

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

GUSTAVO ARAÚJO DEMOCH

**UTILIZAÇÃO DO FORNO DE MICROONDAS NA DETERMINAÇÃO DO TEOR
DE ÁGUA EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS**

**Uberlândia – MG
Junho– 2010**

GUSTAVO ARAÚJO DEMOCH

**UTILIZAÇÃO DO FORNO DE MICROONDAS NA DETERMINAÇÃO DO TEOR
DE ÁGUA EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Cláudio Ricardo da Silva

**Uberlândia – MG
Junho – 2010**

GUSTAVO ARAÚJO DEMOCH

**UTILIZAÇÃO DO FORNO DE MICROONDAS NA DETERMINAÇÃO DO TEOR
DE ÁGUA EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 09 de junho de 2010

Prof. Dr. Reginaldo de Camargo
Membro da Banca

Eng. Agro. Ivaniele Nahas Duarte
Membro da Banca

Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva
Orientador

RESUMO

O conhecimento da umidade do solo é de fundamental importância na área agrônômica, pois sua determinação é a base para um correto manejo e arranjo de uma área de produção para que os tratos culturais e fitossanitários sejam bem conduzidos. Para a determinação da umidade do solo, utiliza-se principalmente a estufa, equipamento utilizado ao longo de anos e que garante resultados precisos. Porém, este método, demanda de um tempo de secagem que varia de 24 até 72 horas. Devido a esse período de secagem a estufa não garante eficiência quando se pretende rapidez em se conhecer a umidade. Para uma maior eficiência quanto ao tempo propôs-se o uso do forno microondas na determinação do teor de água do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar e conhecer a utilização do forno microondas na precisão das medidas de umidade, levando-se em conta diversos parâmetros, como; tipo de solo (granulometria), massa da amostra, teor inicial de água e a marca do forno. O experimento foi conduzido no laboratório de Irrigação e Climatologia Agrícola do Instituto de Ciências Agrárias, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia. Foram utilizadas amostras de quatro solos de classes diferentes para a análise de umidade, Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolo Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distrófico, Nitossolo Vermelho eutroférico. Os solos utilizados no experimento passaram por análises químicas e físicas para a determinação de seus atributos. Para os solos utilizados no experimento, foram utilizados dois valores de umidade para cada, a 100% da capacidade de campo e a 50% da capacidade de campo. O experimento foi realizado, variando a umidade de cada solo (100% CC e 50% CC), as massas de cada solo, (20g, 50g, 100g), e o tempo (120s, 240s, 360s), sendo realizada três repetições para os solos em cada umidade, no microondas e na estufa. O tempo de secagem estabelecido não foi o suficiente para a estabilização das massas dos solos, restando ainda quantidade de água a ser extraída da amostra, verificando-se que a utilização do forno microondas para determinação da umidade não se demonstrou eficiente.

Palavras chave: Solo, secagem, estufa, massas, umidade.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	05
2 REVISAO DE LITERATURA.....	07
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
5 CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da umidade do solo é de fundamental importância, pois indica em que condições hídricas encontram-se o mesmo. A determinação da umidade do solo é fundamental para o correto manejo e arranjo de uma área de produção para que os tratamentos culturais e fitossanitários sejam bem conduzidos.

O fornecimento de dados relacionados ao teor de água no solo deve ser rápido e confiável, pois a partir dessas informações algumas ações são tomadas, como por exemplo, essa informação é importante para a verificação da necessidade de se dar continuidade à adição de água de irrigação em determinada cultura.

Para a realização da irrigação, a umidade do solo deve ser determinada anteriormente e servirá de parâmetro para a quantidade de água a ser aplicada pelo sistema. A estufa é um método eficiente e é utilizada ao longo de anos, porém, demanda um tempo de secagem que varia de 24 até 72 horas. Devido a esse período de secagem a estufa não garante eficiência quando se pretende rapidez em se conhecer a umidade. Assim com o intuito de melhorar a eficiência desse processo de secagem, diferentes alternativas ao emprego da estufa têm sido propostas, sendo uma delas a aplicação de microondas.

Miller et al. (1974) propuseram o uso do forno de microondas comercial, o que diminuiu sobremaneira o tempo de secagem, o qual é função do número de amostras, do tamanho e potência do forno, do teor de umidade inicial, da massa da amostra e do tipo de solo. O uso do microondas implica ainda em redução de custo em relação ao método convencional (estufa), diminuindo também o impacto ambiental.

O processo de secagem do solo através do emprego da radiação eletromagnética baseia-se no fato das moléculas de água ser dipolos elétricos naturais, os quais sofrem rotação quando expostos a um campo eletromagnético. Aguilar (2001) citou que o atrito molecular resultante gera calor instantâneo e uniformemente na amostra de solo, reduzindo a umidade. Guimarães (1998) citou que materiais ferromagnéticos na presença de campos elétricos externos, tais como o campo magnético de uma onda eletromagnética do tipo microonda, é determinado pela origem de seus dipolos magnéticos e pela natureza da interação entre eles. Assim, solos com altos teores de Fe apresentam comportamentos peculiares, quando submetidos à radiação eletromagnética.

Tal método busca melhorias em outros aspectos também como redução no impacto social, impacto ambiental, apresentando uma considerável redução nos custos para a mesma determinação antes com a estufa e depois com o forno microondas.

Diante do exposto, este trabalho objetiva conhecer e avaliar a utilização do forno na precisão das medidas de umidade, levando-se em conta diversos parâmetros como; tipo de solo (granulometria), massa da amostra e teor de água inicial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O solo funciona como suporte físico e reservatório de água para as plantas, além de, na maioria dos casos, ser o fornecedor dos principais nutrientes necessários à produção. O conhecimento do conteúdo de água no solo é fundamental nas práticas de irrigação e na quantificação da dinâmica de água e solutos no solo (ANDRADE et al., 1998). Para se compreender a grandeza dos volumes ocupados no solo pelas suas frações, pode-se tomar como base que uma parte do volume do solo é ocupada pelos sólidos e a outra é preenchida pela água e pelos gases. Num solo, os teores de umidade presentes podem variar significativamente num curto período de tempo, consistindo em grande importância no setor agrônomo. Para se determinar a composição física do solo é necessário que se obtenha os teores tanto de massa como de volume, dos componentes nele contidos. Para a caracterização da composição física de um solo é necessário que se obtenha amostras indeformadas ou deformadas (LIER, 2007).

Amostras que são obtidas sem a deformação do torrão apresentam as mesmas condições de volume ocupado no campo, sendo os valores obtidos mais significativos e reais. Para efetuar a coleta das amostras de solo, usualmente feita através de anéis volumétricos deve-se atentar para a não deformação da amostra, pois em tais amostras indeformadas pode-se determinar grande parte da composição física de um solo.

Amostras deformadas apresentam o arranjo dos sólidos alterado, sendo, mais fáceis e rápidas de serem obtidas, sendo retiradas com auxílio de instrumentos mecânicos como, por exemplo, o trado. Tais amostras não representam a real condição que a amostra ocupa no campo sendo alguns parâmetros físicos densimétricos e volumétricos impossíveis de serem obtidos através destas amostras (LIER, 2007).

A massa total de uma amostra de solo (m , kg) é dada pela massa dos seus componentes: massa dos sólidos (ms , kg), massa da água (ma , kg) e massa do ar (mar , kg). A densidade do ar por apresentar um valor muito pequeno (cerca de 1000 vezes menor que a da água) tem sua massa desprezada. A massa m de uma amostra é obtida em laboratório através da pesagem da mesma. Para se obter a massa dos sólidos, retira-se a água da amostra, colocando-a usualmente, numa estufa entre 105 °C e 110 °C, até a sua massa não diminuir mais.

A diferença entre m (massa total de uma amostra de solo) e ms (massa dos sólidos) é a massa da água (ma). A umidade gravimétrica de uma amostra de solo é a relação entre a massa da água e a dos sólidos nela contidos, já a umidade volumétrica, é a relação entre o volume de água numa amostra do solo, e o volume total da amostra. A umidade a base de

peso u (gravimétrica) é a mais fácil de ser medida, pois ela envolve apenas medidas de peso, e a estrutura do solo pode ser destruída. Por isso, qualquer instrumento pode ser utilizado para retirar a amostra de solo, que deve ter, no mínimo, uma massa entre 10 a 100 g de solo (Lier, 2007). Quando coletada a amostra, a perda de água por evaporação pode ser um problema, pois estaria comprometendo os resultados reais da medição, assim utilizam-se recipientes preferencialmente opacos e que apresentem estrutura de fechamento justa que ainda possibilite vedação.

No laboratório toma-se a massa de solo úmido (mu) pesa-se, e, em seguida, coloca-se em estufa a 105-110C° até peso constante. Depois, toma-se a massa de solo seco (ms), assim por diferença de peso entre as duas amostras, se tem a quantidade de água neste solo. A secagem em estufa ou microondas remove a água retida entre as partículas do solo mas não remove a água estrutural, presa na matriz das argilas Andrade et al., 1998). Existem outros métodos de determinação de umidade do solo, alguns obsoletos, outros estão em desenvolvimento e ainda não estão prontos para serem utilizados de forma prática na pesquisa ou manejo da irrigação. Andrade et al., 1998 listaram alguns desses métodos: (i) Sonda de raio gama, apresenta risco de radiação e está cada vez mais em desuso; (ii) Sensores(blocos) baseados na resistência elétrica, capacitância e dissipação de calor são empregados para estimativa do potencial da água no solo; (iii) Ressonância nuclear magnética, fibra ótica e métodos geofísicos como radar, microondas e ultra-som, ainda não são práticos ou não apresentam custos baixos o suficiente para serem empregados em determinações repetitivas, mesmo em pesquisa.

O forno microondas consegue extrair a umidade de amostras de solo por promover um aquecimento que parte do interior para fora da amostra. Souza et al., 2002 relataram que o aumento considerável na temperatura da amostra em um curto espaço de tempo se deve principalmente a dois mecanismos: rotação de dipolos e migração iônica. A rotação de dipolos refere-se ao efeito que o campo elétrico oscilante das microondas causa às moléculas da amostra que possuem momento dipolar induzido ou permanente. Quando um campo é aplicado, as moléculas que possuem momento de dipolo elétrico tendem a se alinhar com o campo, assim, quando o campo que provocou a orientação dos dipolos moleculares é removido ocorre relaxação dielétrica, ou seja, as moléculas tendem a voltar ao seu estado anterior. Esta oscilação provoca intensa fricção intermolecular, resultando na geração de calor (SOUZA et al., 2002).

Já a migração iônica consiste no movimento eletroforético dos íons de um lugar para o outro no interior da amostra causado pelas interações entre as espécies iônicas e o campo magnético oscilante das microondas, assim, o deslocamento dos íons produz fluxo de

corrente, cujo movimento sofre resistência causada por outras espécies com fluxo oposto, resultando em aumento da temperatura no meio (KRUG, 2000).

A utilização do forno microondas se justifica por diversos fatores, dentre eles, redução do impacto ambiental, redução de custos, maior eficiência quanto ao tempo de secagem. De acordo com Souza et al. (2002) e Santos et al. (2004), o fornecimento de dados relacionados ao teor de matéria seca ou de umidade deve ser rápido e confiável, pois a partir dessas informações algumas ações são tomadas, como exemplo, essa informação é importante para verificar se há ou não necessidade de dar continuidade à adição de água de irrigação em determinada cultura.

Vinholis et al. (2008) constataram que com a utilização do forno microondas, o custo total médio da análise foi reduzido em 61%, passando de R\$ 7,72/amostra no método com estufa de secagem para R\$ 3,00/amostra no microondas doméstico. O aumento do rendimento e a alteração do equipamento utilizado (de estufa de secagem para microondas doméstico) permitiram que o custo de energia, manutenção e calibração de equipamento que representava 6% do custo total no método convencional ficasse em 1% no método alternativo.

Gee e Dodson (1981) complementaram a utilização do forno microondas com o estabelecimento de uma rotina laboratorial. Entretanto, Gardner et al., 1991 e Gardner et al., 2001 comentam dois problemas neste método: a) que o tempo de secagem aumenta com o teor de umidade inicial, exigindo uma calibração prévia e b) se uma amostra seca é deixada no microondas, caso a sua temperatura ultrapasse (105°C), o peso da amostra irá variar, interferindo no processo, ao invés da evaporação da água.

Ainda são escassos os trabalhos utilizando o forno microondas, mas em sua maioria relatam bons resultados (MILLER et al., 1974; GEE; DODSON, 1981; ZEIN, 2002; TAVARES et al., 2008). Entretanto, a utilização do forno microondas não é uma rotina comum nos laboratórios de física do solo no Brasil. Tomé e Dechen (1995) mostraram que a irradiação por microondas pode acarretar mudanças nos resultados de análises químicas e mineralógicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Irrigação e Climatologia Agrícola do Instituto de Ciências Agrárias, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia. Foi utilizado um microondas da marca Brastemp com frequência de 2.450 MHz e tensão de alimentação 220 volts (60Hz), e estufa de secagem e esterilização modelo 320.SE de circulação mecânica com tensão de alimentação de 220 volts. Os solos utilizados foram classificados (Tabela 1), e depois passaram por análises físicas e químicas para determinação de seus atributos (Tabela 2).

Tabela 1. Classificação e procedência dos solos estudados. UFU, Uberlândia, 2010.

SOLO	CLASSIFICAÇÃO	PROCEDÊNCIA
1	Neossolo Quartzarênico órtico	Santa Vitória
2	Latossolo Amarelo distrófico	Faz. Glória, Uberlândia
3	Latossolo Vermelho distrófico	Faz. Glória, Uberlândia
4	Nitossolo Vermelho eutroférico	Miranda, Uberlândia

Tabela 2. Principais atributos dos solos. UFU, Uberlândia, 2010.

Atributo	Neossolo	Nitossolo	Lat. Vermelho	Lat. Amarelo
Argila	25,1 %	56,3 %	44,9%	61,2%
Areia	74,4 %	14,1 %	50,9%	15,6%
Textura	Média	Argilosa	Argilosa	Muito argilosa
Densidade do solo	1,63 g.cm ⁻³	0,91 g.cm ⁻³	1,42 g.cm ⁻³	1,18 g.cm ⁻³
Microporosidade	17,75 %	35,27 %	37,18%	44,20%
Porosidade Total	38,02%	62,71%	41,97%	48,96%
pH (H ₂ O)	4,6	6,7	6,4	6,1
M.O.	0,8 dag.kg ⁻¹	0,8 dag.kg ⁻¹	dag.kg ⁻¹	dag.kg ⁻¹
Al ³⁺	0,4 cmolc.dm ⁻³	0,0 cmolc.dm ⁻³	0,0 cmolc.dm ⁻³	0,0 cmolc.dm ⁻³
H + Al	2,7 cmolc.dm ⁻³	2,5 cmolc.dm ⁻³	2,3 cmolc.dm ⁻³	2,5 cmolc.dm ⁻³
Cu	0,4 mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³
Fe	52 mg.dm ⁻³	34 mg.dm ⁻³	26 mg.dm ⁻³	24 mg.dm ⁻³
Mn	2,4 mg.dm ⁻³	136,1 mg.dm ⁻³	6,8 mg.dm ⁻³	3,5 mg.dm ⁻³

Para se alcançar a umidade aproximada na capacidade de campo e de forma indireta, foram realizadas análises de porosidade e densidade do solo. Considerou-se a umidade na capacidade campo como sendo 100% dos microporos ocupados por água, e para cálculo de

volume de água a ser adicionado no solo, utilizou-se a densidade e a porcentagem de microporos.

As amostras de solo foram retiradas no campo, na profundidade de 0 a 20 cm, secas ao ar, destorroadas e peneiradas com peneira de 2,00 mm de abertura, sendo em seguida levadas a estufa por 48 horas para secagem completa. Foram depois molhadas (pulverizado) com água e homogeneizadas, até 50 ou 100% da capacidade de campo.

As amostras de solo úmidas foram homogeneizadas e posteriormente colocadas em bandejas hermeticamente fechadas, e deixadas em repouso por um período de no mínimo 12 horas para facilitar o processo de cura. Cada amostra de solo foi dividida em duas partes sendo uma para a determinação da umidade do solo com forno convencional e outra para o forno microondas.

A determinação do teor médio de umidade por microondas foi efetuada com nível de potência máxima, com as amostras de solo acondicionadas em cadinhos de porcelana. Para avaliar o efeito da massa da amostra, foram empregados os seguintes valores de massa: 20, 50 e 100 g, em três repetições cada.

Uma parte das amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana para a determinação do teor médio de água em estufa a 105° C por 24 horas com 20, 50 e 100 g, em três repetições cada.

As repetições de cada massa, no forno microondas, foram distribuídas de maneira radial em seu interior e inicialmente foram submetidas a um tempo de 120 segundos no forno de microondas. Em seguida, os cadinhos foram retirados, aguardando-se o resfriamento em dessecador e foram feitas as pesagens em balança eletrônica com precisão de 0,01g. Este procedimento foi repetido de 120 em 120 segundos, até o máximo de 360 segundos acumulados equivalentes a três séries de 120 segundos. O tempo de secagem foi definido tendo como base o trabalho de Tavares et al. (2008).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x3x3x2, sendo 4 tipos de solo, 3 massas iniciais, 3 tempos de secagem e 2 umidades iniciais com os respectivos graus de liberdade: 3, 2, 2 e 1. Os valores médios de umidade foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Os valores médios de umidade, determinados através do uso do forno de microondas, também foram empregados para ajustar as equações de regressão, relacionando o tempo de secagem com a umidade gravimétrica. As análises de regressão foram realizadas com o intervalo de confiança igual a 95%, escolhendo-se a equação de melhor ajuste de acordo com o maior coeficiente de determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se notar que o tempo de secagem teve interferência na determinação do teor de água do solo, pois com a variação do tempo houve também a variação da umidade da amostra. Para a massa de 20 g e umidade inicial de 100% da capacidade de campo (Tabela 3) o tempo de secagem máximo foi insuficiente para determinação da umidade dos solos, e ainda, que o Neossolo apresentou o valor mais próximo do encontrado pelo método da estufa, provavelmente pela sua textura e por reter menos água, o que facilita a perda de água por menor umidade inicial comparado aos outros solos. Os Latossolos apresentaram as maiores diferenças de umidade em relação a umidade encontrada no método padrão (estufa), isso pode ser devido a textura mais argilosa presente nos solos que junto a matéria orgânica apresenta maior resistência a perda de água.

Tabela 3. Valores de umidade gravimétrica (%) obtidos através do forno de microondas para a massa de 20 g, nos três tempos empregados com umidade inicial de 100% da capacidade de campo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	120 s	240 s	360 s	Estufa	F
Neossolo	1,97 b	3,54 b	5,38 ab	8,29 a	7,94
Nitossolo	14,00 d	21,67 c	28,33 b	35,77 a	514,52
Lat. Vermelho	6,73 c	11,06 bc	16,49 b	24,90 a	25,66
Lat. Amarelo	7,33 c	11,67 bc	16,33 b	34,74 a	34,89

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A Tabela 4 apresenta a umidade encontrada nos solos para a massa de 50 gramas e umidade inicial de 100% da capacidade de campo. Nota-se que o Neossolo e o Nitossolo obtiveram valores de umidade no tempo de 360 segundos, bastante próximo aos encontrados através da estufa convencional. Diferentemente, os Latossolos Amarelo e Vermelho com o tempo máximo de secagem obtiveram valores ainda distantes dos encontrados na estufa convencional.

Tabela 4. Valores de umidade gravimétrica (%) obtidos através do forno de microondas para a massa de 50 g, nos três tempos empregados com umidade inicial de 100% da capacidade de campo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	120 s	240 s	360 s	Estufa	F
Neossolo	4,50 a	6,88 a	7,25 a	8,29 a	13,44
Nitossolo	20,33 b	30,67 a	33,00 a	35,77 a	19,85
Lat. Vermelho	9,22 c	13,00 bc	15,25 b	24,90 a	37,60
Lat. Amarelo	12,33 c	20,00 bc	26,67 ab	34,74 a	18,15

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A Tabela 5 apresenta a umidade encontrada nos solos para a massa de 100 g e umidade inicial de 100% da capacidade de campo. Nota-se que com a massa de inicial de 100 g, o Neossolo e o Nitossolo apresentaram valores muito semelhantes aos obtidos pela estufa. Os Latossolos apresentaram umidade ainda distante, no entanto obtiveram menor diferença em relação a umidade padrão comparado com as demais massas iniciais.

Tabela 5. Valores de umidade gravimétrica (%) obtidos através do forno de microondas para a massa de 100 g, nos três tempos empregados com umidade inicial de 100% da capacidade de campo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	120 s	240 s	360 s	Estufa	F
Neossolo	5,47 b	7,23 ab	8,57 a	8,29 a	11,95
Nitossolo	21,00 c	29,00 b	34,00 ab	35,77 a	42,48
Lat. Vermelho	7,92 b	15,50 ab	17,90 ab	24,90 a	9,89
Lat. Amarelo	5,67 d	17,67 c	23,33 b	34,74 a	61,76

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

* CV > 20%

Pode-se notar pelas Tabelas 6, 7 e 8 que os valores médios de umidade encontrados na estufa convencional foram menores para umidade inicial de 50% comparada a de 100 % observado anteriormente (Tabelas 3, 4 e 5). Pela Tabela 6 observa-se que o Nitossolo e o Neossolo apresentaram bons resultados com a utilização do forno microondas, pois com o tempo de 360 segundos foram obtidas umidade significativamente iguais aos da estufa apesar de ainda ligeiramente distante. A umidade dos latossolos obtida pelo método microondas foi ainda diferente do encontrado na estufa, sendo o tempo máximo de secagem insuficiente para determinação da umidade.

Tabela 6. Valores de umidade gravimétrica (%) obtidos através do forno de microondas para a massa de 20 g, nos três tempos empregados com umidade inicial de 50% da capacidade de campo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	120 s	240 s	360 s	Estufa	F
Neossolo	1,67 c	2,67 bc	3,67 ab	4,39 a	20,00
Nitossolo	7,33 c	11,67 bc	14,67 ab	18,78 a	17,33
Lat. Vermelho	2,00 d	5,33 c	8,00 b	12,48 a	66,41
Lat. Amarelo	2,33 c	7,00 bc	11,67 b	18,29 a	30,03

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

O teor de água encontrado nos solos para a massa de 50 g e umidade inicial de 50% da capacidade de campo Tabela 7. O melhor resultado é apresentado pelo Nitossolo com umidade semelhante ao padrão (estufa). O Latossolo Amarelo também apresentou resultado próximo com resultado igual ao da estufa. Para o Neossolo e Latossolo Vermelho os resultados foram estatisticamente diferentes dos encontrados na estufa convencional, sendo o tempo máximo ainda pouco para determinação da umidade. O comportamento da perda de água para o Neossolo teve comportamento diferente oposto aos observados anteriormente (Tabela 4).

Tabela 7. Valores de umidade gravimétrica (%) obtidos através do forno de microondas para a massa de 50 g, nos três tempos empregados com umidade inicial de 50% da capacidade de campo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	120 s	240 s	360 s	Estufa	F
Neossolo	1,00 c	2,33 b	2,33 b	4,39 a	68,00
Nitossolo	12,67 c	15,67 bc	17,33 ab	18,78 a	16,76
Lat. Vermelho	4,33 c	6,67 bc	8,67 b	12,48 a	48,12
Lat. Amarelo	4,67 c	9,33 bc	13,33 ab	18,29 a	17,60

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Os melhores valores obtidos que mais se aproximaram dos valores encontrados na estufa convencional foram aqueles obtidos através da massa inicial de 100 g e umidade inicial de 50% da capacidade de campo (Tabela 8). Com o tempo de secagem máximo para todos os solos estudados os valores de umidade obtidos pelo microondas foram iguais ao da estufa. Pode-se notar que o Neossolo obteve resultado igual ao da estufa, porém com maior diferença, sendo que o coeficiente de variação contribuiu para que não fossem diferentes.

Tabela 8. Valores de umidade gravimétrica (%) obtidos através do forno de microondas para a massa de 100 g, nos três tempos empregados com umidade inicial de 50% da capacidade de campo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	120 s	240 s	360 s	Estufa	F
Neossolo	1,00 c	2,33 bc	2,67 ab	4,39 a	14,90
Nitossolo	12,00 b	18,00 a	19,80 a	18,78 a	17,22
Lat. Vermelho	7,33 b	10,67 a	11,67 a	12,48 a	17,54
Lat. Amarelo	9,00 c	12,67 b	16,67 a	18,29 a	58,18

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Tavares et al. (2008), diferentemente dos resultados obtidos nesse experimento, observou que o tempo de 120 segundos foi o suficiente para se conhecer o teor de água do solo para massas de 20, 40 e 60 g utilizando diferentes tipos de solo. Fonseca et al. (2009) também encontraram resultados semelhantes aos de Tavares et al. (2008) onde utilizando um solo arenoso e um solo argiloso com um tempo de secagem de 7 minutos, o forno microondas não diferiu do valor encontrado no método convencional.

Avaliando o comportamento da umidade em função do tempo de secagem e da massa da amostra para cada solo para a umidade inicial de 100% da capacidade de campo, pode-se observar o comportamento de perda de água bem como a resistência em perder água e a capacidade de reservatório de água de cada solo. Percebe-se para todos os solos (Figuras 1, 2, 3 e 4), exceto o Latossolo Amarelo, que a umidade para a massa de 20 g obteve comportamento linear tendendo a continuar a perder água e aumentar a umidade se aumentasse o tempo de secagem. As demais massas obtiveram comportamento polinomial onde ao tempo de 360 segundos começam a estabilizar a curva, mostrando que estão entrando na fase de estabilização de massa sugerindo que o tempo de secagem começa a se tornar próximo ao ideal. Podemos ver que o Neossolo e o Nitossolo obtiveram para as massas de 50 e 100 g bons resultados, mostrando eficiência na determinação da umidade pelo método do forno microondas. Para o Latossolo Vermelho e essas mesmas massas, a umidade encontrada com o tempo máximo de secagem ainda ficou distante do encontrado pelo método convencional apesar de obterem curvas polinomiais e estarem tendendo a estabilização, isso se deve provavelmente a resistência em perder água desse solo. No caso do Latossolo Amarelo, os resultados se repetem, no entanto, a massa de 20 g ainda distante da umidade em estufa obteve curva de comportamento polinomial que demonstra início de estabilização, sendo esse um fato ainda não compreendido.

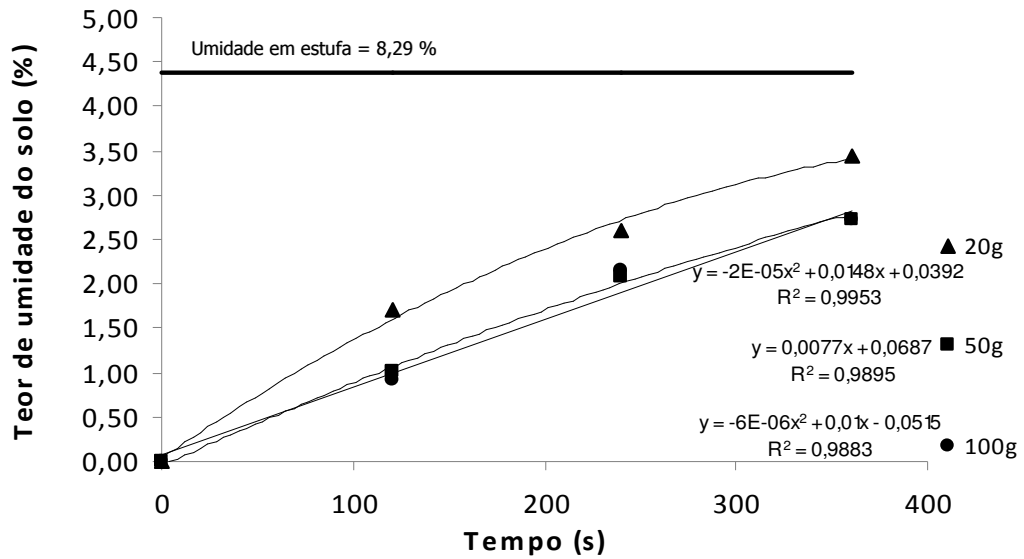


Figura 1 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Neossolo com umidade inicial de 100% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

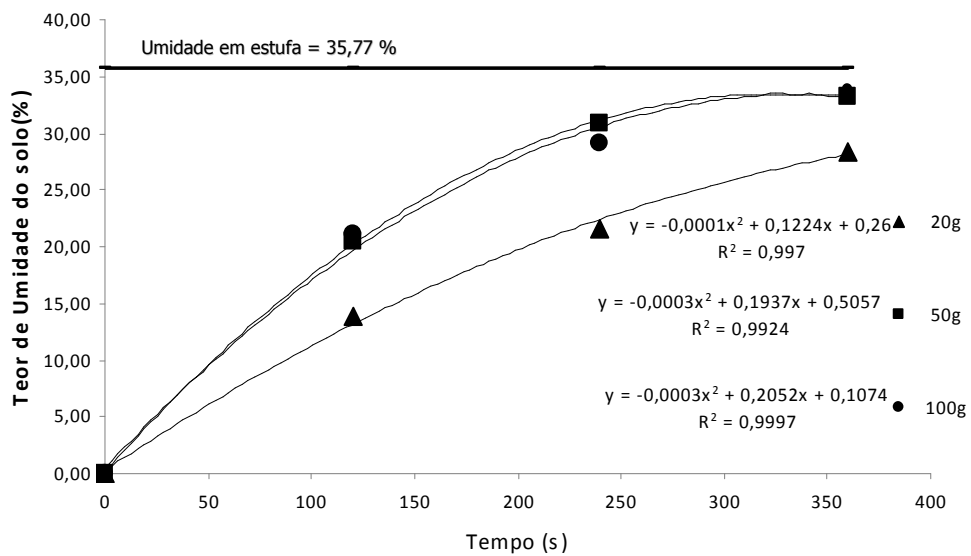


Figura 2 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Nitossolo com umidade inicial de 100% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

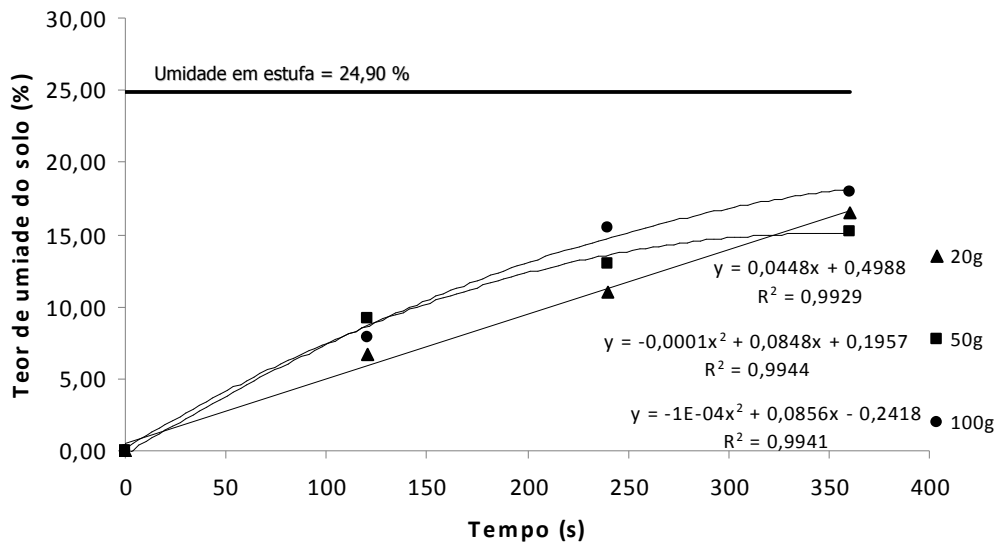


Figura 3 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Latossolo Vermelho com umidade inicial de 100% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

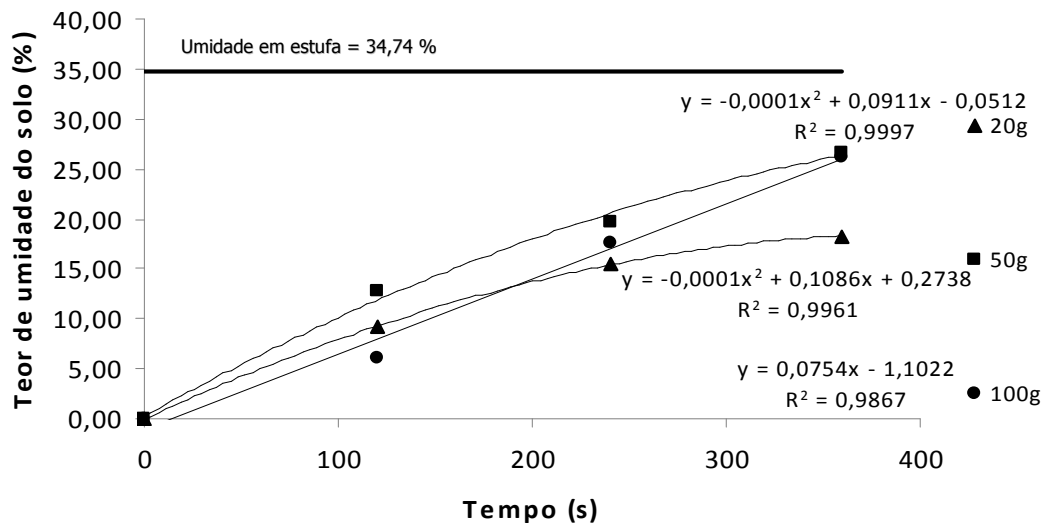


Figura 4 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Latossolo Amarelo com umidade inicial de 100% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

Analisando o comportamento da umidade em função do tempo de secagem e da massa da amostra para todos os solos, agora na umidade inicial de 50% da capacidade de campo, pode-se observar que as curvas se aproximam mais da umidade em estufa. Com exceção ao Neossolo que obteve resultados piores em relação a umidade inicial de 100%, os demais solos apresentaram melhores valores, mostrando o efeito da umidade inicial na determinação da

umidade e no tempo de secagem. Percebe-se para esses solos que as curvas não tendem a estabilização no tempo de 360 segundos de secagem, sendo que seria necessário mais tempo para que o teor de água perdido fosse igual ao encontrado no método da estufa convencional. O Nitossolo obteve o melhor comportamento, pois seus valores de umidade foram para todas as massas, próximo ao da estufa, e ainda, se aumentasse o tempo de secagem obteria ainda melhores resultados. Os Latossolos ainda obtiveram valores de umidade distantes dos da estufa, no entanto com maior aproximação, e para o Latossolo Vermelho e Amarelo, as massas de 100 gramas obtiveram resultados bastante satisfatórios. As Figuras 5, 6, 7 e 8, apresentam o comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para os diferentes tipos de solos, com umidade inicial de 50% na CC.

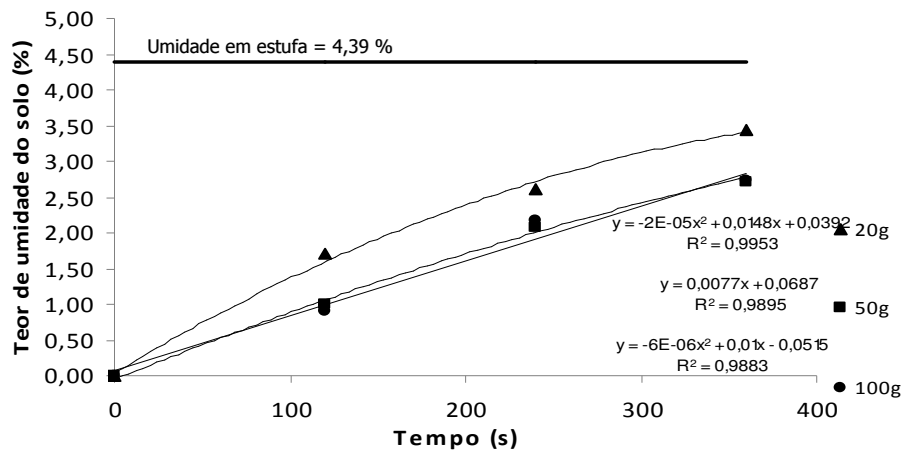


Figura 5 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Neossolo com umidade inicial de 50% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

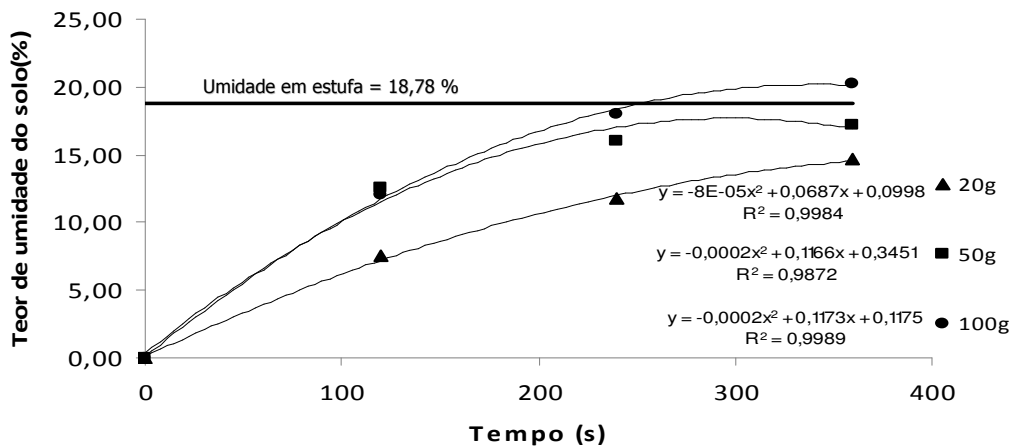


Figura 6 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Nitossolo com umidade inicial de 50% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

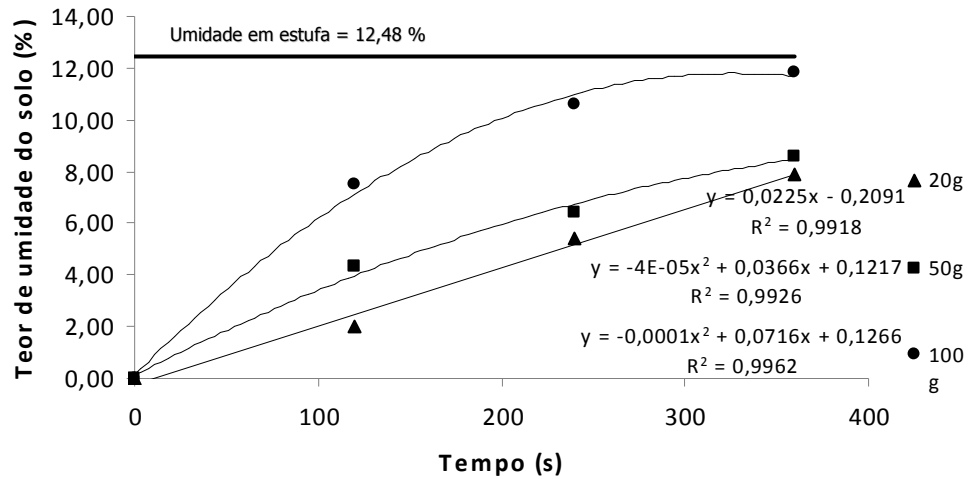


Figura 7 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Latossolo Vermelho com umidade inicial de 50% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

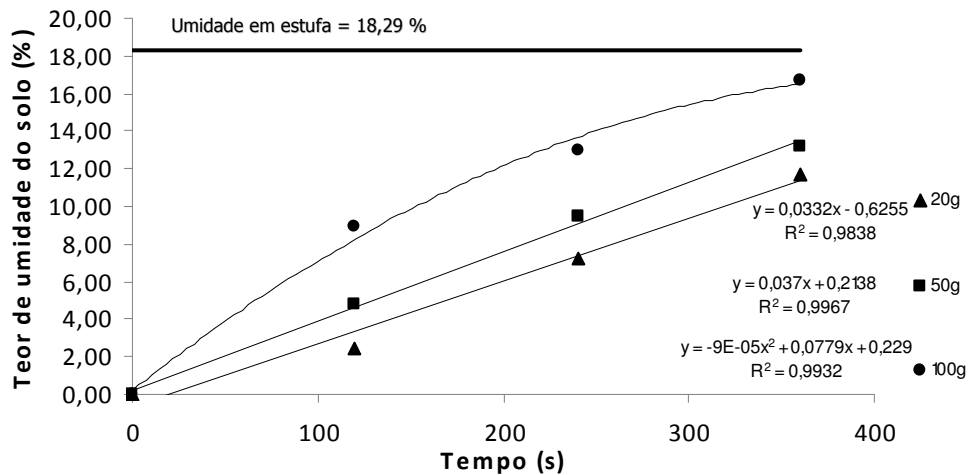


Figura 8 - Comportamento da umidade média em função do tempo, da massa da amostra para o Latossolo Amarelo com umidade inicial de 50% na CC. UFU, Uberlândia, 2010.

Com relação ao erro padrão médio, podemos perceber pelas Tabelas 9, 10, 11 e 12, que há uma relação no erro padrão com a massa da amostra, tempo de secagem e umidade inicial para todos os solos. Podemos ver que no geral, quanto maior a massa da amostra menor o erro. Com relação a umidade inicial, é fato que quanto menor a umidade inicial do solo, mais rápido e fácil é retirar essa água do solo como já confirmado e mostrado neste trabalho. Logo quanto menor essa umidade inicial, menor o erro padrão médio. E por fim em relação ao tempo de secagem, logicamente, quanto maior o tempo de secagem, menor o erro padrão, pois mais próximo se encontra os valores de umidade dos valores encontrados na estufa convencional.

Tabela 9. Erro padrão médio da umidade do Neossolo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	Umidade inicial	Massa (g)	Erro (%)	Tempo (s)	Erro (%)
Neossolo	100% CC	20	3,33	120	5,02
		50	3,68	240	3,65
		100	0,92	360	3,52
	50% CC	20	1,45	120	3,42
		50	2,22	240	2,35
		100	2,26	360	1,71

Tabela 10. Erro padrão médio da umidade do Nitossolo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	Umidade inicial	Massa (g)	Erro (%)	Tempo (s)	Erro (%)
Nitossolo	100% CC	20	8,29	120	17,74
		50	3,83	240	9,98
		100	3,52	360	4,89
	50% CC	20	5,15	120	8,34
		50	2,49	240	5,07
		100	1,93	360	3,02

Tabela 11. Erro padrão médio da umidade do Latossolo Vermelho. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	Umidade inicial	Massa (g)	Erro (%)	Tempo (s)	Erro (%)
Lat. Vermelho	100% CC	20	12,30	120	18,23
		50	12,48	240	13,33
		100	9,81	360	10,04
	50% CC	20	10,33	120	17,02
		50	12,48	240	12,13
		100	9,81	360	9,47

Tabela 12. Erro padrão médio da umidade do Latossolo Amarelo. UFU, Uberlândia, 2010.

Solo	Umidade inicial	Massa (g)	Erro (%)	Tempo (s)	Erro (%)
Lat. Amarelo	100% CC	20	20,31	120	27,57
		50	11,82	240	19,17
		100	10,43	360	12,85
	50% CC	20	9,22	120	14,04
		50	7,77	240	9,80
		100	1,65	360	6,08

Pelas Tabelas também pudemos perceber que o erro é maior para o Latossolo Amarelo e menor para o Neossolo. O erro padrão foi menor quanto maior o tempo de secagem e ainda, quanto maior a massa da amostra a ser submetida a secagem, menor o erro. Pode-se observar que os menores erros encontrados foram para as massas de 100 g e para o tempo de 360 segundos de secagem.

5 CONCLUSÕES

Com a utilização de massas maiores de solo, no método de secagem via microondas verificou-se um menor erro em comparação com a testemunha (método da estufa).

Quanto menor a umidade inicial do solo (50% da CC) constatou-se menor erro padrão das amostras analisadas no microondas em relação ao método da estufa.

O tempo de secagem estabelecido não foi o suficiente para a estabilização das massas dos solos, restando ainda quantidade de água a ser extraída da amostra.

Desse modo verificou-se que a utilização do forno microondas para determinação da umidade não se demonstrou eficiente.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. L. T.; COELHO, E. F.; COUTO, L.; SILVA, E. L. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELA, L. A. A.; SILVA, A. M.(Ed). **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 1-132.
- AGUILAR, J. A. G. Procesamiento de materiales por medio de microondas em la FIME. **Ingenierías**, Nueva León, v.4, n. 13, n., p. 32-39, 2001.
- GARDNER, C.M.K.; BELL, J.P.; COOPER, J.D; DEAN, T.J.; HODNETT, M.G.; GARDNER, N. Soil water content. In: SMITH, R.A.; MULLINGS, C.E. (Ed.). **Soil Analysis: Physical methods**. New York: Marcel Dekker, 1991, cap.1, p. 1-73.
- GARDNER, C.M.K.; ROBINSON, D.A.; BLYTH, K.; COOPER, J.D. Soil water content measurement. In: SMITH, R.A.; MULLINGS, C.E.(Ed.). **Soil and Environmental Analysis: Physical Methods: 2ª Ed.** New York: Marcel Dekker, 2001, cap.1, p. 1-64.
- GEE, G. W.; DODSON, M. E. Soil Water Content by Microwave Drying: A Routing Procedure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p. 1234-1237, 1981.
- GUIMARÃES, A. P. **Magnetism and magnetic resonance in solids**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 298 p.
- KRUG, F. J. Workshop sobre preparo de amostras – Métodos de decomposição de amostras, 3., 2000, São Carlos , SP. Anais . São Carlos: **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2000. 149 p.
- LIER, J. V. Q. **Cálculo de alguns parâmetros físicos do solo**. Disponível em: <http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce200/Calculo_parametros_solo.pdf> Acesso : 10 agosto 2007.
- MILLER, R. J.; SMITH, R. B.; BIGGAR, J.W. Soil water content: microwave oven method. **Proceedings Soil Science Society of America**, Madison, v. 38, n. 3, p. 535-537, 1974.
- SANTOS, P. M.; SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; BALSALOBRE, M. A. A. **Determinação de teor de matéria seca na fazenda: método utilizando forno de microondas doméstico**. 2004. Disponível em:<<http://www.beefpoint.com.br>>. Acesso: 10 setembro 2009.
- 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**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 9 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 33). Disponível em:<<https://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacao gratuita/circular-tecnica/CT%2033%20-%20Forno%20Microondas.pdf>>. Acesso: 15 de setembro de 2009.
- TAVARES, M.H.F.; CARDOSO, D.L.; GENTELINI, D.P.; GABRIEL FILHO, A.; KONOPATSKI, E.A. 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, 2008.

TOMÉ, J. B.; DECHEN, A. R. Microwave oven-drying of soil samples for chemical testing in Brazil. **Communications in soil science and plant analysis**, New York, v. 26, n. 3-4, p. 515-529, 1995.

VINHOLIS, M. de M. B.; SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. de A.; PRIMAVESI, O., **Uso do microondas doméstico para determinação de matéria seca e do teor de água em solos e plantas: Avaliação econômica, social e ambiental**. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v4/microondas.pdf>>. Acesso: 02 setembro 2009.

ZEIN, A.K.M. Rapid determination of soil moisture content by the microwave drying method. **Sudan Engineering Society Journal**, Khartoum, v. 28, n. 40, p. 57-68. 2002.