou próximo a 1 (um), indicando boa associação entre as variáveis envolvidas na análise. Em relação ao índice de concordância, que fornece o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas, pode-se observar que a concordância é quase perfeita, com valores próximos a 1 (um). Através destes resultados pode-se afirmar que a metodologia aplicada apresentou resultados consistentes para os dados avaliados de umidade gravimétrica, podendo ser esta uma alternativa para estimativa da umidade referente ao método padrão de estufa.

Tabela 3. Valores do coeficiente de correlação (r), índice de concordância (Iw), índice de desempenho (Id) e classe de desempenho para os métodos estudados.

Tratamentos*	r	Iw	Id	Classe de Desempenho
M1 S1 Tt	0,990	0,991	0,981	Ótimo
M1 S2 Tt	0,989	0,994	0,983	Ótimo
M1 S3 Tt	0,995	0,994	0,989	Ótimo
M2 S1 Tt	0,984	0,987	0,971	Ótimo
M2 S2 Tt	0,987	0,988	0,975	Ótimo
M2 S3 Tt	0,956	0,977	0,934	Ótimo

* M1S1Tt= método do forno elétrico com todos os tempos reunidos para o S1; M1S2Tt= método do forno elétrico com todos os tempos reunidos para o S2; M1S3Tt= método do forno elétrico com todos os tempos reunidos para o S3; M2S1Tt= método do forno de micro-ondas com todos os tempos reunidos para o S1; M2S2Tt= método do forno de micro-ondas com todos os tempos reunidos para o S2; M2S3Tt= método do forno de micro-ondas com todos os tempos reunidos para o S3.

6 CONCLUSÕES

Segundo a metodologia utilizada neste estudo e os resultados obtidos, foi possível concluir que o método do forno elétrico e o método do forno de micro-ondas apresentaram desempenho ótimo quando comparados ao método padrão de estufa. Também concluiu-se que o tempo de 20 minutos para o método do forno elétrico foi eficiente, significando redução no tempo para determinação da umidade, conseqüentemente redução nos gastos. Para o método do forno de micro-ondas o tempo de 5 minutos de secagem foi suficiente, não diferindo

estatisticamente do método padrão. Aliado à redução no tempo de resposta, ainda pode-se reforçar a facilidade de execução deste método.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, p.89-97, 1997.
- CARMO, F. F. et al. Determinação da umidade de um solo franco-siltoso usando forno de microondas. In: INOVAGRI International Meeting & IV WINOTEC Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 2012, Fortaleza, CE. **Anais...Fortaleza: INOVAGRI & WINOTEC**, 2012.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.: (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).
- FONSECA, S. O. et al. Avaliação do método do forno elétrico para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa. IN: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009a. **Anais eletrônicos...** [S.l.], 2009. Disponível em: < http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0213_0309_01.pdf >. Acesso em: 10 set. 2012.
- FONSECA, S. O. et al. Avaliação do método do forno microondas para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009b. **Anais eletrônicos...** [S.l.], 2009. Disponível em: < http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0213_0306_01.pdf > . Acesso em: 10 set. 2012.
- KAISER, D. R. et al. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n.3, p. 649-658, mai./jun. 2010.
- KLEIN, V. A. **Física do Solo** – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.
- MICHELON, C. J. et al. Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.5, p. 1308-1315, set./out. 2007.
- OLIVEIRA, G. R. de. **Determinação da umidade do solo por radiações de microondas**. 1979. 52f. Tese (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1979.
- OLIVEIRA, R. A. de. et al. Determinação da umidade do solo com uso de forno elétrico e balança digital. In: UFV / VIII SIMPOS, 2008, Viçosa, MG, **Anais...Viçosa**, 2008.

PARIZI, A. R. C. et al. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254-267, jul./set. 2009.

SANTOS, R. M. et al. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de umidade de solo. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1162-1169, nov./dez. 2006.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236p.

SOARES, F. C. et al. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 36-50, jan./mar. 2010.

SOUZA, G. B. et al. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico**. São Carlos: EMBRAPA-CPPSE. Circular Técnica nº 33, Dezembro, 2002.

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.

WILLMOTT, C. J.: On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n. 2, p.184-194, 1981.