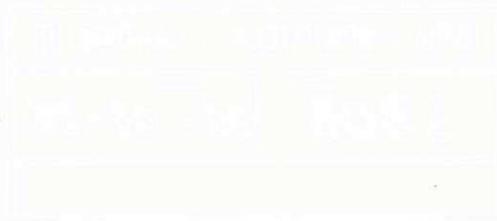


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO  
POR RADIAÇÕES DE MICROONDAS



por

GILVAN RODRIGUES DE OLIVEIRA



CAMPINA GRANDE, PARAÍBA

MARÇO - 1979



048d

Oliveira, Gilvan Rodrigues de.

Determinação da umidade do solo por radiações de microondas / Gilvan Rodrigues de Oliveira. - Campina Grande, 1979.

52 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1979.

"Orientação : Prof. Dr. Hans Raj Gheyi".

Referências.

1. Solos - Umidade. 2. Radiações. 3. Microondas. 4. Dissertação - Ciências. I. Gheyi, Hans Raj. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 624.131(043)

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO  
POR RADIAÇÕES DE MICROONDAS

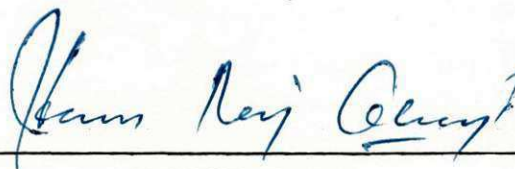
Por

GILVAN RODRIGUES DE OLIVEIRA

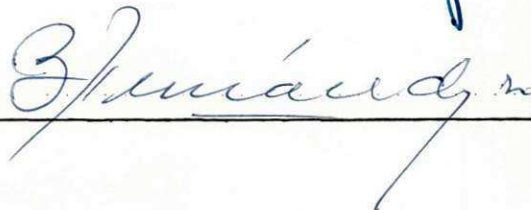
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA  
PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA  
A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

Aprovado por:

COMISSÃO



PRESIDENTE



CAMPINA GRANDE

ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL

MARÇO - 1979

A minha família  
dedico

## A G R A D E C I M E N T O S

O Autor agradece

Ao Dr. Hans Raj Gheyi pela orientação dedicada, segura e paciente, durante a execução deste trabalho.

À sua família, pelos esforços que dedicaram.

Ao Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, pelos incentivos e contribuições para a planificação deste trabalho.

Ao MSc Benjamim Fernandez Medina, pelas sugestões prestadas na revisão deste trabalho.

Ao MSc Francisco Monte Alverne de Sales Sampaio, pelas críticas sinceras.

Ao MSc Hamilton M. Azevêdo, pela contribuição durante os trabalhos iniciais.

Ao MSc Antonio W. Condin, pela ajuda na coleta dos solos.

Ao Engenheiro Químico Marcos Antonio Firmino Batista, pela ajuda prestada na fase experimental.

Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), nas pessoas do Dr. Orlando Rafael Mayer, Dr. Vicente Fernandes Monteiro e aos Técnicos Givaldo, Wilson, Severino, Raimunda e Antonio que, munidos de boa vontade, facilitaram a execução dos experimentos.

À Indústria Wallig do Nordeste, nas pessoas do Dr. Jorge Shudt, Dr. Edvaldo Alves da Silva, aos Técnicos do Laboratório de Química, Irandir, Mércia e João Inácio, e aos funcionários João Batista e Raul, pela colaboração amigável, facilitando o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, pelo apoio básico oferecido.

À Escola Superior de Agricultura de Mossoró, pela oportunidade concedida.

Aos Professores, colegas e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste empreendimento.

## RESUMO

O objetivo primordial do presente trabalho foi testar a aplicabilidade de um forno de microondas comercial para determinação de umidade através da secagem de amostras de solo. Para isso foram escolhidos dois tratamentos: a) estabelecimento de uma metodologia padrão, verificando a umidade obtida e estudando os efeitos do aquecimento na matéria orgânica dos solos, além de uma determinação do tempo de secamento para uma dada umidade; b) testar a aplicabilidade, determinando a umidade por microondas durante um tempo pré-estabelecido, e comparando os resultados com os obtidos na estufa convencional e radiações infravermelhas. Os testes foram desenvolvidos no Laboratório de Água e Solos do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e no Laboratório de Química da Indústria Wallig Nordeste.

Os resultados mostraram que as umidades obtidas da secagem por microondas não foram muito diferentes daquelas obtidas através do método gravimétrico. O tempo para secar amostras de solos secos ao ar foi de 20 - 45 minutos,

dependendo da umidade e peso. O efeito do aquecimento por microondas sobre a matéria orgânica do solo tem sido tanto quanto o da estufa convencional a  $105^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas. Os parâmetros das equações lineares, calculados para estimar o tempo de secagem para diferentes umidades, mostraram não depender da textura do solo. As equações gerais para diferentes solos não apresentaram diferenças significativas com as obtidas para cada solo, separadamente.

O método sugerido foi comparado com os métodos gravimétrico e por radiação infravermelha, usando-se 15 amostras de solo de texturas diferentes. Similares resultados foram obtidos para os três métodos, utilizando solos saturados e solos secos ao ar. De forma que existe possibilidade de usar um forno de microondas comercial para determinar a umidade do solo no laboratório.



## A B S T R A C T

The main objective of the present study was to test the applicability of a commercial microwave oven as the heat source to determine the moisture content of soils of different texture.

A standard procedure has been described using a microwave oven by which soil moisture content may be determined in 20-45 minutes depending upon the sample size and water content. The results obtained by this method were comparable to conventional oven drying method and the organic matter content of the soil was not found to be affected by microwave radiations.

Linear relationships were observed between the water content and time required for drying in the microwave oven for different sample weights in soils of varying texture. The parameters of linear equations varied with the sample weight but for a constant sample weight the parameters were almost identical irrespective of the textural class thereby indicating that the drying times are rather independent of soil texture.

The suggested method has been compared with the conventional oven drying and infrared radiation methods using 15 soil samples of varying texture. Essentially similar soil moisture contents were obtained by the three methods for

the saturated and air dry conditions of soil, indicating the possibility of using the commercial microwave oven for routine soil moisture determination in the laboratory.

## Í N D I C E

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA	03
1 - Métodos para Determinar a Umidade do Solo	03
1.1 - Métodos Diretos ou Gravimétricos	04
1.1.1 - Secagem por Estufa	04
1.1.2 - Radiação Infravermelha	05
1.1.3 - Speedy	05
1.1.4 - Queima por Álcool	06
1.2 - Métodos Indiretos	07
1.2.1 - Blocos de Resistência Elétrica	07
1.2.2 - Tensiômetros	08
1.2.3 - Radiação Gama	08
1.2.4 - Dispersão de Neutrons	09
2 - Determinação da Umidade por Microondas	10
2.1 - O Forno de Microondas	10
2.1.1 - Descrição	10
2.1.2 - Materiais Trabalháveis	11
2.2 - A Radiação de Microondas e o Aquecimento de Amostras	12
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	14
1 - Localização e Realização dos Experimentos	14
2 - Coleta do Material	14

3 - Aparelhagem Experimental	16
4 - Granulometria e Ponto de Saturação	19
5 - Matéria Orgânica e pH	21
6 - Análise dos Resultados	21
7 - Experimentação	21
7.1 - Padronização do Método	21
7.2 - Efeito da Radiação de Microondas sobre a Matéria Orgânica dos Solos	22
7.3 - Relação entre o Teor de Umidade e o Tempo de Secagem por Microondas	22
7.4 - Aplicabilidade do Método	24
 CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES	 26
1 - O Efeito do Tempo de Aquecimento sobre a Umidade e a Matéria Orgânica dos Solos	26
2 - Relação entre o Tempo de Secagem por Microondas e o Teor de Umidade	35
3 - Comparação entre os Métodos da Estufa, Microondas e Infravermelhas	39
 CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 48
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 50

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

A água é fator vital na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, devido a isto, o manejo correto da água é ponto fundamental em uma agricultura racional. Em regiões áridas e semi-áridas, o manejo correto implica práticas e economia de água e cuidados com problemas de salinidade. Em regiões superúmidas, o problema fundamental é a lixiviação de sais do solo e a drenagem.

As medições diretas ou indiretas do conteúdo de água do solo são necessárias em praticamente todos os estudos de solos. No campo, o conhecimento da água disponível para o crescimento das plantas requer uma medição de água presente ou de algum índice dela. No laboratório a determinação de muitas propriedades físicas e químicas de solo precisa do conhecimento do conteúdo da água.

Em trabalhos de solos, o conteúdo de água tem sido expressado tradicionalmente, como a razão da massa após seca a peso constante (SSSA, 1965), ou como o volume

de água presente numa unidade de volume da amostra. Nos dois casos precisa-se conhecer a quantidade de água da amostra. Para atingir esse objetivo a água deve ser removida, ou a massa da amostra deve ser determinada antes e depois da remoção da água. Na prática, a definição mais comumente usada para peso constante de uma amostra de solo tem sido o peso resultante de uma amostra de solo aquecida a 100-110°C numa estufa durante um tempo, geralmente, de 24 horas. A escolha desta faixa particular de temperatura, segundo GARDNER (1965), não se tem baseado em considerações científicas das características de secagem do solo e, às vezes, as amostras não secam a peso constante.

A utilização de energia de microondas para secagem de amostras ganhou grande impulso quando Meisel, citado por CHEVALIER & RETAILLEAU (1970), apresentou, em 1966, um novo procedimento para cozinhar alimentos com o emprego de ondas eletromagnéticas de alta frequência (2450 MHz), conhecidas comumente sob o nome de microondas. Por sua vez, CHEVALIER & RETAILLEAU (1970) pensou em estender essa técnica ao domínio analítico e aplicado, em particular à dosagem de matéria seca dos produtos leitosos. BORZANI & PRADO (1972) realizaram experiências não somente com produtos alimentícios, mas com uma pequena amostra de argila.

Dessa forma, pensou-se em estender a técnica da secagem por microondas a todos os tipos de solos, procurando uma metodologia geral para secar, qualquer que fosse a textura dessa amostra de solo. A grande vantagem que apresenta esta técnica é a enorme redução no tempo de aquecimento comparada com a da estufa convencional.

Assim, o presente trabalho tem por finalidade testar a aplicabilidade do forno de microondas comercial na determinação da umidade através da secagem de amostras de solo, e estudar os seus efeitos, na matéria orgânica do solo.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DE LITERATURA

#### 1 - Métodos para Determinar a Umidade do Solo

A determinação do conteúdo de água do solo remonta mais de 80 anos. Já no ano de 1898 Tryller, citado por DAVISSON & SIVASLIAN (1918), dava início à construção de um reduzido forno de secagem, cujo aquecimento era proveniente de um pequeno bico de gás que emitia o calor para uma série de espaços, ao exterior das paredes e para cima. Naturalmente o evidente aparecimento de outras máquinas e técnicas haveria de se constatar: BOUYOUCOS (1926), PAPADAKIS (1941), ZAMYATINA & CHERNIKOVA (1952), até aqueles mais recentes, como moderação de neutrons (Stewart, 1962, citado por GARDNER, 1965).

Problemas diversos, entretanto, como alto custo, dificuldades de manuseio, imprecisão nos resultados, etc., têm contribuído para que a grande maioria dos laboratórios e indústrias tenham optado pela secagem convencional, ou seja, secagem pela estufa, até peso constante, à

105°C de temperatura.

### 1.1 - Métodos Diretos ou Gravimétricos

Fornecem a umidade do solo diretamente por meio da parcela de água evaporada por aquecimento ou reação química.

#### 1.1.1 - Secagem por Estufa

É o método tradicional. Consiste em recolher uma amostra de solo, colocá-la num recipiente, lacrá-lo, levando-o até um laboratório. Em seguida pesando-se pequenas quantidades (20 a 100 gramas, ou mesmo maior um pouco) coloca-se numa estufa por um tempo, geralmente, de 24 horas a uma temperatura de 105 - 110°C. Após esse tempo, colocam-se as amostras num dessecador durante uns 30 minutos e se pesa novamente cada amostra. A umidade é calculada mediante a equação 1,

$$u = \frac{P_{su}}{P_{ss}} - 1, \quad [1]$$

onde,

u = umidade do solo seco em g/g.

P<sub>su</sub> = peso úmido do solo em gramas

P<sub>ss</sub> = peso seco do solo em gramas.

O método, apesar da facilidade de manuseio, apresenta alguns inconvenientes consideráveis; além do alto tempo requerido, seus resultados são inferiores aos verdadeiros, tendo em vista que, mesmo elevando a temperatura a 105°C a água não se evapora na sua totalidade, ficando certa parte retida pelo solo, de modo que, em terras ricas em humus este remanescente é maior ainda. Outro inconveniente, porém mais fácil de evitar, é o erro de amostragem (DAVISSON & SIVASLIAN, 1918; GARCIA-TEJERO, 1971).



### 1.1.2 - Radiação Infravermelha

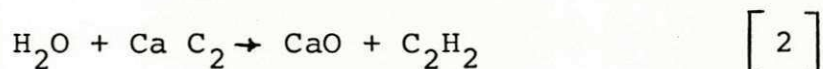
A secagem por radiações infravermelhas se ba seia no fato de que os raios, conhecidamente pelo nome de "caloríficos", infravermelhos penetram dentro de um objeto convertendo-se em calor em todos os lugares igualmente e ao mesmo tempo, obtendo-se assim um aumento uniforme de temperatura. Na verdade esta tem sido a principal justificativa pelo emprego da secagem de muitos elementos no setor industrial. O emprego desse método para retirar a água do solo tem sido feito através de um mecanismo conjunto: uma lâmpada infravermelha no interior de uma espécie de garrafa térmica, acoplada numa balança de precisão, estando o equipamento acionado por meio de eletricidade. Consiste o método na pesagem de uma amostra de solo em que se quer determinar a umidade e leva-se até o prato da balança. Após isto move-se a tampa (garrafa) até envolver completamente o prato com o recipiente e a amostra de solo. Feito isto liga-se o equipamento que imediatamente começa o funcionamento do espectro, emitindo radiações infravermelhas que vão produzindo calor e evaporando a água presente. No momento em que a balança acusar leitura constante, tem-se concluído a operação, restando apenas fazer a leitura que se refere a água retirada da amostra de solo. A umidade é obtida dividindo-se o peso da água evaporada pelo peso seco da amostra de solo.

Este método, apesar da simplicidade e rapidez, apresenta alguns inconvenientes: não dá resultados confiáveis para amostras maiores que 20 gramas; nesse caso o tempo requerido aumenta demasiadamente (mais de 1 hora); só se pode trabalhar com uma amostra de cada vez (SMIT, s.d.; GARDNER, 1965).

### 1.1.3 - SPEEDY

Constituído por uma garrafa de aço que pode ser fechada hermeticamente por uma tampa apropriada. Consti

tui-se a parte exterior do fundo de um manômetro comum com um mostrador graduado, provido de um ponteiro. Uma pequena balança já calibrada, para pesar uma quantidade de solo, acompanha o aparelho. Para obtenção da umidade pesa-se uma amostra de solo na balança acima descrita, colocando-a no interior do bojo da garrafa. Na concha da tampa da garrafa coloca-se carbureto de cálcio com o auxílio de uma medida que acompanha o aparelho. Com todo o cuidado, antes de se fechar hermeticamente, para evitar possível mistura de solo com carbureto, coloca-se a tampa. Fechada a garrafa agita-se de tal forma que na mistura entre o solo e o carbureto promovem um desprendimento de gas (equação 2), que irá acionar o ponteiro, deslocando-o. A leitura do mostrador pode ser transformada pela constante do aparelho, ou curva de calibração, em porcentagem de água na base do peso úmido. Este método é caro e impreciso (BARRETO, 1974).



#### 1.1.4 - Queima por álcool

Consiste em se colocar uma amostra de solo num recipiente e adicionar dosagens de álcool ao conjunto. Em seguida, por meio de um emissor de chamas, faz-se contato com o álcool presente que vai aquecendo a amostra de solo diretamente e com isso evaporando a água do solo. Após isso pesam-se as amostras e observa-se o peso das mesmas. Caso não se tenha ainda uma pesagem constante repete-se o experimento adicionando-se mais álcool.

Este método apresenta, além de uma rápida remoção de água, uma grande facilidade de manuseio, mas, devido a uma excessiva perda de matéria orgânica não tem sido muito indicado (GARDNER, 1965).

## 1.2 - Métodos Indiretos

São aqueles que fornecem a umidade indiretamente através de curvas de calibração.

### 1.2.1 - Blocos de Resistência Elétrica

Este método, inicialmente, consistia em enterrar dois eletrodos no solo, entre os quais fazia-se passar uma corrente elétrica. A maior ou menor resistência encontrada, medida com o auxílio de uma ponte de Wheatstone, era decorrente do maior ou menor teor de água. Entretanto, devido às variações do contato do eletrodo com o solo e do conteúdo de sal do solo, não foi possível a obtenção de resultados satisfatórios. Bouyoucos & Mick (1940), citados por DAKER (1974), têm reduzido muitos inconvenientes através da introdução de um pequeno bloco de gesso ou fibra de vidro onde podem ser introduzidos dois eletrodos que se ligam a fios isolados conectados ao registrador. O bloco, funcionando como absorvente, tem a umidade equilibrada com a do solo, ao ser enterrado. Devido a solubidade existente sempre há uma solução saturada de sulfato de cálcio entre seus eletrodos, e isto torna, geralmente, desperceptível o efeito dos outros eletrólitos da amostra de solo. Dessa forma, aquela resistência produzida à passagem da corrente elétrica acusa indiretamente a umidade do bloco, que por sua vez fornece a do solo, desde que haja calibração para esse tipo de solo em estudo.

Apesar das tentativas de um melhoramento por parte de muitos pesquisadores (Bouyoucos & Mick, 1948; Bouyoucos, 1949, 1954; Colman & Hendrix, 1949, citados por KRAMER, 1975), o método só apresentou resultados favoráveis em solos secos. De forma que, mesmo sendo relativamente barato, a desvantagem de uma curta duração dos blocos (uma a duas estações), bem como um efeito de calibração temporária,

tem contribuído negativamente para a aplicação deste método.

### 1.2.2 - Tensiômetros

O tensiômetro consiste de um tubo fechado, munido na parte inferior de um bulbo de porcelana porosa e na extremidade superior de um medidor de vácuo (manômetro de mercúrio ou vacuômetro metálico).

A determinação da umidade por este método é feita mediante o enterramento do tubo numa profundidade desejada. Cheio de água o aparelho é fechado hermeticamente em cima e uma vez que existe uma perda de água por parte do solo, acarreta-se uma sucção de água do tubo através da cápsula, criando-se assim um vácuo no interior do tensiômetro, o qual pode ser lido no medidor de vácuo em unidades de pressão, geralmente em centi-bares.

O tensiômetro é um excelente instrumento de medida da umidade nos solos molhados, mas quando o potencial matricial vai para aproximadamente 0,8 bar, o ar começa a entrar no copo, tornando-o inútil. As outras limitações são relativamente menores, inclusive a necessidade de recarregamento da entrada do ar, a tendência para as raízes tornarem-se concentradas em volta da cápsula, e as flutuações nas leituras diurnas ocasionais resultantes da condução de alta temperatura ao longo do tubo cheio d'água (KRAMER, 1975).

### 1.2.3 - Radiação Gama

Baseia-se no fato de que a radiação gama passando através do solo varia com a densidade. Se o solo não encolhe e incha apreciavelmente, as mudanças na capacidade da água podem ser medidas pela mudança da quantidade de radiação que passa através do solo. Ashton (1956), citado por KRAMER (1975), descreveu medidas de mudanças das capaci-

dades de água no solo, em quantidades da radiação gama absorvida.

O método requer uma nascente de radiação gama, tal como césio, um detector, como o tubo geiger, ou uma sonda de cintilação como medidor da radiação gama.

Fazendo-se passar a radiação gama através de colunas de solo, parte da energia é absorvida pela água do solo, que é detectada pelo medidor (detector).

Ferguson & Gardner (1962), e Gurr (1963), citados por KRAMER (1975), acharam este método útil para medir o movimento da água nas colunas de solo, além de bastante confiável, mas a grande inconveniência é o alto custo, bem como é sensível à temperatura (KRAMER, 1975).

#### 1.2.4 - Dispersão de Neutrons

Este método é baseado no fato de que os átomos de hidrogênio têm uma maior facilidade de diminuir e espalhar neutrons de alta velocidade que outros átomos. O instrumento consiste de uma sonda, que geralmente contém uma fonte emissora de neutrons de alta velocidade e outra de baixa velocidade (receptora) para detectar os neutrons lentos.

O funcionamento é feito colocando-se a sonda a uma profundidade desejada, que ao ser acionada emite neutrons de alta velocidade. Estes, ao colidirem com o hidrogênio da água existente no solo são transformadas em neutrons de baixa velocidade. O movimento lento desses últimos é acusado na fonte receptora de neutrons de baixa velocidade transmitindo-se assim um registro efetuado por meio de pulsações no aparelho contador. Daí, através de uma curva de calibração, obtem-se a quantidade de hidrogênio do solo, que por sua vez fornece a água presente.

Este método apresenta várias vantagens sobre outros métodos. Incluindo-se a ausência do período vagaroso,

enquanto a água do solo equilibra com o instrumento de leitura, grande rapidez, não destruição do solo, mas, por outro lado, o instrumento é sensível à temperatura, radioativo é caríssimo (KRAMER, 1975).

## 2 - Determinação da Umidade por Microondas

De um modo geral a energia de microondas consiste essencialmente de feixes de energia vibrante, para frequências de microondas que se movem à velocidade da luz.

Este feixe, quando emitido a um material eletricamente neutro, passa através dele como se não existisse nada; como é o caso da parafina. Porém, encontrando tal feixe um material não eletricamente neutro, onde existe um campo elétrico atuando, as moléculas também tendem a se comportar como um ímã microscópico e seguem uma direção de acordo com o campo. Entretanto, estando esse campo mudando milhões de vezes cada segundo, estas moléculas não podem seguir uma trajetória fixa por causa de forças outras que as retardam. A energia de microondas tentando vencer estas forças é convertida em calor, de forma que se pode dizer que o material se aquece por si mesmo.<sup>1</sup>

### 2.1 - O Forno de Microondas

#### 2.1.1 - Descrição

Os fornos de microondas são pequenos aparelhos (40 kg) cuja finalidade principal é o cozimento de alimentos através de radiações de microondas que tratam de reagir com a água dos mesmos, tornando-os secos através de um aquecimento dessa água. Ultimamente têm sido bastante empregados em variadas pesquisas, em virtude da facilidade e rapi

---

(1) THE ABC's of microwave cooking, Prep. by En. Apl. Newsletter, P. O. Box 231, Amherst, N. H. 03031.

dez da operação, de forma a aquecer somente o alimento e/ou amostra.

Constitui-se a maioria dos fornos de microondas de um magnetron, um agitador, uma porta, uma tecla e um relógio. Logo após o fornecimento de potência, que vem da alimentação, existe uma conversão da linha de energia de baixa voltagem para alta voltagem, sendo esta última convertida em energia de microondas pelo magnetron. O agitador realiza a uniformização da energia emitida dentro da cavidade, enquanto a tecla, logo que apertada, faz funcionar o aparelho. O relógio, ajustado para um determinado tempo, vai girando até chegar a posição zero, quando se tem o desligamento automático do aparelho. Outros aparelhos apresentam teclas diversas indicando diferentes tempos de funcionamento.

#### 2.1.2 - Materiais Trabalháveis

As propriedades principais dessa energia de microondas consiste na capacidade de serem absorvidas, transmitidas e refletidas, de modo que metais refletem microondas.

Segundo DECAREAU (1972), um problema que pode acontecer quando se usa recipiente metálico é a redução da taxa de energia emitida, bem como pode haver uma reflexão contrária àquela emitida pelo magnetron, de modo que o magnetron pode ser destruído por descargas causadas.

Por outro lado, os recipientes de materiais em adição ao vidro transmitem microondas e novamente não há absorção, de modo que não existe aquecimento desses recipientes. Outros materiais utilizáveis são papel de filtro, porcelana, etc. De forma que se pode empregar, sem nenhum perigo para a saúde humana, apenas aqueles recipientes que transmitem microondas. Metais requerem tratamentos especiais.

## 2.2 - A Radiação de Microondas e o Aquecimento de Amostras

No caso específico de alimentos existe ampla documentação que mostra o efeito do aquecimento por microondas. Geralmente o efeito é tanto quanto os métodos de aquecimentos convencionais.

BORZANI & PRADO (1972), trabalhando com banana, farinha de mandioca e fermento prensado, compararam os resultados com os da estufa. Desvios padrões, obtidos para várias amostras com microondas e com estufa, foram muito próximos (de 0,3 a 0,8%). GOMES et alii (1975), verificando a influência da energia de microondas na secagem de fermento não encontraram variações significantes, quando se comparou os resultados com os da estufa, para amostras de tamanhos variados. LEONHARDT et alii (1975) mostraram que existe uma correlação linear entre a secagem convencional e a secagem por microondas, para o caso de fermentos prensados.

LEE & LATHAN (1976), trabalhando com alimentos enlatados, observaram uma mesma umidade pelo método convencional e por microondas. Uma variação de  $\pm 0,18\%$  foi encontrada para o caso de microondas, enquanto para o caso da estufa foi de  $\pm 0,17\%$ .

Por outro lado, BORZANI & PRADO (1972), considerando uma amostra de argila com tamanho de 10 gramas, compararam as umidades obtidas por estufa e microondas, não encontrando variações significantes, salientando apenas o aparecimento de descargas quando a secagem estava próxima do final; podendo-se sanar isto com a introdução de um copo de água.

MILLER et alii (1974), trabalhando com solo argila e solo areia, não somente compararam o teor de umidade obtida por microondas e estufa, mas verificaram o efeito sobre o teor de nitrato, encontrando uma fila ascensional



de 36,8; 42,5 e 46,5 ppm, respectivamente, para a secagem ao ar, estufa e por radiação de microondas.

HANKIN & SAWHNEY (1978), realizando experimentos com amostras de solo, argilas caolinita e montmoril<sub>o</sub>nita, não encontraram diferenças significativas entre a secagem comum e por microondas. Salientaram haver uma diminui<sub>ç</sub>ão do tempo de operação, trabalhando-se com recipientes de papel filtro.

### CAPÍTULO III

#### MATERIAIS E MÉTODOS

##### 1 - Localização e Realização dos Experimentos

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Água e Solos do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e no Laboratório de Química da Indústria Wallig Nordeste, em Campina Grande, Paraíba, tendo sido iniciado em dezembro de 1977 e concluído em fevereiro de 1979.

##### 2 - Coleta do Material

A coleta das amostras de solo foi realizada propositando dois objetivos: padronizar o método e verificar a sua aplicabilidade. Dessa forma, inicialmente, foram selecionadas 3 amostras de solos (nºs 1, 2 e 3), de texturas amplamente diferentes, com algumas propriedades físicas e químicas apresentadas no Quadro 1. Escolheu-se como local

QUADRO 1 - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Amostra	Profun- didade	Granulometria			Classificação Textural	Carbono Orgânico %	pH
		Areia	Limo	Argila			
1	0-15	88	4	8	Areia	0,84	6,2
2	0-15	19	23	58	Argila	4,44	6,1
3	0-15	49	3	48	Argilo-arenoso	1,74	4,6
3680*	15-40	78	5	17	Franco arenoso médio	0,28	5,5
3681*	40-65	76	8	16	" " "	0,17	5,2
3683*	0-18	84	5	11	Areia franca	0,68	6,3
3684*	18-33	59	8	33	Franco argilo arenoso	0,40	6,1
3686*	54-80	57	20	23	" " "	0,13	6,2
3767*	37-50	62	6	32	" " "	0,06	6,6
3768*	0-25	90	4	6	Areia	0,24	6,8
3777*	20-63	72	9	19	Franco arenoso médio	0,26	7,2
3778*	63-133	73	10	17	" " "	0,17	8,9
3779*	133-178	75	9	16	" " "	0,16	8,9
3781*	33-48	63	7	30	Franco argilo arenoso	0,14	5,5
3785*	0-26	76	14	10	Franco arenoso médio	0,35	7,0
3786*	26-59	75	15	10	" " "	0,21	7,5
3787*	59-95	62	5	33	Franco argilo arenoso	0,19	7,7
3803*	130-180	87	5	8	Areia franca	0,19	6,9

\* Dados fornecidos pelo DNOCS - Campina Grande - Pb.

de coleta o Campus Experimental do C.C.A., em Areia.

De outra forma, para se verificar a aplicabilidade do processo de secagem por microondas, selecionou-se 15 amostras<sup>1</sup> de solo de granulometrias variadas, cujas características físicas e químicas são também apresentadas no Quadro 1. Essas amostras foram cedidas pelo DNOCS.

### 3 - Aparelhagem Experimental

Utilizou-se como material para coleta: trados, sacos plásticos e pás, enquanto para as análises químicas e físicas os materiais utilizados foram: buretas, pipetas, erlenmeyers, balões bolumétricos, etc.

Para determinar o teor de umidade dos solos conduziu-se os experimentos através de estufas com circulações de ar, de fabricação brasileira, com dimensões de 50 x 50 x 60 cm, além de um infravermelho acoplado a uma balança METTLER P 160N e um forno de microondas comercial, de fabricação japonesa, cujas características principais são apresentadas no Quadro 2.

Constitui-se a parte externa do forno de microondas de 6 acessórios principais: 1) relógio com contato elétrico; 2) lâmpada de operação; 3) tecla de funcionamento; 4) porta; 5) pés e 6) filtro de ar (Figura 1).

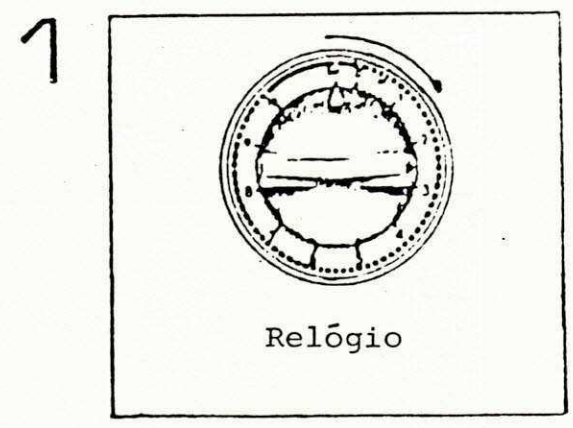
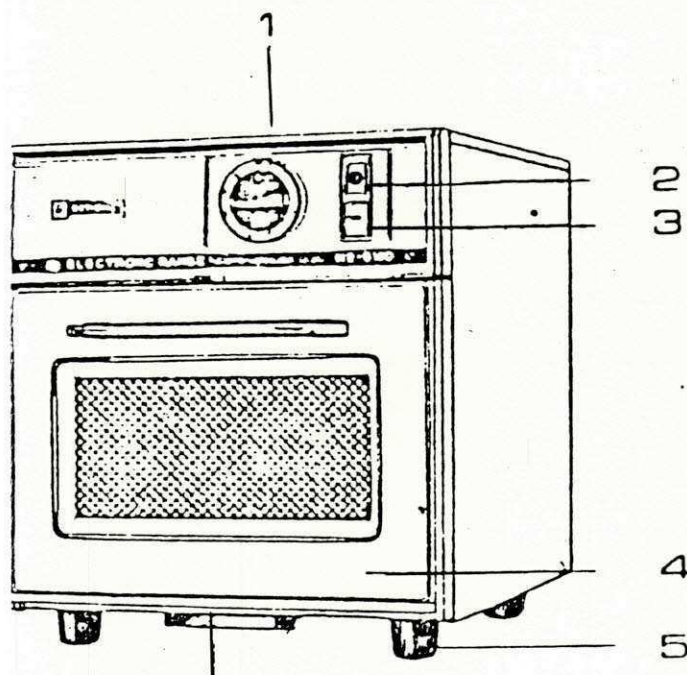
O relógio com contato elétrico, graduado até 10 minutos, facilita a obtenção do tempo de funcionamento, sem necessidade de um cronômetro ou relógio auxiliar. A tecla, logo que acionada, produz um contato elétrico que liga a lâmpada, indicando que o aparelho está em atividade. A porta, que também desliga o funcionamento do magnetron, apresenta uma espécie de maçaneta que ao puxá-la desliga o aparelho automaticamente, ficando apenas o relógio em funciona

---

(1) Coletadas no Perímetro Estevam Marinho - Município de Pombal - Pb.

QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS DO FORNO DE MICROONDAS

Frequência	2.450 MHZ
Potência fornecida	600 Watts
Potência consumida	1,25 KVA
Dimensão ext. (mm)	453 (Larg.) x 490 (Prof.) x 485 (Altura)
Dimensão da Cav. (mm)	330 (Larg.) x 260 (Prof.) x 220 (Altura)
Peso do Aparelho	38 kg
Marca	NATIONAL - Matsushita Elétrica (Model NE-6.100)

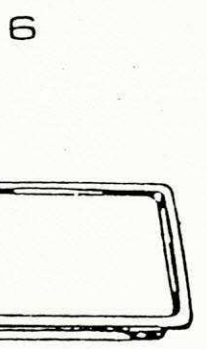


2 Lâmpada

3 Tecla

4 Porta

5 Pés



Placa de Cozedura



Filtro de Ar

Figura 1 - O Forno de Microondas e seus Acessórios Principais

mento até atingir o posicionamento inicial. A parte interna, constitui-se principalmente de uma cavidade, um agitador, um magnetron e uma placa de cozedura. A cavidade tem como principal finalidade receber os alimentos para o aquecimento. Na cavidade se encontra uma pequena placa de cozedura, a fim de evitar sujeiras, como graxas ou outros ingredientes dos alimentos, no interior do aparelho. O uso do agitador impede a volta de energia emitida pelo magnetron, fazendo ainda com que essa energia seja mais uniformemente distribuída dentro da cavidade. A ausência dessa peça no aparelho faz com que exista uma região da cavidade muito fria, enquanto outra se torna muito quente, durante a propagação da energia de microondas.

O magnetron, principal peça do aparelho, tem como finalidade gerar energia de microondas. Logo que é energizado ele gera ondas de alta frequência que, em seguida, passam para baixo em direção a cavidade do forno. Essas ondas, durante o seu percurso encontram o agitador em funcionamento que trata de uniformizar a sua distribuição dentro da cavidade, conforme a Figura 2.

#### 4 - Granulometria e Ponto de Saturação

A análise granulométrica foi efetuada mediante o processo de sedimentação, utilizando-se o método da pipeta internacional, descrito por DAY (1965). Tal método baseia-se na quantidade de sólido que se obtém no volume colhido pela pipeta à uma dada profundidade, onde ao se evaporar a água existente pesa-se o resíduo restante.

A determinação do ponto de saturação foi efetuada mediante o processo citado por RICHARDS (1973), que essencialmente consiste em se adicionar água destilada a um peso de solo conhecido até que se atinja os requisitos básicos da saturação: a amostra brilhando e escorrendo facilmente pela espátula.

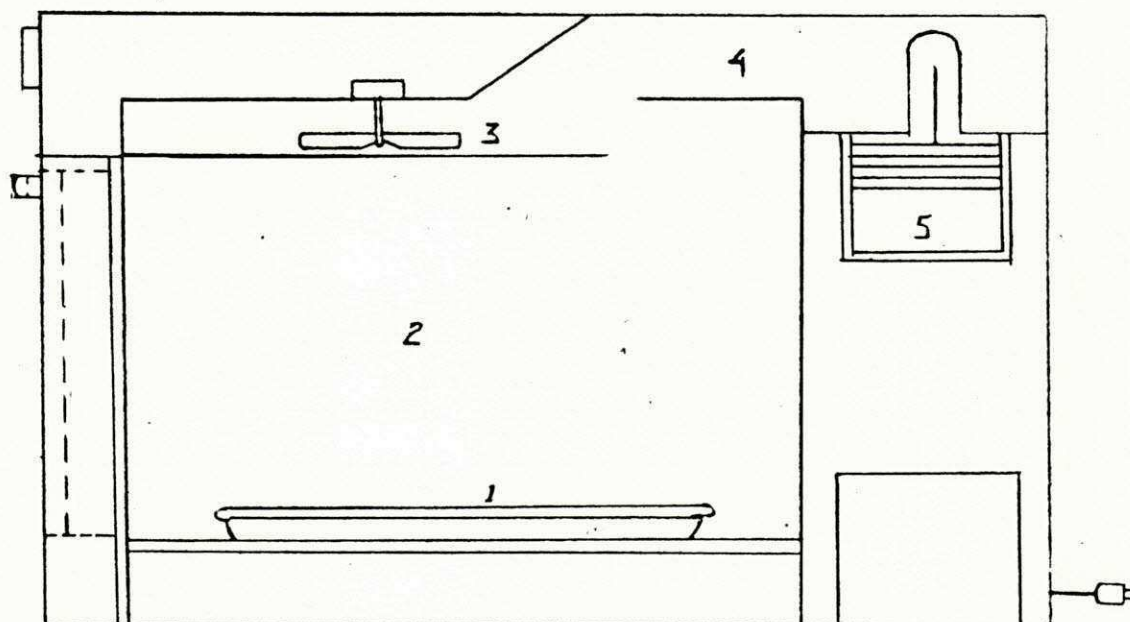


Figura 2 - Acessórios internos do Forno: 1) Placa de coz<sub>u</sub>redura; 2) Cavidade; 3) Agitador; 4) Guia de Onda e 5) Magnetron.



## 5 - Matéria Orgânica e pH

Para determinação da matéria orgânica dos solos, utilizou-se como função o carbono orgânico, que foi determinado pelo método de Tiurin, citado por VETTORI(1969).

O método de Tiurin tem como processo básico a oxidação do carbono pelo bicromato de potássio 0,4N, com presença de ácido orto-fosfórico e titulação de oxidante - com sulfato ferroso - amoniacal, usando-se como indicador a difenilamina.

A determinação do pH foi conduzida através de uma suspensão 2:1 (água:solo), obtendo-se diretamente a leitura por um Metrohm E 520.

## 6 - Análise dos Resultados

A análise estatística foi processada mediante análises de variâncias e medidas de dispersões, além da teoria da correlação, indicadas em SPIEGEL (1975).

## 7 - Experimentação

### 7.1 - Padronização do Método

Objetivando determinar a umidade do solo, após seleção das três amostras (n<sup>os</sup> 1, 2 e 3) necessárias aos trabalhos experimentais, procuramos homogeneizar as amostras separadamente, de acordo com a sua textura, de forma que houvesse uma maior uniformização possível.

As experiências foram conduzidas da seguinte maneira:

Preparavam-se 10 cápsulas de pirex ou placas de Petri, em cujo interior seriam colocadas 20 gramas de solo arenoso, seco ao ar livre, e colocávamo-las dentro de uma estufa, para um aquecimento a 105°C, durante 24 horas. Ao mesmo tempo, 5 placas de Petri (10 cm de diâmetro), eram pesadas e logo após adicionava-se a mesma quantidade de solo

arenoso, que seriam colocadas no interior do forno de microondas. Essas amostras, dispostas numa posição aleatória dentro da cavidade, eram secadas por microondas durante 5 minutos, onde, a cada final de 5 minutos, eram novamente pesadas, anotando-se seus pesos. Essas operações se repetiam até se atingir uma massa constante. Da mesma forma mais 5 amostras eram preparadas e secadas pelo forno de microondas. Totalizavam-se dessa maneira 10 amostras, tal como na secagem convencional.

Em forma similar procedeu-se com amostras de 50 a 100 gramas. Idêntico procedimento foi empregado com as amostras de solo argiloso e argilo-arenoso.

Atingido peso constante determinava-se o teor de umidade média das 10 amostras colocadas no forno de microondas, bem como a umidade média daquelas amostras colocadas na estufa.

O teor de umidade foi calculado em função do peso seco, mediante a equação 1.

#### 7.2 - Efeito da Radiação de Microondas sobre a Matéria Orgânica dos Solos

Para estudar o efeito das radiações de microondas sobre o teor de matéria orgânica dos solos foram escolhidas as amostras 1, 2 e 3, por apresentarem maior carbono orgânico. Essas amostras, após secadas até peso constante pelo forno de microondas e por estufa convencional ( $105^{\circ}\text{C}$ ), foram submetidas à uma análise de matéria orgânica, comparando-se os resultados com o teor de matéria orgânica do solo seco ao ar, com base solo seco.

#### 7.3 - Relação entre o Teor de Umidade e o Tempo de Secagem por Microondas

Esse tratamento teve como objetivo a obtenção de uma relação entre o tempo de secagem e o teor de umidade que permitisse estimar o tempo em que amostras de 20, 50 e

100 gramas atingiram massa constante.

Considerando a variação proporcional do tempo de secagem com o tamanho das amostras, procurou-se verificar essa influência experimentalmente. De tal forma a se obter melhor padronização procurou-se também verificar a influência do posicionamento das amostras de solo dentro do forno de microondas.

Dessa forma, as amostras de 50 gramas foram posicionadas diferentemente, a cada momento pré-fixado, enquanto as amostras de 20 e 100 gramas foram trabalhadas numa posição central da cavidade, num posicionamento constante pré-estabelecido.

Diversas amostras, ainda num total de 10, para um peso de 20 gramas e tipo de solo eram submetidas a um aquecimento de 105°C na estufa, durante 24 horas. Decorrido esse tempo retiravam-se as mesmas, deixando-as esfriar em dessecadores. Logo após frias iniciavam-se as operações com 5 daquelas amostras.

Assim, inicialmente, tomando-se 5 amostras de 20 gramas de solo argiloso processava-se da seguinte maneira: através de uma bureta introduzia-se naquelas amostras de solo certo volume de água até se atingir 5% da umidade do solo (base peso seco). Tais amostras, conduzidas até o forno de microondas ficavam em repouso durante 15 minutos, de tal forma que aquela água se infiltrasse o mais possível nos poros das amostras de solo. Após esse tempo apertava-se a tecla de funcionamento, ajustando-se o relógio para 10 minutos, os quais, logo que decorridos, efetuava-se nova pesagem e mudava-se a posição das amostras. A partir do momento em que as amostras apresentavam pequenas diferenças de umidade, pesavam-se as mesmas a partir de cada minuto atingido, até que as amostras apresentassem uma massa constante.

De tal forma a se obter um total de 10 procedeu-se identicamente com outras amostras de 5% de umidade no mesmo solo. De forma semelhante continuou-se os experimentos

com 10, 15, 20, 25, 30 e 40% de água do solo, até concluir essa fase com o peso de 20 gramas para as 3 amostras de solo.

As amostras de 100 gramas, trabalhadas identicamente, também foram processadas com os mesmos teores de umidade, ou seja, 5 a 40%, variando de 5 em 5% de água do solo, para cada tipo de solo.

Semelhantemente, com exceção do rodízio efetuado com as amostras de 20 e 100 gramas, efetuaram-se idênticas operações com as 3 amostras de solo para pesos de 50 gramas.

Assim, estabelecendo-se um tempo médio para cada 10 amostras, plotou-se aqueles tempos médios contra aquelas umidades correspondentes, para cada tipo de solo e peso, determinando-se uma relação linear.

#### 3.7.4 - Aplicabilidade do Método

Para verificar a aplicabilidade do método de microondas foram escolhidas 15 amostras de solo (3680-3803, conforme sequência do Quadro 1), com texturas e percentagens de umidade (a ponto de saturação e no estado seco ao ar) diferentes.

Diversas amostras foram preparadas a ponto de saturação e pesadas 20 gramas, que simultaneamente eram dirigidas à estufa e ao forno de microondas, em duplicatas, bem como amostras idênticas de 10 gramas (duplicadas) eram trabalhadas com infravermelho.

Por outro lado, considerou-se as mesmas 15 amostras, que secadas ao ar livre, foram conduzidas da mesma forma à estufa, ao forno de microondas e infravermelho (em duplicatas). O tempo de aquecimento para o forno de microondas foi estimado de acordo com as equações estabelecidas para ambos os casos.

Obtendo-se o peso seco dessas amostras determinou-se a umidade a ponto de saturação e seca ao ar livre pelos métodos - estufa, infravermelho e microondas, através da equação 1, comparando-se, em seguida, os resultados.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 1 - O Efeito do Tempo de Aquecimento sobre a Umidade e a Matéria Orgânica dos Solos

O Quadro 3 apresenta o teor de umidade do solo com dados referentes a três diferentes solos secados numa estufa convencional com circulação de ar e num forno de microondas, bem como os desvios padrões relativos a essas umidades e o coeficiente de variação médio (C.V.M.).

Observando-se os valores das umidades obtidos pela secagem convencional e através da secagem por microondas nota-se que em geral o secamento através de microondas produz valores de umidades maiores que a secagem convencional. Na verdade alguns pesquisadores têm reportado sobre a remoção da água pelo aquecimento da estufa. Segundo DAVISSON & SIVASLIAN (1918) o tempo de 24 horas não é suficiente para remover totalmente a água de uma amostra de solo numa temperatura de 105°C. GARDNER (1965) observou mudanças no peso, em amostras de solo, por períodos tão longos como 15 dias. Com efeito, num solo franco limoso

QUADRO 3 - UMIDADE DO SOLO OBTIDA PELA ESTUFA E O FORNO DE MICROONDAS

Solo	Peso da amostra de solo (g)	Umidade do solo* (%) ± Desvio Padrão	
		Estufa 105°C (24 hs)	Forno de Microondas
Arenoso (% Sat ≈ 20)	20,0	0,31 ± 0,06	0,37 ± 0,11
	50,0	0,43 ± 0,06	0,47 ± 0,06
	100,0	0,51 ± 0,02	0,53 ± 0,02
Argiloso (% Sat ≈ 70)	20,0	7,81 ± 0,72	7,72 ± 0,60
	50,0	8,86 ± 0,13	9,00 ± 0,13
	100,0	8,95 ± 0,07	8,99 ± 0,09
Argilo Arenoso (% Sat ≈ 40)	20,0	2,20 ± 0,27	2,30 ± 0,44
	50,0	2,46 ± 0,08	2,50 ± 0,16
	100,0	2,46 ± 0,09	2,53 ± 0,10
Coef. de Variação Médio (C.V.M.)**		7,50	9,50

(\*) Média de 10 repetições

(\*\*)  $CVM = \text{Soma} \frac{C V}{n}$

onde CV = coeficiente de variação e n = nº de observações consideradas.

com 3% de matéria orgânica e com ilita, predominando na fração argila, constatou perdas de 0,3% no teor de água, a partir do 2º ao 10º dia para o processo de secagem numa estufa de ar forçado a 100-110°C. Por outro lado MILLER et alii (1974), submetendo uma amostra de solo, anteriormente seca numa estufa comum durante 30 horas a uma temperatura de 105°C, ao aquecimento por microondas num tempo de 15 minutos observaram uma perda adicional de 0,09% de umidade.

Considerando-se os desvios padrões calculados, verifica-se que a variação padrão decorrente da secagem por microondas, em alguns casos, se apresentam um pouco maiores, mas isto pode ser considerado não objeção, tendo em vista que os coeficientes de variação médios obtidos são bastante próximos (7,5% para estufa contra 9,5% para microondas).

No Quadro 4 observam-se as umidades perdidas em gramas para diferentes pesos e amostras de solo (nºs 1, 2 e 3) acumuladas ao longo do tempo de aquecimento até atingir a constância.

O mesmo fato pode ser verificado observando-se as Figuras 3, 4 e 5, onde se nota que, em geral, o processo final da secagem parece não variar muito com a textura, mas sim, além do conteúdo da água, com o peso ou espessura da amostra. Para 20 gramas de solo o processo final da secagem se inicia em torno de 10 minutos para os três solos em estudo. BORZANI & PRADO (1972), utilizando um forno de microondas (2450 MHz e 550 Watts), necessitaram 8 minutos para que uma amostra de 10 gramas de argila (26% de umidade) começasse a apresentar sinais de constância na pesagem.

Por outro lado, considerando-se as amostras de solo de 50 gramas observa-se que o tempo necessitado é de 20 minutos, enquanto para 100 gramas o solo argiloso requer 10 minutos mais que os solos arenoso e argilo-arenoso (35 contra 25 minutos). Esta diferença observada para o ca-



QUADRO 4 - UMIDADE PERDIDA EM GRAMAS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO FORNO DE MICROONDAS

Tempo (min)	Umidade Perdida * (g)								
	Arenoso (g)			Argiloso (g)			Argilo Arenoso (g)		
	20,0	50,0	100,0	20,0	50,0	100,0	20,0	50,0	100,0
5	0,01	0,10	0,18	0,60	2,04	2,42	0,14	0,65	0,65
10	0,04	0,18	0,36	1,01	3,30	4,78	0,27	1,04	1,35
15	0,06	0,20	0,44	1,32	3,73	5,87	0,38	1,19	1,84
20	0,08	0,21	0,49	1,40	3,87	6,78	0,43	1,25	2,29
25	0,08	0,23	0,51	1,41	3,93	7,44	0,43	1,26	2,38
30	0,08	0,23	0,52	1,43	4,02	7,93	0,43	1,26	2,39
35	0,08	0,23	0,52	1,43	4,07	8,16	0,43	1,26	2,39
40	0,08	0,23	0,52	1,43	4,12	8,24	0,43	1,26	2,39
45	0,08	0,23	0,52	1,43	4,14	8,25	0,43	1,26	2,39

(\*) Média de 10 repetições.

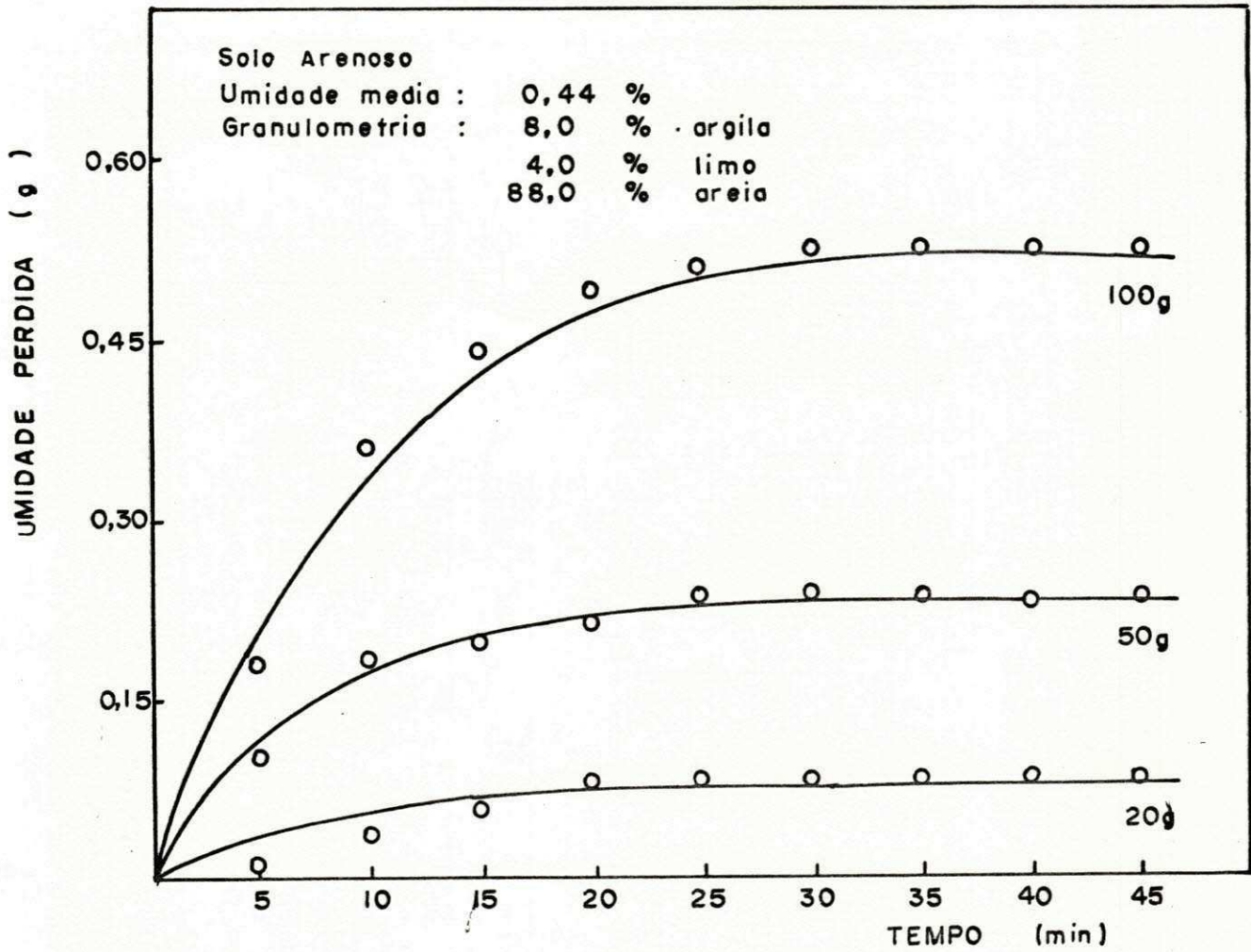


Figura 3 - Curvas típicas da umidade perdida de uma amostra do solo arenoso em função do tempo de secagem no forno de microondas.

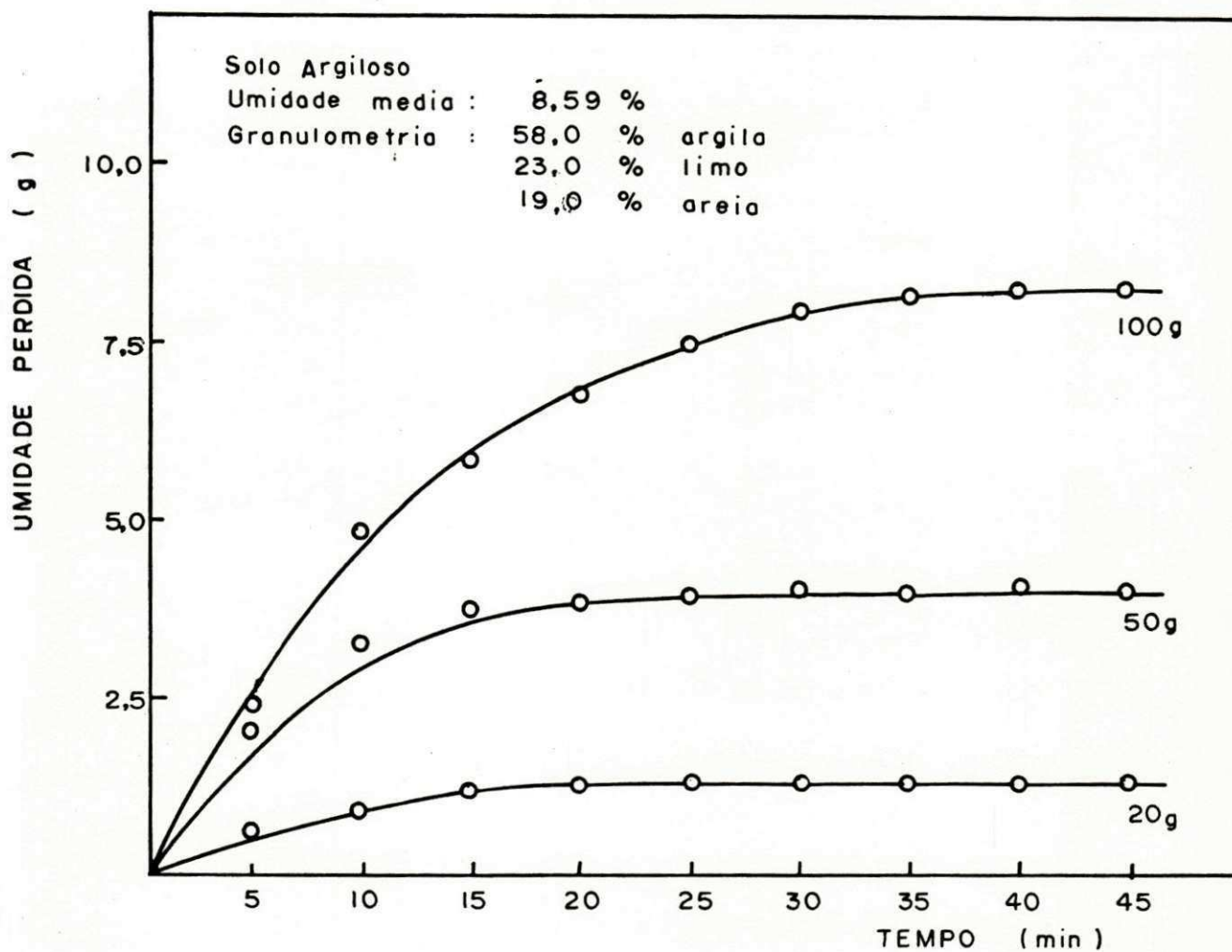


Figura 4 - Curvas típicas da umidade perdida de amostras tra do solo argiloso em função do tempo de secagem no forno de microondas.

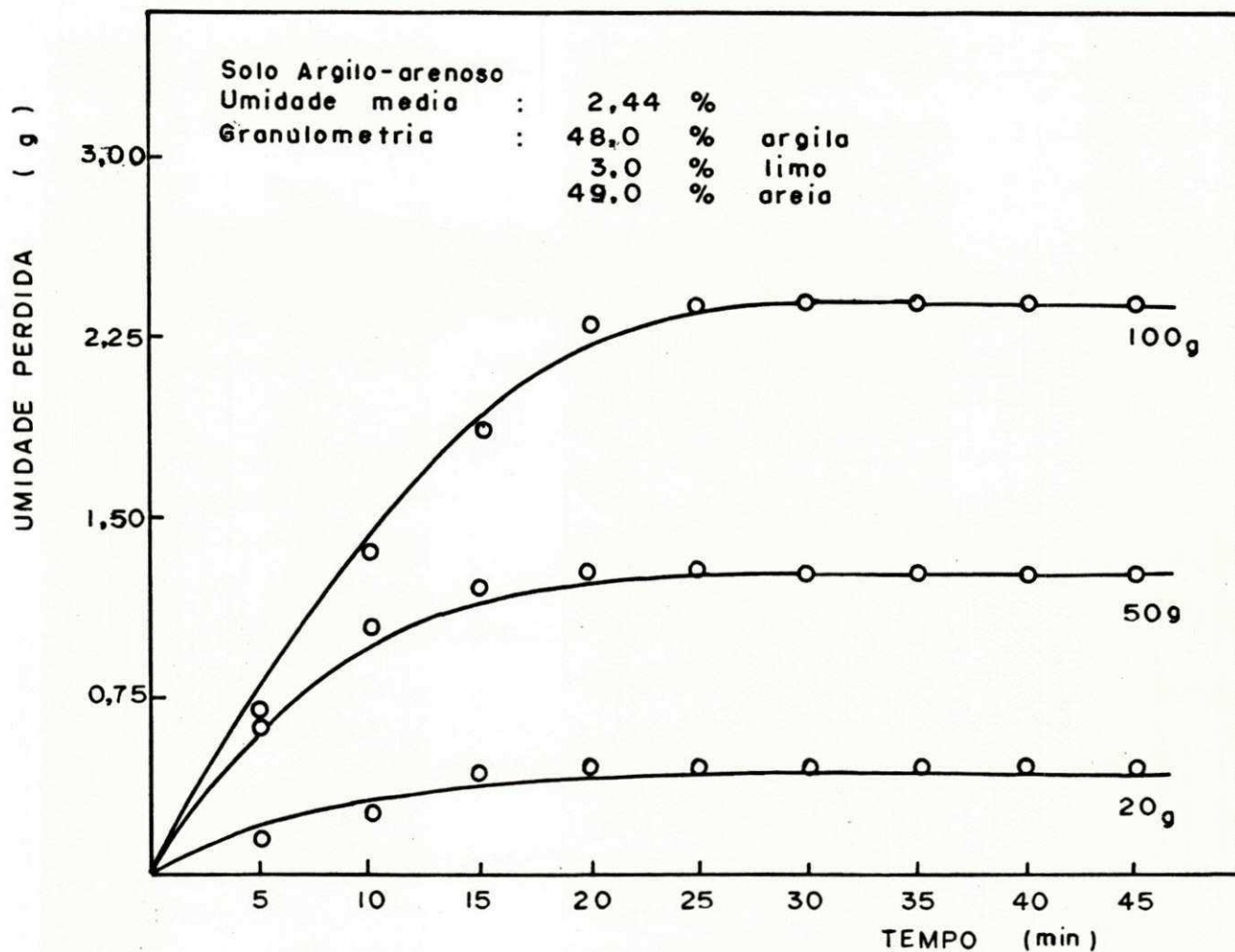


Figura 5 - Curvas típicas da umidade perdida de uma amostra do solo argilo-arenoso em função do tempo de secagem no forno de microondas.

so de 100 gramas pode ser causada pelo alto teor de umidade do solo argiloso.

O reduzido tempo de secagem do forno de microondas para remover uma mesma quantidade de água que a estufa convencional em 24 horas constituiu-se uma razão para verificar a possível perda de matéria orgânica. Os resultados dessas análises se encontram no Quadro 5.

Os valores bastante aproximados da matéria orgânica, obtidos por três tipos de secagem - seco ao ar, estufa e forno de microondas, indicam que o efeito da secagem por microondas ou por estufa não alterou o teor de matéria orgânica. Na verdade muitos pesquisadores têm se referido ao efeito da temperatura sobre o teor orgânico dos solos. GARDNER (1965) reportou sobre a faixa 100-110°C para solos em estufa, e mesmo para essa faixa existe uma pequena parcela perdida de matéria orgânica. A dificuldade para especificar uma temperatura em que não ocorra oxidação da matéria orgânica ainda é um tema em debate, mas, comumente, tem-se secado materiais orgânicos a uma temperatura entre 50 e 70°C, mas como o teor de matéria orgânica do solo não é muito alto não houve perdas significativas à temperatura de 105°C. No caso do forno de microondas MILLER et alii (1974) observaram temperaturas tão altas como 200°C, para uma amostra de solo argiloso aquecido por 35 minutos contínuos. Por outro lado, secando um solo argiloso e verificando o efeito do aquecimento por microondas observaram perdas do teor de nitrato, principalmente naquelas amostras cujo teor de nitrato era alto. Ressalta-se a omissão de medidas de temperatura no presente trabalho pelo seguinte motivo: a cada final de tempo fixado o aparelho continua a funcionar o agitador durante 30 segundos, refrigerando a amostra, de tal forma que se pode removê-las com as mãos, sentindo-as apenas mornas. Saliencia-se ainda que o aquecimento por microondas contrasta com o aquecimento convencional. Este depende da condução de calor da superfície da amostra para o interior, ou seja, a condução de aquecimento pode ser acelerada somente por um aumento de temperatura da superfície, enquan-

QUADRO 5 - TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DOS SOLOS APÓS SECÁ-LOS POR DIFERENTES MÉTODOS

Método da Secagem	Matéria Orgânica * (%)		
	Arenoso	Argiloso	Argilo-Arenoso
Estufa	1,45	7,50	2,95
Forno de Microondas	1,48	7,59	2,93
Seco ao ar **	1,42	7,55	2,95

(\*) Média de 3 repetições

(\*\*) Base peso seco.

to no caso da radiação de microondas existe uma penetração fácil nos materiais contendo água (alimentos, solos, etc.) e produzindo calor. Assim, usualmente, existe uma redução do aquecimento na superfície, proveniente de um refrigeramento circunvizinho <sup>1/</sup>

## 2 - Relação entre o Tempo de Secagem por Microondas e o Teor de Umidade

O Quadro 6 mostra o tempo médio de secagem, referente a 10 repetições, para cada solo, com umidade e tamanhos diferentes. O evidente aumento do tempo com as umidades e com o peso do solo tem-se constatado, mas existe uma diferença muito grande nos tempos obtidos pelas amostras dos solos de 50 gramas, que foram trabalhados diferentemente. De modo que uma possível influência da posição da amostra pode ser aceita como justificativa.

Observando-se o Quadro 7, notam-se os tempos médios de secagem dos três solos, para um mesmo tamanho e umidade. Pelos valores dos coeficientes de variação das amostras de solo de 20 e 100 gramas (2 e 3%) verifica-se não haver grande variação relativa nos tempos obtidos. Para o caso do peso de 50 gramas a variação média é situada em torno de 10%, de forma que a possibilidade de que a posição das amostras influenciou sobre o tempo de secagem pode ser considerada não refutável. Existe uma correlação linear entre o tempo de secagem e a porcentagem de umidade para os solos estudados (Quadro 8) e de acordo com as equações de regressão obtidas pode-se constatar as assertivas anteriores. Para o caso de 20 e 100 gramas, os tempos obtidos em função de uma dada umidade variam muito pouco (os coeficientes angulares para o mesmo peso, nos três solos considerados, são bastante semelhantes), de modo que uma equação geral para cada caso po

---

<sup>1/</sup> The ABC's of Microwave Cooking, Prep. by En. Apl. Newsletter, P. O. Box 241, Amherst, N.H. 03031.

QUADRO 6 - TEMPO DE SECAGEM PARA DIFERENTES AMOSTRAS DE SOLO COM DIFERENTES TEORES DE UMIDADE

Umidade (%)	T e m p o      d e      S e c a g e m *      (Min)								
	Arenoso			Argiloso			Argilo - Arenoso		
	20 g	50 g	100 g	20 g	50 g	100 g	20 g	50 g	100 g
5	11,4	16,2	19,7	11,9	16,9	19,3	11,8	16,7	21,2
10	12,1	18,0	26,0	13,1	20,9	26,1	12,9	21,1	27,2
15	13,5	21,1	30,6	14,0	26,2	30,8	14,1	24,9	33,6
20	14,1	24,7	37,9	14,9	29,1	38,1	15,4	28,2	39,1
25	16,9	27,3	45,8	16,8	34,1	45,1	17,2	33,7	47,3
30	19,1	31,0	52,0	19,0	38,8	51,0	19,1	38,4	54,2
35	20,0	33,9	59,2	20,0	43,2	59,3	20,2	43,1	60,0
40	20,9	36,1	64,1	21,2	46,1	66,0	21,2	44,1	66,9

(\*) Média de 10 repetições



QUADRO 7 - TEMPOS MÉDIOS DE SECAGEM, EM MINUTOS, DE TRÊS SOLOS COM DIFERENTES TAMANHOS E UMIDADES

Umidade	Tempo (Min) $\pm$ Desvio Padrão		
	20 g	50 g	100 g
5	11,7 $\pm$ 0,26	16,6 $\pm$ 0,36	20,0 $\pm$ 1,00
10	12,7 $\pm$ 0,53	20,0 $\pm$ 1,73	26,4 $\pm$ 0,66
15	13,7 $\pm$ 0,32	24,0 $\pm$ 2,65	31,7 $\pm$ 1,67
20	14,8 $\pm$ 0,63	27,3 $\pm$ 2,85	38,4 $\pm$ 0,64
25	17,0 $\pm$ 0,23	31,7 $\pm$ 3,81	46,0 $\pm$ 1,12
30	19,0 $\pm$ 0,08	36,0 $\pm$ 4,39	52,4 $\pm$ 1,63
35	20,0 $\pm$ 0,12	39,7 $\pm$ 4,70	59,5 $\pm$ 0,43
40	21,1 $\pm$ 0,18	42,1 $\pm$ 5,29	65,7 $\pm$ 1,42
C.V.M. *	2,00	10,00	3,00

(\*) C.V.M. = Soma  $\frac{C V}{n}$

onde CV = coeficiente de variação e n = nº de CV.

QUADRO 8 - EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O TEMPO DE SECAGEM, EM MINUTOS, COM O FORNO DE MICROONDAS PARA TRÊS SOLOS COM DIFERENTES CONTEÚDOS DE UMIDADE

S o l o	Peso de Amostra de Solo (g)	Equação da Regressão	Coefficiente de Correlação
Arenoso (% Sat≈20)	20	$T = 9,27 + 0,28H$	0,9860
	50	$T = 12,45 + 0,60H$	0,9978
	100	$T = 12,51 + 1,31H$	0,9880
Argiloso (% Sat≈70)	20	$T = 10,12 + 0,28H$	0,9922
	50	$T = 12,70 + 0,85H$	0,9985
	100	$T = 11,94 + 1,33H$	0,9987
Argilo Arenoso (% Sat≈40)	20	$T = 10,16 + 0,28H$	1,0000
	50	$T = 12,86 + 0,81H$	0,9968
	100	$T = 14,01 + 1,32H$	0,9993
Equações Gerais	20	$T = 9,83 + 0,28H$ $\pm 0,04$	0,9887
	50	$T = 12,69 + 0,76H$ $\pm 0,05$	0,9459
	100	$T = 12,82 + 1,32H$ $\pm 0,04$	0,9973

deria ser obtida sem variações significantes. Porém, para o caso de 50 gramas, isto não tem acontecido, assim, realmente, houve uma influência da posição da amostra sobre o tempo de secagem. As curvas representativas das equações de regressão, para cada tipo e peso de solo, se encontram nas Figuras 6, 7 e 8. Por essas curvas pode-se estabelecer um tempo para secar uma amostra de solo através de uma dada umidade. Salienta-se que mesmo para valores extrapolados tem-se observado a validade das curvas. Com efeito, considerando-se a percentagem de saturação para o solo argiloso como 70%, constataram-se tempos de 30, 66 e 105 minutos, respectivamente, para 20, 50 e 100 gramas, através das equações lineares. Para as mesmas amostras os tempos obtidos experimentalmente foram 30, 66 e 102 minutos, que concordam com aqueles obtidos das equações gerais.

### 3 - Comparação entre os Métodos da Estufa, Microondas e Infravermelhas

A principal finalidade desse estudo foi testar a aplicabilidade da secagem por microondas, comparando com a secagem convencional e radiações infravermelhas. Para isso 15 diferentes amostras de solo foram tomadas para se determinar a umidade a ponto de saturação e a umidade do solo seco ao ar, pelos três métodos citados.

Considerando as amostras com porcentagens de umidades máximas a ponto de saturação e no estado seco ao ar como 70 e 9,0%, respectivamente, os tempos de secagem por microondas foram estimados em 30 e 12 minutos, de acordo com a equação geral (Quadro 8), para um peso de 20 gramas de solo.

Os Quadros 9 e 10 apresentam as umidades das amostras a ponto de saturação e de solos secos ao ar livre, respectivamente. Nas Figuras 9 e 10 pode-se observar as relações existentes entre a umidade determinada pelos três méto-

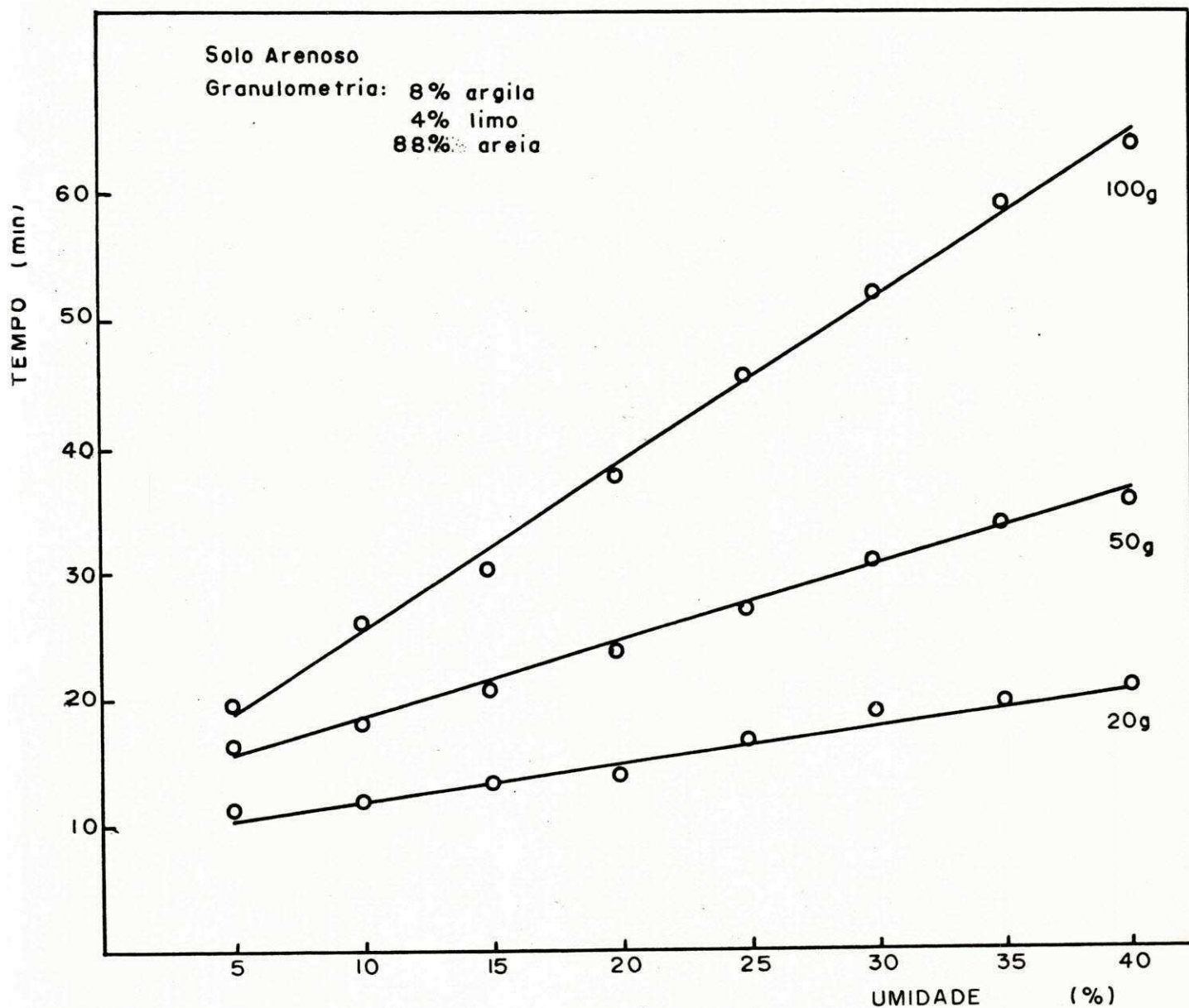


Figura 6 - Relação linear entre diferentes umidades e o tempo de secagem no forno de microondas para obtenção de peso constante do solo.

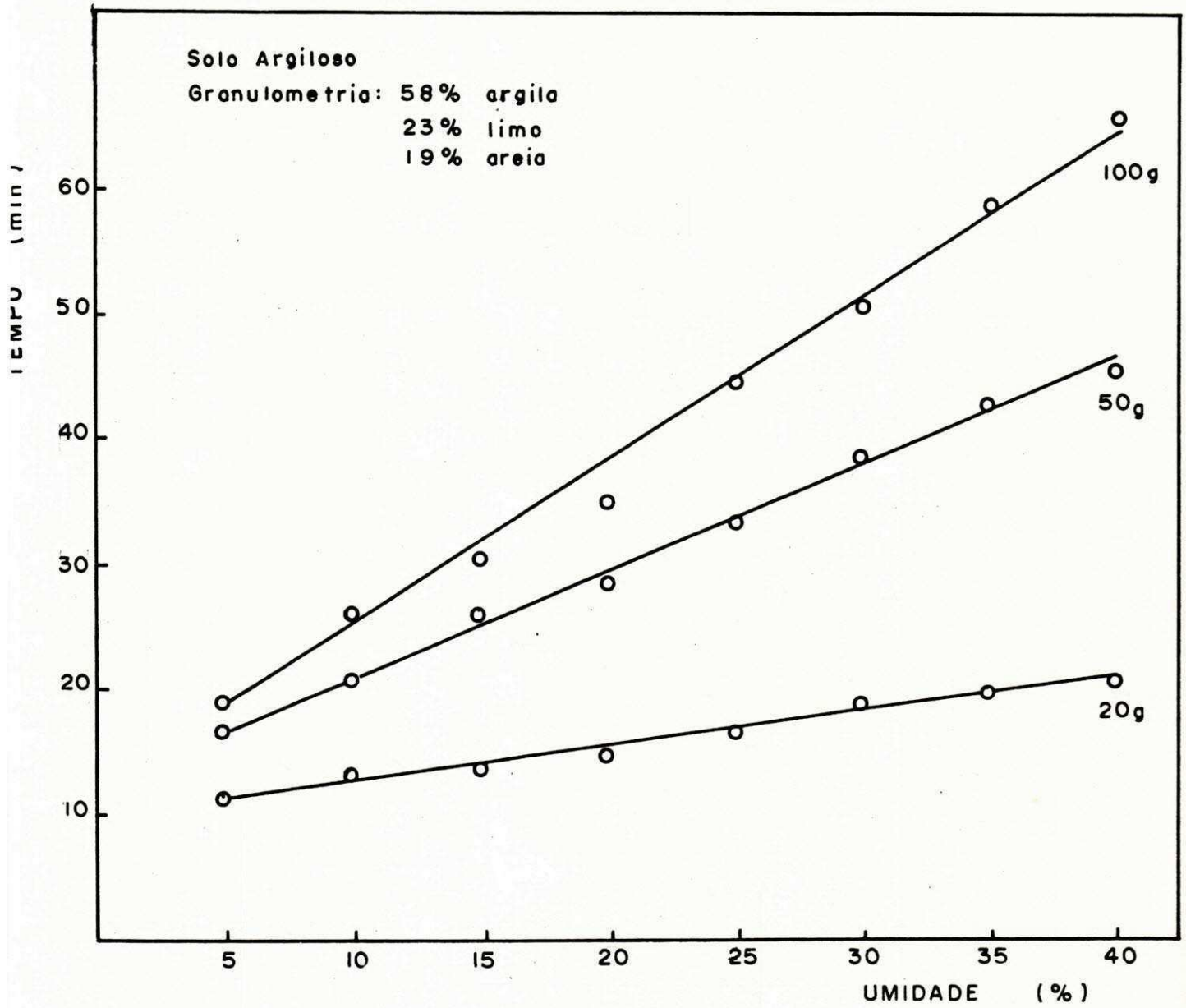


Figura 7 — Relação linear entre diferentes umidades e o tempo de secagem no forno de microondas para obtenção de peso constante do solo.

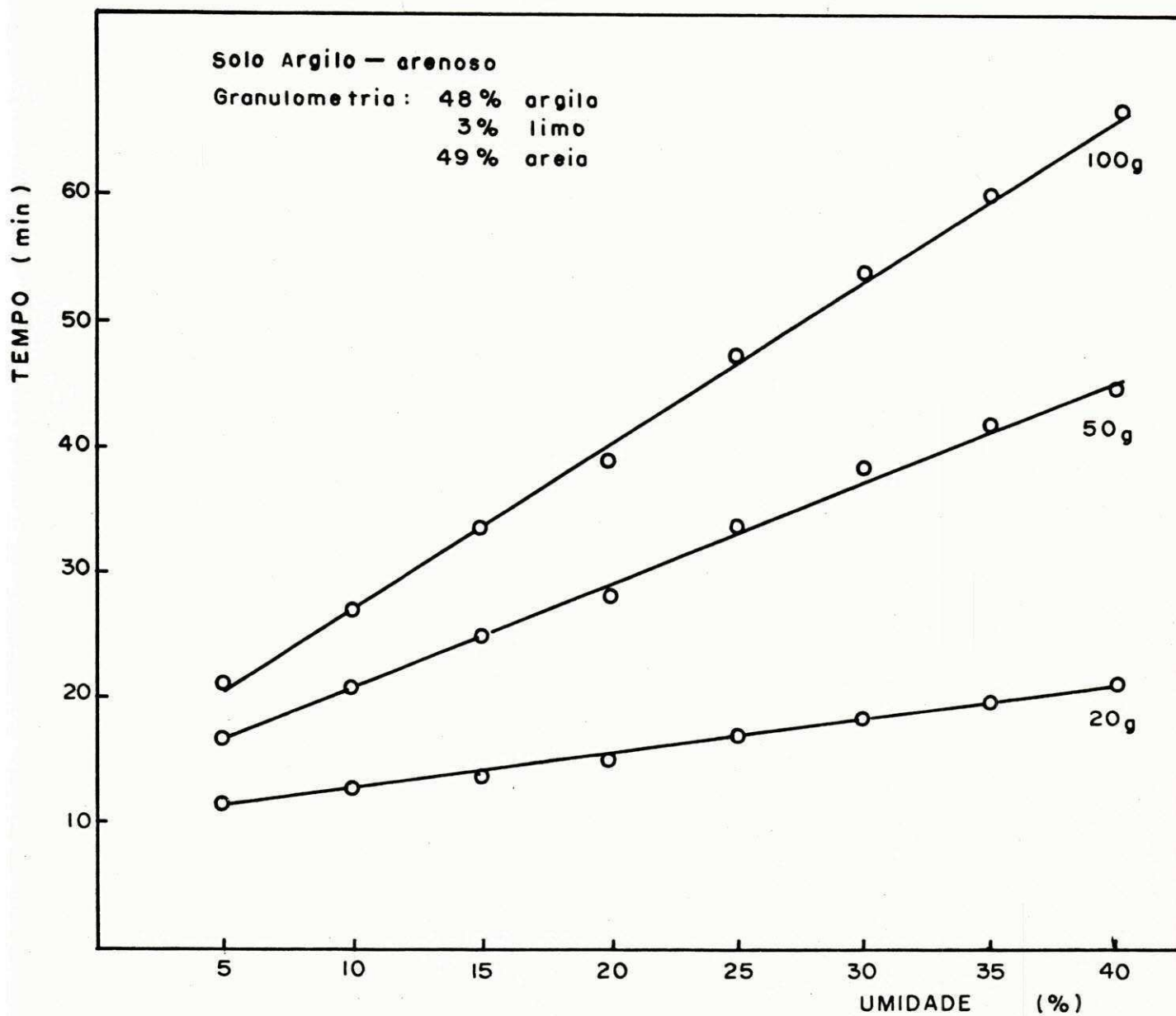


Figura 8 - Relação linear entre diferentes umidades e o tempo de secagem no forno de microondas para obtenção de peso constante do solo.

QUADRO 9 - UMIDADES A PONTO DE SATURAÇÃO DOS SOLOS OBTIDAS PELOS MÉTODOS DA ESTUFA, MICROONDAS E INFRAVERMELHAS.

Amostras	Umidade * (%)		
	Estufa (105°C, 24 Hs)	Microondas (30 Minutos)	Infravermelhas (30 a 50 min.)
3680	23,37	25,72	23,41
3681	30,10	31,59	29,30
3683	20,80	23,72	18,04
3684	36,98	38,90	36,23
3686	46,70	48,49	44,32
3767	53,76	53,36	51,98
3768	19,30	19,02	17,67
3777	28,36	28,38	27,15
3778	22,85	22,16	21,26
3779	27,46	27,47	26,46
3781	38,13	38,36	38,66
3785	28,48	28,35	27,22
3786	30,74	29,88	32,09
3787	31,36	30,71	26,76
3803	21,95	22,28	21,36

(\*) Média de 2 repetições

QUADRO 10 - UMIDADE DOS SOLOS SECOS AO AR OBTIDAS PELOS  
MÉTODOS DA ESTUFA, MICROONDAS E INFRAVERMELHA

Amostras	U m i d a d e * (%)		
	Estufa (105°C, 24 Hs)	Microondas (12 minutos)	Infravermelhas (20 a 50 min.)
3680	0,52	0,63	0,53
3681	1,07	1,01	1,13
3683	0,45	0,52	0,46
3684	2,00	2,66	1,72
3686	2,80	2,65	2,71
3767	3,32	3,27	3,13
3768	0,23	0,28	0,23
3777	2,88	2,47	2,77
3778	2,48	2,24	2,24
3779	2,36	2,36	2,26
3781	3,27	3,17	2,83
3785	2,41	2,02	2,38
3786	3,12	2,77	2,65
3787	3,77	3,30	2,93
3803	0,80	1,17	0,77

(\*) Média de 2 repetições



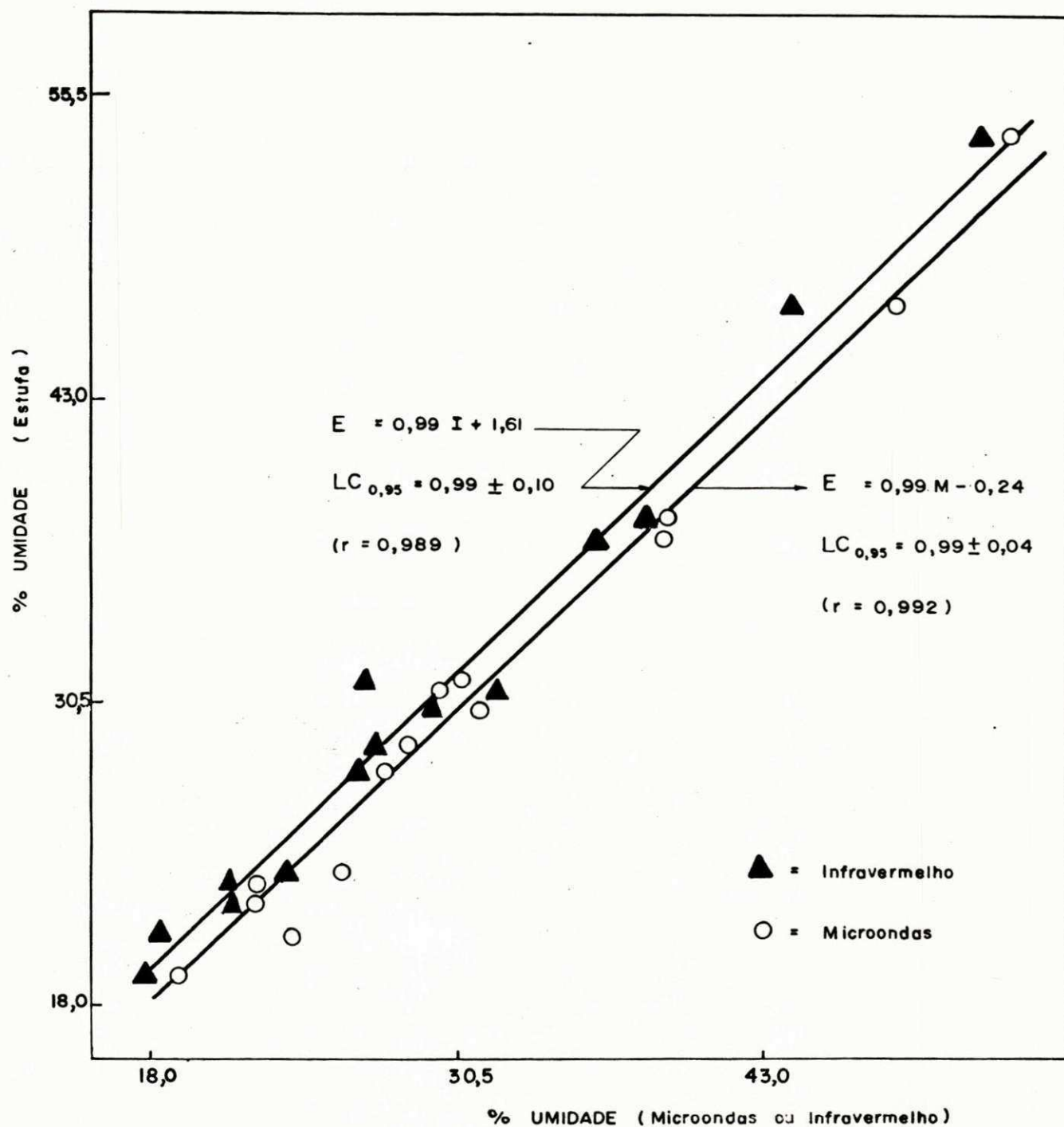


Figura 9 - Relação linear entre a umidade a ponto de saturação dos solos obtidas pelos métodos da estufa, microondas e Infravermelho.

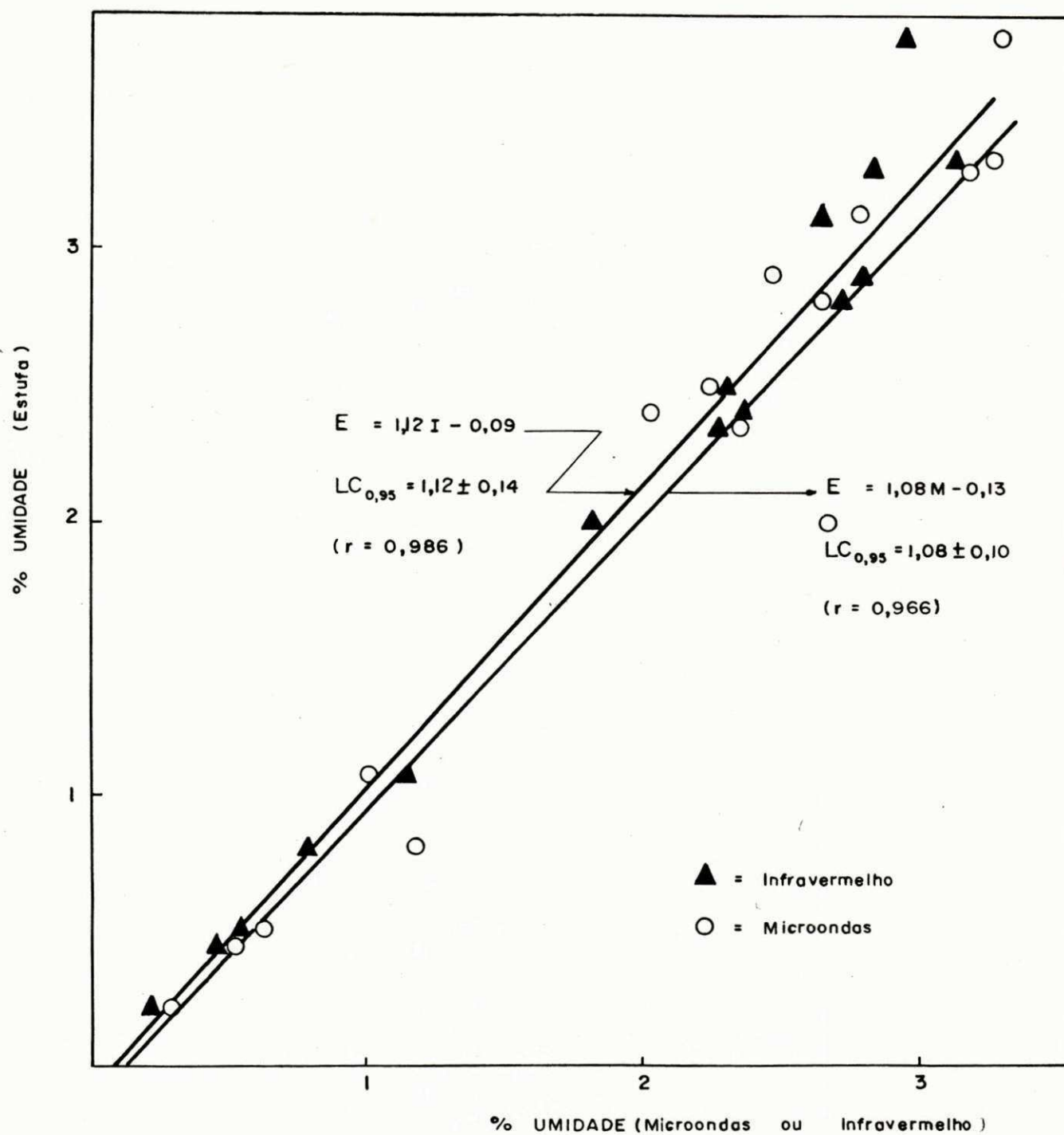


Figura 10 - Relação linear entre a umidade, a ponto do solo seco ao ar livre, dos solos obtidas pelos da estufa, microondas e Infravermelho.

dos como também o coeficiente de correlação e as linhas de regressão. Das plotações obtidas no caso da umidade a ponto de saturação verifica-se que os parâmetros angulares são bastante próximos da unidade, mas a linha proveniente da relação Estufa x Infravermelho apresenta um coeficiente linear maior que 1,5; enquanto na função linear da relação Estufa x Microondas este coeficiente é muito próximo de zero, indicando que o método da secagem por microondas dá valores mais similares aos da estufa.

No caso das amostras secas ao ar as inclinações das retas Estufa x Infravermelho e Estufa x Microondas apresentam valores maiores que 1, mas a última se aproxima mais da unidade. Os valores dos coeficientes lineares em ambos os casos são próximos de zero. Assim, pode-se concluir que também neste caso de amostras secas ao ar o método de microondas é mais aproximado ao da estufa que o infravermelho.

Por outro lado, estatisticamente, da plotação Estufa x Microondas, o limite de confiança, para um teste  $t$  com um nível de significância de 0,05, do coeficiente de regressão de  $E$  para  $M$  foi de  $0,99 \pm 0,04$ , considerando aquelas amostras de solo a ponto de saturação. E para o caso das amostras secas ao ar, encontrou-se  $1,08 \pm 0,10$ . Aplicando-se o mesmo teste para a plotação Estufa x Infravermelho, os limites de confiança para o mesmo nível foram  $0,99 \pm 0,10$  e  $1,12 \pm 0,14$ , respectivamente, para a porcentagem de água obtida a ponto de saturação e seca ao ar. Assim, pelos limites de confiança apresentados, verifica-se que o erro padrão estabelecido pelas plotações Estufa x Microondas tem sido menor nos dois pontos de umidade: umidade a ponto de saturação e umidade do solo seco ao ar.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A - Os resultados indicam que a técnica da secagem por microondas, comparada com a secagem convencional, apresenta melhores resultados que a secagem por infravermelha. Em casos que se deseja determinar a umidade do solo rapidamente, desde que bem operacionada, pode-se obter resultados satisfatórios (como é o caso da irrigação em parcelas, lixiviação de nutrientes, etc.).

B - Esta técnica, além de apresentar um tempo de secagem inferior ao método da estufa e infravermelho, apresenta outra vantagem sobre o segundo que é trabalhar com maior número de amostras.

C - Para cada tipo de forno pode-se estabelecer uma família de equações em função da variação do tamanho do solo. Isto seria o fator básico para estimar o tempo de secagem de qualquer solo utilizado para aquela aparelhagem.

D - O efeito do secamento por microondas sobre o teor de matéria orgânica dos solos não foi notado pelo menos até o limite de 7,5% de matéria orgânica.

E - Devido o feixe de energia se concentrar mais no centro da placa de cozedura, recomenda-se mudar a posição das amostras a cada 10 minutos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETO, G. B. Irrigação. Princípios, Métodos e Prática. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1974, 139 p.
- BORZANI, W. & PRADO, A. O. O Emprego do Forno de Microondas na Determinação da Umidade de Banana, Farinha de Mandioca, Fermento Prensado e Argila. Rev. Bras. Tecnologia, 3 (1), 25-28, 1972.
- BOUYOUCOS, G. J. Rapid Determination of the moisture content of Soils. Science, 64: 651-652, 1926.
- CHEVALIER, M. & RETAILLEAU. Essay d'application des micro-ondes au domaine analytique en Industries laitères. Industrie Alimentaire et Agricole, 87: 243-248, 1970.
- DAKER, A. A Água na Agricultura, 3º volume - Irrigação e Drenagem, Livraria Freitas Bastos, S.A., Rio de Janeiro, 1974, 453 p.
- DAVISSON, B. S. & SIVASLIAN, G. K. The Determination of moisture in soils. J. Amer. Soc. Agron. 10: 198-204, 1918.
- DAY, P. R. Particle Fractionation and Particle-Size Analysis. In: BLACK, C. A., EVANS, D. D.; ENSMINGER, L. E.; WHITE, J. L.; CLARK, F. E. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogic Properties, Including Statis

- tics of Measurement and Sampling. Madison, American Society of Agronomy. 1965. Cap. 43, p. 545-566 (Agronomy).
- DECAREAU, R. V. Microwave Heating Control Techniques. Micro wave Energy Appli. Newls. 5: 3-6, 1972.
- GARCIA-TEJERO, F. D. El Riego su Implantacion y su Tecnica, Ed. Dossat S.A., Madrid, 1971, 412 p.
- GARDNER, W. H. Water Content. In: BLACK, C. A., EVANS, D.D.; ENSMINGER, L. E.; WHITE, J. L.; CLARK, F. E. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogic Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. Madison, American Society of Agronomy. Cap. 7, p. 82-125 (Agronomy 9).
- GOMES, A. M. F.; LEONHARDT, G. S.; TORLONI, M.; BORZANI, R. Microwave Drying of Microorganisms. I. Influence of the Microwave Energy and of the Sample Thickness on the Drying of Yeast. The Journal of Microwave Power, 10 (3), 265-270, 1975.
- HANKIN, L. & SAWHNEY, B. L. Soil Moisture Determination Using Microwave Radiation. Soil Sci. 126 (5): 313-315, 1978.
- LEE, J. W. S. & LATHAN, S. D. Rapid Moisture Determination by a Commercial - tipe Microwave Oven, Tecnique, J.Food Sci, 45: 1487-1487, 1976.
- LEONHARDT, G. S.; GOMES, A. M. I.; BORZANI, W.; TORLONI, M. Microwave Drying of Microorganisms. II. The Use of Mi

- crowave Oven for the Determination of the Moisture Content of Pressed Yeast. Esc. Eng. Mauã, São Paulo, Brasil, 1975, 13 p.
- KRAMER, P. J. Plant and Soil Water Relationships: A Modern Synthesis. Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd. New Delhi, 1975, 482 p.
- MILLER, R. J.; SMITH, R. B.; BIGGAR, J. W. Soil Water Content. Microwave Oven Method. Soil Sci. Am. Proc. 38: 535-537, 1974.
- PAPADAKIS, J. S. Rapid Method of Determining Soil Moisture. Soil Sci. 51: 279-281, 1941.
- RICHARDS, L. A. Diagnóstico y Rehabilitacion de Suelos Salinos y Sodicos. Editorial Limusa, México, 1973, 172 p.
- SMIT, L. Infravermelho e sua utilidade na Indústria. S.A. Philips do Brasil, s.d., 220 p.
- SPIEGEL, M. T. Estatística, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975, 580 p.
- SOIL SCI. SOC. AMER. Glossary of Soil Science Terms. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 330-351, 1965.
- VETTORI, L. Métodos de Análise de Solo. S. J. MA/EPE, 1969, 24 p. (Boletim Técnico, 7).
- ZAMYATINA, B. V. & CHERNIKOVA, T. N. Rapid Method for Determining Soil Moisture. Soviet Agron. 10: 70-75, 1952, (Abstract).