

**NOVOS MÉTODOS EXPEDITOS  
PARA A DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA  
E DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS DO SOLO**

**JOSÉ AMÉRICO LEITE**

**Orientador: NILSON A. VILLA NOVA**

Tese apresentada à Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade  
de São Paulo, para obtenção do Título de Doutor  
em Agronomia, área de concentração: Solo e  
Nutrição de Plantas.

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Dezembro - 1992

NOVOS MÉTODOS EXPEDITOS PARA A DETERMINAÇÃO  
DO TEOR DE ÁGUA E DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS  
DO SOLO.

JOSÉ AMÉRICO LEITE

Aprovada em 23.12.99

Comissão Julgadora:

Prof. Dr Nilson A. Villa Nova  
Prof. Dr Geraldo Victorino França  
Prof Dr Octavio Freire  
Prof Dr Osny S. Bacchi  
Dr Jomar Paes Pereira

ESALQ/USP  
ESALQ/USP  
FCT/UNESP  
CENA/USP  
IAPAR/PR



Prof Dr. NILSON A. VILLA NOVA

ORIENTADOR

"Al perderte"

"Al perderte yo a ti  
Tu y yo hemos perdido:  
yo por que tú eras  
Lo que yo más amaba  
y tú por que yo era  
el que te amaba más.  
Pero de nosotros dos  
tú pierdes más que yo:  
Porque yo podre amar a otras  
como te amaba a ti,  
pero a ti no te amavam  
como te amaba yo."

Ernesto Cardenal

## DEDICO ESTE TRABALHO

Aos meus filhos  
Ana Luíza, Américo e Ana Paula  
como parte do carinho que tenho por vocês

A meu pai  
João Anastácio Leite  
Por tudo que me ensinou,  
o meu mais profundo respeito  
e admiração.

A minha mãe e irmã  
Luíza e Salete  
com carinho e amor

Aos amigos de fé Nilton Bueno  
e Vicente Troccoli pelo apoio,  
estímulo, contribuição e grau de  
irmandade que sempre nos uniu.

A meu irmão querido que se  
foi precocemente

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa de estudo, durante o curso de Solos e Nutrição de Plantas.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ-USP e aos professores, que possibilitaram a realização desta tese.

Ao Prof. Octávio Freire pela maestria na maneira de apontar os erros e equívocos deste trabalho e de como contorná-los.

Ao pesquisador Elson Soares dos Santos pela colaboração na análise estatística.

Ao professor José Onaldo Montenegro pela eficiente ajuda na classificação dos solos estudados.

À Dinalva Medeiros de Moraes e Débora Chaves Gomes, pela revisão linguística e referências bibliográficas respectivamente.

Os meus sinceros agradecimentos ao Prof. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA pela orientação precisa e amigável, pelo imprescindível apoio, incentivo e compreensão demonstrado durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.....	3
2.1 - <u>Conceito de Densidade e sua relação com outras Propriedades</u> .....	3
2.2 - <u>Avaliação do Teor de Água no Solo e sua Importância Agrícola</u> .....	4
3 - MATERIAL E MÉTODO.....	13
3.1 - <u>Solos</u> .....	13
3.1.1 - <u>Equipamento</u> .....	14
3.2 - <u>Dedução da fórmula da Densidade das Partículas(Método Proposto)</u> .....	15
3.2.1 - <u>Fórmula da Densidade das Partículas do Solo Corrigida</u> .....	17
3.3 - <u>Método do Balão Volumétrico - EMBRAPA/SNLCS (1979) Método Convencional</u> .....	19



3.4 - <u>Dedução da Fórmula do Teor de Água do Solo (Método Proposto)</u> .....	20
3.5 - <u>Determinação do Teor de Água do Solo pelo Método Gravimétrico (Método Convencional)</u> .....	23
3.6 - <u>Método para a obtenção de: <math>M_0</math>, <math>M</math> e <math>M'</math></u> .....	23
<p><math>M_0</math> = peso do balão + água  <math>M</math> = peso do balão + solo seco + água  <math>M'</math> = peso do balão + solo seco + água</p>	
3.6.1 - Determinação de $M_0$ .....	24
3.6.2 - Determinação de $M$ .....	24
3.6.3 - Determinação de $M'$ .....	25
3.7 - <u>Delineamento Experimental</u> .....	25
3.8 - <u>Análise Estatística</u> .....	26
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 - <u>Densidade das Partículas</u> .....	28
4.2 - <u>Teor de Água do Solo: Método Gravimétrico Vs Método do Balão</u> .....	34
4.3 - <u>Influência do peso das amostra</u> .....	38
5 - CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS

	Pág.
TABELA 1 - DENSIDADE DAS PARTÍCULAS DO LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO, TERRA ROXA ESTRUTURADA LATOSSÓLICA, LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO E SOLO ALUVIAL.....	29
TABELA 2 -DENSIDADE DAS PARTÍCULAS DOS SOLOS: HIDROMÓRFICO CINZENTO, PODZÓLICO VERMELHO AMARELO LATOSSÓLICO, BRUNIZEM E ORGÂNICO.....	30
TABELA 3 - GRANULOMETRIA, CARBONO ORGÂNICO, ÓXIDO DE FERRO E DENSIDADE DAS PARTÍCULAS DOS SOLOS ESTUDADOS.....	32
TABELA 4 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS, OBTIDAS PELO MÉTODO DA(EMBRAPA/SNLCS, 1979) E PELO MÉTODO DO BALÃO.....	33

- TABELA 5 - TEOR DE ÁGUA EM PERCENTAGEM DE PESO SECO PARA OS SOLOS: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, TERRA ROXA ESTRURURADA LATOSSÓLICA, LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO E SOLO ALUVIAL ..... 35
- TABELA 6 - TEOR DE ÁGUA EM PERCENTAGEM DE PESO SECO PARA OS SOLOS: HIDROMÓRFICO CINZENTO, PODZÓLICO VERMELHO AMARELO LATOSSÓLICO, BRUNIZEM E ORGÂNICO..... 36
- TABELA 7 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DO TEOR DE ÁGUA EM PERCENTAGEM DE PESO SECO OBTIDOS PELO MÉTODO GRAVIMÉTRICO E PELO MÉTODO DO BALÃO..... 37
- TABELA 8- INFLUÊNCIA DO PESO DA AMOSTRA NA PRECISÃO DA ESTIMATIVA DO TEOR DE ÁGUA DO SOLO ..... 40
- FIGURA 1 - INFLUÊNCIA DO PESO DA AMOSTRA NA PRECISÃO DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA DO SOLO  $m_{ss}=m_{su}=200$ ..... 41
- FIGURA 2 - INFLUÊNCIA DO PESO DA AMOSTRA NA PRECISÃO DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE

ÁGUA DO SOLO  $m_{ss}=m_{su}=100$ .....42

FIGURA 3 - INFLUÊNCIA DO PESO DA AMOSTRA NA  
PRECISÃO DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE  
ÁGUA DO SOLO  $m_{ss}=m_{su}=50$ ..... 43

## Novos Métodos Expeditos Para Determinação do Teor de Água e da Densidade das Partículas do Solo

Autor: José Américo Leite  
Orientador: Prof. Dr. Nilson A. Villa Nova

### RESUMO

Para a obtenção do teor de água do solo e da densidade das partículas, são propostos métodos simples rápidos, econômicos e eficientes. Os solos que serviram de objeto para este estudo foram os seguintes: Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Roxa Estruturada Latossólica, Latossolo Roxo Distrófico, Solo Aluvial, Solo Hidromórfico Cinzento, Solo Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico, Brunizem e Solo Orgânico. A escolha desse material foi feita visando uma ampla variação de textura, percentagem de óxido de ferro e percentagem de matéria orgânica. Observou-se que os valores da densidade das partículas, obtidos pelo método do balão, são ligeiramente superiores, com diferença observável, apenas, na segunda casa decimal aos valores determinados pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA/SNLCS, 1979). Os dados enfatizaram a influência do óxido de ferro e da matéria orgânica nos valores da densidade das partículas. Verificou-se que os maiores valores (2,81 e 2,80) foram obtidos para o Latossolo Roxo Distrófico e

para a Terra Roxa Estruturada Latossólica, cujas percentagens de óxido de ferro eram, respectivamente, de 24,00 e 10,10; enquanto que o Solo Orgânico exibiu o menor valor (0,94); que deve ter ocorrido em consequência do alto teor de matéria orgânica; os resultados dos teores de água obtidos pelo balão e determinados pelo método gravimétrico, sugerem que o método proposto possa ser utilizado com vantagem sobre o método gravimétrico; uma vez que o balão alia simplicidade com rapidez, praticidade e baixo custo operacional. Os resultados estatísticos revelaram diferenças não significativas (5%) entre os valores obtidos pelos métodos propostos e os obtidos pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA/SNLCS, 1979) e pelo método gravimétrico. É aconselhável, no método proposto, fazer-se a determinação do teor de água com amostras de solo de 200 gramas, posto que, dessa forma, imprecisões na pesagem da amostra, não provocariam grandes alterações no valor do teor de água.

## New Methods For Determination of the Soil Water Content and Particle Density

Author: José Américo Leite  
Adviser: Prof. Dr. Nilson A. Villa Nova

### SUMMARY

Simple, quick, cheap and efficient methods for the determination of the soil water content and particle density are proposed. The following soils were analyzed: Quartzipsammentic Haplortox, Oxic Paleudalf, Typic Haplortox, Tropo Fluvaquent, Abruptic Arenic Ochrhaquult, Kandic Paleustult, Typic Argiudoll and Fluvaquentic Troposaprist. These soils have a wide variation of texture, iron oxide and organic matter content, so they are proper in order to test the efficiency of the methods. It was observed that the values of particle density, which were obtained using the level glass flask method are slightly higher than the ones determined by the volumetric glass flask method (EMBRAPA/SNLCS, 1979). The data emphasized the influence of the iron oxides and organic matter in the particle density of the soils, as a matter of fact, it was verified that the highest values (2,81 and 2,80) were obtained for the Typic Haplortox and Oxic Paleudalf, whose contents of iron oxide are rather high, while the lowest values (0,94) were those of the Fluvaquentic Troposaprist, which has a high organic matter content. The experimental results showed no statistically significant (5%)

differences between the data of the proposed method, and those of the others the, usual oven-drying and the volumetric glass flask method (EMBRAPA/SNLCS, 1979).

It's recomendable, in the proposed method, to take the determination of the water content on samples of 200g, because small differences in weight wouldn't cause significant changes in the values of water.



## INTRODUÇÃO

Numerosos trabalhos, preconizando novos métodos de obtenção da densidade das partículas e do teor de água do solo, são conhecidos. Não obstante, nenhum deles se apresentou como promissor do ponto de vista prático e econômico como seria desejável. Os procedimentos comuns para a obtenção dessas duas características físicas ainda estão a exigir mão-de-obra especializada para a sua perfeita determinação, além de necessitarem de equipamento especial, normalmente, caro e de custo além do poder aquisitivo de grande parte dos agricultores. Dentre os métodos para a determinação do teor de água do solo, destacam-se: o gravimétrico, o "Speed", o tensiométrico, o da moderação de neutrons, o da reflectometria de microondas, o da tomografia computadorizada e o das pesagens. Todos, apesar de corretos, apresentam o inconveniente de não poderem ser levados a efeito de maneira, simultaneamente, rápida e econômica.

O gravimétrico é o mais antigo, o mais preciso e por isso é considerado o método padrão. Entretanto, apresenta duas desvantagens que comprometem a sua utilização generalizada. A primeira é que necessita de dezoito a vinte e quatro horas para que se obtenham os resultados. A segunda é que requer aparelhos apropriados, tais como: estufa e balança.

O Speed é um método que se baseia na reação do carbureto de cálcio com a água. Uma das suas

desvantagens é que, para solos argilosos, sua precisão é pequena, em face da dificuldade de se destorroar os agregados.

A tensiometria é um método direto para a determinação do potencial da água no solo e indireto para a determinação do teor de água; uma vez que, o tensiômetro é um aparelho que não funciona para tensões superiores a 0,75 atm.

A moderação de neutrons, a reflectometria de micro-ondas e a tomografia computadorizada têm sido aplicadas com sucesso na determinação do teor de água do solo; entretanto, esses métodos apresentam a desvantagem de requererem um elevado investimento.

O método das pesagens (KLAR et alii, 1966) é um método direto e de precisão relativamente boa. Tem a grande vantagem de dar resposta, logo após a retirada da amostra; mas apresenta como desvantagem, a necessidade de se determinar a densidade das partículas do solo, o que, praticamente, inviabiliza o seu uso generalizado.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método para a determinação da densidade das partículas e para a determinação do teor de água do solo, cuja execução seja simples, rápida e de baixo custo. Embora não se espere que dêem resultados de alta precisão, almeja-se que venham satisfazer as necessidades dos agricultores, fornecendo resultados utilizáveis para fins de irrigação e de preparo do solo.

## 2. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

### 2.1 Conceito de Densidade e sua Relação com Outras Propriedades

Segundo BLACK (1965), densidade das partículas é "o conjunto das partículas sólidas do solo, expressa como a relação entre a massa total das partículas sólidas e seu volume total, excluindo-se os espaços dos poros entre as partículas".

A densidade das partículas do solo é utilizada nas expressões que descrevem os fenômenos físicos do solo, tais como: porosidade e sedimentação das partículas em fluidos. O seu conhecimento é importante, muito embora, não apresente modificações com o uso do solo. CINTRA et alii. (1983), testando o efeito de cinco sistemas de manejo sobre as propriedades físicas do solo, após dezesseis anos de uso, não observam diferenças na densidade das partículas do solo em nenhum dos horizontes analisados.

(MENDES et alii, 1954) encontraram para densidade das partículas em solo da série Ecologia, o valor de 2,59 nos primeiros 20 cm do solo (horizonte Ap.) e RAMOS (1970), trabalhando com a mesma série obteve o valor de 2,62 nos primeiros 20 cm do horizonte Ap.

BOUMA & HOLE (1971) observaram um aumento na densidade das partículas em solos cultivados, pela redução do teor de matéria orgânica.

SOUZA & COGO (1978), trabalhando com a unidade de mapeamento São Jerônimo, classificada como solo Laterítico Bruno Avermelhado distrófico, observaram uma pequena variação na densidade das partículas nas áreas e camadas estudadas. COSTA (1983), estudando o efeito da matéria orgânica em algumas propriedades do solo, encontrou valores de densidade das partículas que variaram de 2,81 a 2,67, quando a matéria orgânica variou de 0 % a 10% concluindo que há um efeito direto da matéria orgânica sobre a densidade do solo e a densidade das partículas.

Na opinião de HILLEL (1970), em solos minerais, a densidade das partículas é quase constante e varia de 2,60 a 2,70.

Segundo ROBINSON (1967), como a maior proporção da matéria mineral dos solos é constituída de quartzo, feldspato e argila, a densidade das partículas livres de matéria orgânica é, geralmente, da ordem de 2,65; entretanto, havendo um teor acentuado de matéria orgânica, esse valor é mais baixo, aumentando, no entanto, na presença de óxido de ferro.

## 2.2 Avaliação do Teor de Água no Solo e sua Importância Agrícola

Não há dúvida que a disponibilidade de água do solo é fator essencial ao desenvolvimento das culturas e

que seu conhecimento permite um melhor aproveitamento das diferentes épocas de plantio. A maioria das culturas possui períodos críticos, durante os quais a deficiência de água causa sérias reduções à produção. Não é raro a escassez de água frustrar produções agrícolas inteiras em determinadas regiões.

ROSE & STERN (1967) mediram o teor de água do solo e sob condições de campo, calcularam o potencial de água, a partir de curvas de tensão.

STONE et alii (1973) e ARYA et alii (1975) usaram tensiômetros para medir o potencial de água no solo e determinaram os conteúdos de água dos perfis, a partir de curvas de retenção.

VAN BAVEL et alii (1968) e ALLMARES et alii (1975) fizeram medições no campo do teor de água do solo, com medidor de nêutrons.

Segundo HENNINGER et alii (1976), a quantidade de água retida por um solo é função de diversas propriedades, tais como textura, matéria orgânica, densidade do solo e estrutura. Eles observaram, ainda, no campo, que o regime hídrico dos solos, foi um bom indicador da drenagem interna. HILLEL (1971) afirma que a importância do processo de redistribuição de água é considerável uma vez que determina a quantidade de água retida em função do tempo e da profundidade do solo. A taxa e duração do fluxo de água, em profundidade, durante a redistribuição, determinam a capacidade efetiva de armazenamento de água do solo, propriedade muito importante, particularmente, em regiões áridas e semi-áridas.

A prática de determinação do teor de água do solo, de maneira simples, rápida e de baixo custo, tem sido

incentivada pela maioria dos pesquisadores que trabalham em áreas irrigadas. Irrigações muito frequentes não têm sido recomendadas por aumentar os custos de operação e ampliar as perdas de água por evaporação e percolação. Dependendo da cobertura vegetal e das condições do teor de água do solo, as perdas por evaporação podem atingir 50 % da evapotranspiração (FISHER & TURNER - 1978).

Diversos pesquisadores, IENSEN & EIRE (1971), PHENE (1974), RAWLINS & RAATS (1975), RAWLINS (1973), PHENE & SANDERS (1976), PHENE & BEALE (1976), MILLER & AARSTAD (1976) E MILLER (1977) afirmaram que é possível manter a mesma produção a um nível de evapotranspiração menor que o seu valor máximo. Em zonas áridas e semi-áridas, onde a economia de água de irrigação é fator relevante controlar o teor de água do solo torna-se tarefa, praticamente, indispensável.

Uma das principais limitações à produção agrícola é constituída pelo fenômeno do veranico que pode reduzir muito o rendimento das culturas. Os efeitos do déficit de água em diferentes estágios do desenvolvimento da soja têm sido examinados por diferentes autores, DOSS et alii (1974), SULLIVAN & BRUN (1975), FINN & BRUN (1980). Esses pesquisadores observaram que, de modo geral, a soja resiste a curtos intervalos de seca; porém, não resiste à falta de água na germinação, no período após a emergência, nos estágios de floração, formação de vagem e enchimento de grãos. O déficit de água na soja reduz a fotossíntese, a transpiração, o diâmetro e altura do caule, a respiração e a fixação de N. Ter conhecimento do teor de água do solo, nos diversos ciclos fenológicos, da soja, a fim de controlar um possível déficit parece ser a maneira mais racional de aumentar a produtividade dessa importante cultura.

O conhecimento do número de dias disponíveis para realizar o preparo do solo, visando a implantação de culturas é fator decisivo para estabelecer um programa de mecanização. O principal fator que determina as condições ideais do solo para ser trabalhado é o seu teor de água (CORRÊA, 1982). Solos com baixo conteúdo de água apresentam-se, geralmente endurecidos, devido ao efeito cimentante de suas partículas. Na possibilidade do solo ser preparado, nessas condições, haverá a formação de torrões e no caso do solo se encontrar com teor de água superior ao limite inferior de plasticidade sua massa apresentará plasticidade; isto é, a massa do solo perderá a capacidade de recuperar sua estrutura original ao cessar a ação deformante (CORRÊA, 1982). Esse pesquisador assinala que o limite inferior de plasticidade do Latossolo Amarelo textura argilosa está compreendido entre 40 e 42%, o que quer dizer que se esta unidade for mecanizada com tal nível ou mais, tenderá a ficar compactada. A condição ideal para o preparo do solo é, portanto, aquela em que o teor de água do solo se encontre ligeiramente abaixo do limite inferior de plasticidade.

ALI (1977) aponta as dificuldades encontradas em se estabelecer critérios de mecanização baseados apenas no teor de água do solo e sugere que, ao mesmo tempo, se incluam os efeitos da densidade e estrutura na resistência à penetração do solo. A relação entre umidade e resistência à penetração é avaliada com o penetrômetro de cone e foi utilizado por aquele pesquisador como um critério para estimar as mudanças na resistência do solo, em função da umidade.

BROWNING & NORTON (1945), PAGE et alii (1946), MUSGRAVE et alii (1955), COOK (1958), MEYER & MANNERING (1961), FREE et alii (1966), SHEAR

(1968), BURWELL et alii (1958) e BLEVINS et alii (1971) alertaram para o fato de que as tradicionais práticas de manejo, em geral, modificam as condições físicas do solo. De modo que ter conhecimento do teor de água do solo, antes do início das práticas de mecanização agrícola é fator importante para se conservar suas propriedades físicas em condições ideais para os cultivos.

SHANHOLTZ & LILLARD (1968) mostraram que o teor de água do solo foi o fator dominante de diferenças na produção de milho, quando submetido a dois tipos de manejo: o convencional (mecanizado) e o plantio direto. Na agricultura mecanizada, a constante movimentação de tratores e máquinas agrícolas sobre o solo, durante as fases de aração, gradagem, adubação, plantio e colheita dão origem, na maioria dos casos, ao fenômeno da compactação, que produz efeitos danosos sobre a produtividade das culturas, além de aumentar o risco de erosão. O manejo correto do solo, visando minimizar esses efeitos, consiste em somente mobilizar o solo quando apresentar-se com teor de água abaixo do limite inferior de plasticidade. (CORRÊA, 1982). A determinação no campo do teor de água do solo, antes das operações de mecanização, é de grande importância nas práticas de conservação do solo, no desenvolvimento e na produção das plantas.

O teor de água do solo tem sido reconhecido como um fator importante na classificação e gênese dos solos (SOIL SURVEY STAFF, 1975). O estado da água no solo afeta continuamente as propriedades do solo devido à sua influência sobre a intemperização, formação, friabilidade e permeabilidade. É, também, um fator importante na erosão de alguns solos sob outras condições, regimes de saturação da água no solo originam condições de baixa aeração para as culturas e, solubilizam elementos, como Ferro e Manganês, que acabam



sendo tóxicos para as plantas ou contribuem, para a lixiviação de diversos nutrientes como Nitrato, Potássio e Sulfato. MILLAR et alii (1975).

Segundo KAFKARI (1973), a quantidade de Potássio lixiviado da zona radicular depende da capacidade de troca catiônica do solo e da concentração de cátions na água. Ao contrário dos nitratos e cloretos, o Potássio não avança com a frente de molhamento do solo. (BRADY, 1974), indicando que as perdas de nutrientes podem ser consideravelmente variáveis, de acordo com as características do clima, dos solos e dos sistemas de cultivos. ESPINOZA & REIS (1982) constataram que um Latossolo Vermelho escuro do cerrado, os fluxos de drenagem e de nutrientes são rápidos e como esses solos possuem baixa disponibilidade de água, requerem irrigações com alta frequência. Esse fato favorece os processos de perdas por lixiviação dos nutrientes solúveis, de modo que controlar o teor de água do solo é extremamente importante para a eficiência e a economia dos fertilizantes.

Dentre os diversos métodos rápidos para se determinar o teor de água do solo, destaca-se o procedimento utilizado por BOUYOUCOS (1926, 1927, 1928 e 1937), que procurou eliminar a água das amostras pela queima de álcool. A técnica consiste no embebedimento prévio da amostra com álcool, que queimado, produz um calor suficiente para evaporar a água do solo. Nesse método, dois cadinhos são utilizados: o primeiro, com uma pequena abertura na base, media uma polegada de diâmetro por uma polegada de altura. Esse cadinho era colocado sobre o segundo, que media cerca de três polegadas de diâmetro, por uma de altura. No primeiro cadinho, era colocado papel de filtro em sua base e em seguida, mais ou menos 25 gramas de solo. A amostra era embebida com álcool, que era, então, queimado. Quando este tinha sido, totalmente consumido, o

conjunto era pesado. Para se certificar que todo o teor de água do solo tinha se evaporado, adicionava-se álcool no segundo cadinho e este, era novamente queimado. Quando a chama se extinguia, o conjunto era pesado e o processo continuava até se obter peso constante.

Muito embora, autores reconheçam que o processo para a determinação do teor de água do solo, proposto por BOUYOUCOS (1937), apresenta certas limitações, não descartam o seu uso. KALASHNIKOV (1939), IVANOV (1953) e VOSKRESENSKII & LEVINA (1953) encontraram falhas no método; mas, o aprovam e o recomendam. GRABOVSKYY (1939) e DOYARENKO (1937) consideram o método da queima do álcool inaceitável para a determinação do teor de água do solo.

Segundo OGANESYAN (1958), o método de BOUYOUCOS (1937), apesar de rápido e fácil, apresenta as seguintes limitações: a tampa do aparelho não fecha firmemente, podendo haver perda do solo, a amostra pode absorver umidade depois da secagem inicial, a queima não se processa de maneira uniforme, o método exige entre cinco a seis combustões até que a água seja totalmente evaporada.

OGANESYAN (1958) propôs um método para a determinação do teor de água do solo, baseado, também, na queima de álcool. O aparelho desse autor consistia numa vasilha de alumínio, medindo 38 mm de altura por 50 mm de diâmetro. A sua base era formada por uma tela ou peneira, cujas aberturas mediam 0,1 mm. A base da vasilha evitava o contato direto da chama produzida com a amostra.

O tripé do aparelho mede de 2 a 3 mm de diâmetro a menos que a base do recipiente onde estava fixado e

sua altura era de tal modo que, colocando-se este recipiente sobre um segundo, a borda do primeiro ficava 1cm mais alta que a borda desse último. A diferença de altura entre uma vasilha e a outra é importante para que a combustão ocorra com uma tomada normal de ar, possibilitando assim, uma queima mais uniforme. OGANESYAN (1958) trabalhou com amostras de solo pesando de 3 a 5 gramas e conseguiu com apenas duas combustões que todo o teor de água do solo contido na amostra fosse evaporado.

PAPADAKIS (1944) e KLAR et alii (1966) propuseram método para obtenção do teor de água do solo de maneira simples e rápida. O método proposto por aqueles pesquisadores consiste em se colocar uma determinada quantidade de solo seco a 105 °C num balão de 500 ml, completar o volume com água e pesar o conjunto. O peso obtido é o padrão para aquele solo, naquela profundidade. Para se conhecer o teor de água do solo, o procedimento consiste em retirar-se uma quantidade de solo úmido igual à do solo seco a 105 °C, completar o volume com água e pesar o conjunto. A diferença entre o peso padrão e a pesagem atual, multiplicada pelo fator  $\frac{dp}{dp-1}$  (densidade das partículas) dá o teor de água, com base no peso do solo úmido.

MELLO (1969) apresentou um método pouco conhecido para a avaliação do teor de água do solo, baseado no princípio de Arquimedes. O teor de água do solo é obtido em função do peso do solo úmido, da densidade das partículas e do peso da água do solo. MAIBORODA (1957) ao que parece, foi o primeiro a empregar o método da imersão para determinar o teor de água do solo. Posteriormente, WILD & SPYRIDAKIS (1962), trabalhando com solos arenosos de Wisconsin (USA) verificaram que o método da imersão dava resultados semelhantes aos do método gravimétrico.

A moderação de neutrons (REICHARDT, 1976) tem sido aplicada com sucesso na determinação do teor de água do solo. Quando se introduz uma fonte de neutrons rápidos no solo, os neutrons penetram radialmente, encontrando muitos núcleos atômicos com os quais colidem elasticamente. A perda de energia do neutron por colisões, é, em média, máxima, quando se chocam com núcleos de massa próxima à sua. Tais núcleos são principalmente, os do hidrogênio da água.

Outros métodos sofisticados de determinação do teor de água do solo, tais como: o de reflectometria de micro-ondas, o da tomografia computadorizada e o da atenuação de feixe de radiação gama são utilizados com sucesso. O uso generalizado desses métodos fica limitado; no entanto, em virtude do custo elevado do equipamento.

### 3- MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 Solos

Para este estudo, foram escolhidas oito unidades de solo, cuja classificação, segundo o sistema brasileiro BENNEMA & CAMARGO (1964), BENNEMA (1966), JACOMINE (1979), CARVALHO et alii (1986) e a Soil Survey Staff (1975), estão assim classificadas:

SISTEMA BRASILEIRO	SOIL TAXONOMY
Latossolo Vermelho Amarelo Série Sertãozinho	Quartzipsammentic Haplortox
Terra Roxa Estruturada Latossólica Série Luiz de Queiroz	Oxic Paleudalf
Latossolo Roxo distrófico Série Iracema	Typic Haplortox
Solo Aluvial	Tropo Fluvaquent
Solo Hidromórfico Cinzento Série Ecologia	Abruptic Arenic Ochrhaquult
Solo Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico	Kandic* Paleustult

Brunizem

Typic Argiudoll

Solo Orgânico

Fluvaquentic Troposaprist

Das oito unidades de solo objeto do presente trabalho, as quatro primeiras foram coletadas no município de Piracicaba-SP, enquanto que as quatro restantes, foram selecionadas no município de Itaguaí-RJ. A escolha do material a ser estudado foi realizada de tal modo que, tanto o teor de matéria orgânica, quanto a percentagem de óxido de Fe e a textura, tivessem uma grande amplitude de variação, para experimentar a eficiência dos métodos propostos.

### 3.1.1 Equipamento

Para a determinação do teor de água do solo pelo método do balão de nível, utilizou-se um recipiente especial com capacidade aproximada de 500 ml e uma balança capaz de pesar até um quilo e seiscentos gramas, com uma precisão de 0,1g.

---

\* Subgrupo não estabelecido na Soil taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 1975)

### 3.2 . Dedução da fórmula da Densidade das Partículas (Método Proposto)

Colocando-se num balão de volume conhecido, até a marca estabelecida para leitura, uma determinada quantidade de água, obtém-se, para o conjunto, uma massa total  $M_o$ , que pode ser assim representada:

(1)

$$\begin{aligned} M_o &= m_b + m_{oH_2O}; \\ m_b &= \text{massa do balão}; \\ m_{oH_2O} &= \text{massa de água no balão sem solo.} \end{aligned}$$

Colocando-se no mesmo balão de volume conhecido, uma determinada quantidade de terra seca em estufa e completando-se o volume com água, obtém-se, para o conjunto, uma massa total  $M$ , que pode ser assim representada:

(2)

$$\begin{aligned} M &= m_b + m_{ss} + m_{H_2O}; \\ m_b &= \text{massa do balão}; \\ m_{ss} &= \text{massa do solo seco em estufa}; \\ M_{H_2O} / &= \text{massa de água no balão com solo.} \end{aligned}$$

As massas totais do balão são diferentes e subtraindo-se (1) de (2), tem-se:

$$M_o - M = m_b + m_{oH_2O} - (m_b + m_{ss} + m_{H_2O})$$

$$M_o - M = m_{oH_2O} - m_{ss} - M_{H_2O} \quad (3)$$

$$\text{e como } m_{H_2O} = m_{oH_2O} - V_{ss} \cdot dH_2O \quad (4)$$

Sendo  $V_{ss}$  o volume ocupado pelo solo seco, depreende-se que:

$$V_{ss} = \frac{m_{ss}}{dp} \quad (5)$$

substituindo-se o termo  $M_{H_2O}$  da equação 3 respectivamente, pelos seus valores em 4 e 5 têm-se:

$$M_o - M = m_{oH_2O} - m_{ss} \left( m_{oH_2O} - \frac{m_{ss}}{dp} \cdot dH_2O \right)$$

$$M_o - M = \frac{m_{ss}}{dp} \cdot dH_2O - m_{ss}$$

$$M_o - M = \frac{m_{ss} \cdot dH_2O - m_{ss} dp}{dp}$$

$$dp (M_o - M) = m_{ss} \cdot dH_2O - m_{ss} dp$$

$$dp [(M_o - M) + m_{ss}] = m_{ss} \cdot dH_2O$$

$$dp = \frac{m_{ss} \cdot dH_2O}{(M_o - M) + m_{ss}} \quad (6)$$

Considerando-se  $dH_2O = 1$ , chega-se à seguinte expressão:



$$dp = \frac{mss}{(M_o - M) + mss} \quad (7)$$

A expressão (7) permite avaliar a densidade das partículas do solo, apenas, com a determinação da massa (M), uma vez conhecido o padrão  $M_o$  (massa de água a 4 °C que completa o volume do balão) e que será determinada somente uma vez para cada balão de nível.

### 3.2.1 Fórmula da densidade das partículas corrigida

Colocando-se num balão de volume conhecido, até a marca estabelecida para leitura, uma determinada quantidade de água à temperatura  $t_o$ , obtém-se, para o conjunto, uma massa total assim representada:

$$M_o = m_b + m_{ocH_2O}; \quad \text{sendo:} \quad (8)$$

$M_b$  = massa do balão;  
 $M_{ocH_2O}$  = massa de água corrigida no balão sem solo.

Colocando-se no mesmo balão de volume conhecido uma determinada quantidade de terra seca em estufa e completando-se o volume com água à temperatura  $t_o$ , tem-se,

para o conjunto, uma massa total  $M$  assim representada:

$$M = m_b + m_{ss} + m_{cH_2O}, \quad \text{sendo:} \quad (9)$$

$m_b$  = massa do balão;

$m_{ss}$  = massa do solo seco em estufa;

$m_{cH_2O}$  = massa de água corrigida no balão com solo;

Denominando-se, também,

$C$  = correção do volume específico da água à temperatura  $t_0$ ;

$\rho_{t_0}$  = valor do peso específico da água à temperatura  $t_0$ ;

$\rho_t$  = valor do peso específico da água à temperatura  $t$ .

Aplicando-se as correções em  $m_{oH_2O}$  e  $m_{H_2O}$ , obtem-se:

$$m_{ocH_2O} = m_{oH_2O} + C \quad \text{e} \quad (10)$$

$$m_{cH_2O} = m_{H_2O} + C \quad (11)$$

As correções, sendo feitas em função de  $W$  (volume específico), que é expresso por:

$C = m_o \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_{t_0}}\right)$ , (12), substituindo-se (10), (11) e (12) em (7), deduz-se que:

(13)

$$dp = \frac{mss \cdot dt}{[(mb + moH_2O)[1 + (1 - \frac{dt}{dto})] - [(mb + mss + mH_2O)[1 + (1 - \frac{dt}{dto})]] + mss}$$

Substituindo-se (1) e (2), em (13), obtem-se a seguinte expressão:

$$dp = \frac{mss \cdot dt}{Mo[1 + (1 - \frac{dt}{dto})] - M[1 + (1 - \frac{dt}{dto})] + mss} \quad (14)$$

A expressão (14) demonstra que a correção deverá ser nula quando as temperaturas de determinação de M e Mo forem iguais.

### 3.3 Método do Balão Volumétrico - EMBRAPA/SNLGS (1979) (Método Convencional)

- Pesar 20 g de terra fina, colocar em recipiente de alumínio de peso conhecido, levar à estufa, por 6 a 12 horas, deixar esfriar em dessecador e pesar, a fim de se obter o peso da amostra seca a 105°C;

- transferir a amostra para balão aferido de 50 ml,
- adicionar álcool etílico por meio duma bureta de 50 ml, agitando bem o balão para eliminar bolhas de ar;
- prosseguir com a operação, vagarosamente, até a ausência de bolhas e completar o volume do balão;
- anotar o volume de álcool gasto;
- calcular a densidade das partículas, fazendo:  $d_p$  = peso da amostra seca a 105 °C/ pelo volume de álcool gasto.

### 3.4 Dedução da Fórmula do Teor de Água do Solo (Método Proposto)

Colocando-se em balão de volume conhecido, uma massa de solo úmido e completando-se com água até a marca estabelecida para leitura, obtém-se para o conjunto, uma massa total  $M'$  cujo valor pode ser assim representada:

$$M' = m_b + m'_{ss} + m'_{H_2O}, \quad \text{sendo:}$$

$$m_b = \text{massa do balão;}$$

$$m'_{ss} = \text{massa do solo úmido;}$$

$$m'_{H_2O} = \text{massa de água do balão com solo úmido.}$$

A fórmula obtida por KLAR et alii (1966) é a seguinte:

$$U = (M - M') \frac{dp}{dp - 1} \quad (15)$$

A fórmula obtida pelo método proposto é:

$$dp = \frac{mss}{(M_o - M) + mss} \quad (7), \text{ que substituída na (15) dá:}$$

$$U = (M - M') \frac{\frac{mss}{(M_o - M) + mss}}{\frac{mss}{(M_o - M) + mss} - 1}, \text{ que matematicamente}$$

tratada, conduz a seguinte expressão:

$$U = \frac{(M - M')mss}{(M - M_o)}; \quad (16) \text{ onde se elimina o valor}$$

da densidade das partículas para a obtenção do teor de água do solo.

A expressão (16) permite avaliar a massa de água contida em determinada massa de solo, conhecidos os padrões  $M$  e  $M_o$ . O teor de água obtido na fórmula será numericamente igual à umidade em percentagem de solo úmido,

cuja transformação para percentagem de solo seco pode ser estimada pela seguinte expressão:

$$U' = \frac{100 \times U\%}{100 - U\%} \quad (17)$$

Admitindo-se que mss da fórmula (16) seja igual a 100 e substituindo-se na expressão (17), obtém-se

$$U' = \frac{100 \times U\%}{100 - U\%} \therefore \frac{\frac{100 \times 100(M - M')}{(M - M_o)}}{100 - \frac{100(M - M')}{(M - M_o)}} \div 100$$

Dividindo-se ambos os termos por 100, chega-se à seguinte fórmula:

$$\therefore \frac{\frac{(M - M')100}{(M - M_o)}}{\frac{(M - M')}{(M - M_o)} - 1} \therefore \frac{\frac{(M - M')100}{(M - M_o)}}{\frac{(M - M_o) - (M - M')}{(M - M_o)}}$$

$$U'\% = \frac{100(M - M')}{(M' - M_o)} \quad (18)$$

Essa expressão (18) permite que se avalie a massa de água contida em determinada massa de solo, em percentagem de peso de solo seco. Essa expressão se aplica para qualquer tamanho de amostra.

### 3.5 Determinação do Teor de água do solo pelo Método Gravimétrico (Método Convencional)

- Colocar a amostra de solo em recipiente de alumínio numerado e de tara conhecida;
- pesar, transferir para estufa a 105-110°C, deixando-se nesta condição durante 24 horas;
- retirar da estufa, transferir para dessecador, deixar esfriar e pesar;
- calcular a percentagem de água segundo a expressão:

$\% \text{ de umidade} = 100 (\text{peso da amostra úmida} - \text{peso da amostra seca a } 105^\circ\text{C}) / \text{peso da amostra seca a } 105^\circ\text{C}.$

### 3.6 Método para a Obtenção de: $M_o$ , $M$ e $M'$ .

$M_o$  = peso do balão + água;

$M$  = peso do balão + solo seco + água;

$M'$  = peso do balão + solo úmido + água.

### 3.6.1 Determinação de $M_o$

- a) Pesar a massa do balão;
- b) adicionar um volume de água até o traço de referência marcado no tubo de ajuste;
- c) pesar o conjunto.

Esse peso  $M_o$  é obtido uma só vez para cada balão especial.

### 3.6.2 Determinação de $M$

- a) Colocar 100 gramas de solo seco em estufa, no balão especial;
- b) adicionar, aproximadamente, de 250 a 300 ml de água e agitar durante alguns momentos, para eliminar o ar retido pela amostra de solo;
- c) completar o volume com água até o traço de referência marcado no tubo de ajuste;
- d) pesar o conjunto.

$M$  é o valor padrão obtido uma só vez para cada tipo de solo.



### 3.6.3 Determinação de M'

a) Colocar 100 gramas de solo úmido, cujo teor de água se deseja conhecer, no balão especial;

b) adicionar, aproximadamente, de 250 a 300 ml de água e agitar durante alguns momentos para eliminar o ar retido pela amostra de solo;

c) completar o volume com água até o traço de referência marcado no tubo de ajuste;

d) pesar o conjunto (Peso M').

### 3.7 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 8 x 2 (solos x métodos), com 80 repetições.

O modelo estatístico foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + M_j + (S \times M)_{ij} + e_{ijk}$$

onde:

$Y_{ijk}$  = são valores estimados para cada variável dependente;

$\mu$  = média geral;

$s_i$  = efeito do solo  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, 8$ );

$M_j$  = efeito dos métodos  $j$  ( $j = 1$  e  $2$ );

$(S \times M)_{ij}$  = efeito da interação solos  $\times$  métodos

$e_{ijk}$  = erro aleatório associado a cada observação

### 3.8 Análise Estatística

Os métodos propostos foram comparados com os convencionais, através duma análise de regressão linear testando-se a significância dos coeficientes de correlação, os quais foram estimados pela expressão:

$$r = \frac{\sum_{ij} x_i y_j - \frac{(\sum_i x_i)(\sum_j y_j)}{N}}{\left[ \left[ \sum_i x_i^2 - \frac{(\sum_i x_i)^2}{N} \right] \left[ \sum_j y_j^2 - \frac{(\sum_j y_j)^2}{N} \right] \right]^{\frac{1}{2}}}$$

As análises da variância foram realizadas para os seguintes dados: densidade das partículas e teor de água do solo. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, ao nível de 0,05 de probabilidade (GOMES,1978).

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Densidade das Partículas

As tabelas 1 e 2, mostram a equivalência existente entre os valores da densidade das partículas obtidos pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA/SNLCS,1979) e o método do balão de nível (método proposto), observando que os resultados apresentados, quando determinados pelo método proposto são ligeiramente mais altos (apenas na segunda casa decimal). É provável que tais diferenças possam a ser atribuídas à baixa precisão da balança utilizada (0,1g). Assim sendo, a segunda casa decimal refere-se, apenas, às aproximações de cálculo. Tal caso, não ocorre nas determinações da (EMBRAPA/SNLCS, 1979) que utiliza balança com precisão de centésimos. É possível que se utilizando, no método do balão de nível, balança de precisão, as diferenças sistemáticas observadas (valores da densidade das partículas sempre maiores), sejam minimizadas. Reconhecendo-se que, para medir uma grandeza, como é o caso da densidade das partículas, não é aconselhável prescindir de precisão na pesagem, recomenda-se que se utilize balanças da mais alta precisão compatível com a rusticidade das condições de uso e com o preço que foi considerado como razoável.

Igual destaque não merecem as correções da temperatura ( $t_0$  e  $t$ ) no valor da densidade das partículas, quando comparam os resultados em que não foram levados em

TABELA 1 - DENSIDADE DAS PARTICULAS DO LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, TERRA ROXA ESTRUTURADA LATOSSOLICA, LATOSSOLO ROXO DISTROFICO E SOLO ALUVIAL

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO série Sertãozinho		TERRA ROXA ESTRUTURADA LATOSSOLICA série Luiz de Queiroz		LATOSSOLO DISTROFICO ROXO série Iracema		SOLO ALUVIAL	
SNLCS	BALAO	SNLCS	BALAO	SNLCS	BALAO	SNLCS	BALAO
2,53	2,59	2,73	2,75	2,74	2,78	2,54	2,52
2,53	2,60	2,73	2,73	2,74	2,78	2,54	2,53
2,53	2,59	2,73	2,75	2,74	2,79	2,54	2,53
2,56	2,59	2,73	2,76	2,74	2,78	2,55	2,53
2,56	2,59	2,73	2,75	2,74	2,78	2,54	2,53
2,53	2,57	2,73	2,76	2,74	2,78	2,53	2,54
2,56	2,59	2,73	2,75	2,74	2,79	2,53	2,53
2,53	2,58	2,73	2,76	2,74	2,78	2,54	2,53
2,53	2,59	2,73	2,75	2,74	2,79	2,54	2,53
2,53	2,59	2,73	2,75	2,74	2,79	2,54	2,53

TABELA 2 - DENSIDADE DAS PARTICULAS DOS SOLOS: HIDROMORFICO CINZENTO, PODZOLICO VERMELHO AMARELO LATOSSOLICO, BRUNIZEM E ORGANICO

SOLO HIDROMORFICO CINZENTO série Ecologia		SOLO PODZOLICO VERMELHO AMARELO LATOSSOLICO		BRUNIZEM		SOLO ORGANICO	
SNLCS	BALAO	SNLCS	BALAO	SNLCS	BALAO	SNLCS	BALAO
2,53	2,57	2,56	2,55	2,53	2,58	2,35	2,38
2,53	2,55	2,56	2,56	2,53	2,58	2,35	2,35
2,55	2,57	2,56	2,59	2,53	2,55	2,35	2,37
2,53	2,58	2,56	2,59	2,53	2,56	2,35	2,38
2,54	2,57	2,56	2,56	2,53	2,56	2,35	2,38
2,54	2,58	2,56	2,58	2,53	2,56	2,35	2,39
2,54	2,58	2,56	2,56	2,53	2,56	2,35	2,37
2,53	2,57	2,56	2,58	2,53	2,56	2,35	2,39
2,53	2,57	2,56	2,56	2,53	2,56	2,35	2,38
2,53	2,57	2,56	2,57	2,53	2,56	2,35	2,35

consideração as alterações do volume específico da água, ocorridas em função da temperatura ambiente. No primeiro caso, quando a temperatura é a mesma para  $M_0H_2O$  e  $MH_2O$ , as variações do volume específico da água se anulam. No segundo caso, ou seja, quando as temperaturas são diferentes para  $M_0H_2O$  e  $MH_2O$ , as variações no volume específico da água, obtidas com as correções, só diferem dos resultados que não levaram em consideração esta variável, na quarta casa decimal.

Para solos minerais livres de matéria orgânica, a densidade das partículas é, geralmente, da ordem de 2,65. Segundo ROBINSON (1967) isso ocorre em virtude da matéria mineral dos solos ser constituída, principalmente de quartzo, cuja densidade apresenta aquele valor. MILLAR et alii (1975) afirmaram que a densidade das partículas não varia muito de solo para solo; a menos que haja uma considerável variação no conteúdo de matéria orgânica. PAPADAKIS (1941) trabalhando com 17 solos diferentes, encontrou, para a densidade das partículas, valores que variavam de 2,80 a 2,73. Os resultados expostos na tabela 3 enfatizam a influência dos óxidos de ferro e da matéria orgânica, na densidade das partículas dos solos estudados. Com efeito, verificou-se que os valores mais altos (2,81 e 2,80) foram obtidos para o Latossolo Roxo distrófico e Terra Roxa Estruturada Latossólica, cujas percentagens de óxido de ferro é de 24 e 10%, respectivamente. O Solo Orgânico exibiu o menor valor (0,94). Isto deve ocorrer em consequência do baixo peso específico da matéria orgânica. O Latossolo Vermelho Amarelo, o Solo Aluvial, o Solo Hidromórfico Cinzento, o Solo Podzólico Vermelho Amarelo, e o Brunizem, apresentaram valores de 2,59; 2,36; 2,62; 2,64 e 2,63, respectivamente; ou seja, os resultados não mostraram grandes variações na densidade das partículas, quando estes apresentam baixas percentagens de carbono orgânico, ou quando é baixa a percentagem de óxido de ferro.

TABELA 3 - GRANULOMETRIA, CARBONO ORGANICO, OXIDO DE FERRO E DENSIDADE DAS PARTICULAS; DOS SOLOS ESTUDADOS

HORIZ	PROF	AREIA	SILTE	ARGILA	C	FE O	Dp	
AP	22	77,28	5,54	17,18	0,18	2,80	2,59	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO
AP	35	33,90	27,70	38,40	1,30	0,10	2,80	TERRA ROXA ESTRUTURADA LATOSSOLICA
AP	25	17,80	14,30	66,90	1,67	24,00	2,81	LATOSSOLO ROXO DISTROFICO
AP	21	23,40	41,63	34,97		5,80	2,36	SOLO ALLUVIAL
AP	20	90,90	6,60	2,50	0,33	0,50	2,62	SOLO HIDROMORFICO CINZENTO
AP	20	84,07	6,30	9,70	0,51	2,50	2,64	SOLO PODIZOLICO VERMELHO AMARELO LATOSSOLICO
AP	20	61,45	19,71	18,84	1,76	4,70	2,63	BRUNIZEM
AP	17				39,30		0,94	SOLO ORGANICO



**TABELA 4 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS, OBTIDAS PELO MÉTODO DA EMBRAPA/SNLCS E PELO MÉTODO DO BALÃO**

Quadrado médio	0,026245
Coeficiente de Var %	4,61
DMS	0,0368567
Trat 1 (EMBRAPA/SNLCS)	2,56537 (A)
Médias	
Trat 2 (BALÃO)	2,59150 (A)
Coeficiente de correlação "r"	0,988925
Equação de regressão	$y = 0,8930 + 0,95587 \times$ $R^2 = 0,97$

Letras iguais representam diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A análise estatística apresentada na tabela 4 revelou a existência de diferenças não significativas (5%) entre as médias dos tratamentos 1 e 2 (EMBRAPA/SNLCS, 1979 e Balão). O coeficiente angular da equação de regressão de 0,95587 indica a equivalência dos métodos, uma vez que os solos testados apresentam ampla variação textural e na percentagem de matéria orgânica.

A não significância do teste de Tukey ao nível de 5% indica que existe uma probabilidade, em apenas 5% dos casos, de que os valores encontrados para os dois métodos sejam semelhantes por acaso.

#### 4.2 Teor de Água do Solo: Método Gravimétrico vs Método do Balão

As tabelas 5 e 6 permitem apreciar os resultados dos teores de água dos solos estudados, obtidos pelo método gravimétrico e pelo método proposto (balão). Os dados mostram que o método do balão, pode ser utilizado com vantagem sobre o gravimétrico, uma vez que alia, simultaneamente, simplicidade, rapidez, praticidade, baixo custo operacional e eficiência. O método pode ser utilizado com facilidade no campo, visto que, utiliza apenas um frasco (balão) e uma balança com sensibilidade de 0,1 g. Os resultados mostraram que os valores encontrados pelo método proposto, foram rigorosamente semelhantes aos do método gravimétrico.

O teor de água dos solos estudados variou de 7% a 28% para o Solo Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico e o Solo Aluvial, respectivamente. Não houve limitação no método

TABELA 5 - TEOR DE AGUA EM PORCENTAGEM DE PESO SECO PARA OS SOLOS; LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, TERRA ROXA ESTRUTURADA LATOSSOLICA, LATOSSOLO ROXO DISTROFICO E SOLO ALUVIAL

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO série Sertãozinho		TERRA ROXA ESTRUTURADA LATOSSOLICA série Luiz de Queiroz		LATOSSOLO DISTROFICO ROXO série Iracema		SOLO ALUVIAL	
GRAVIMETRICO	BALAO	GRAVIMETRICO	BALAO	GRAVIMETRICO	BALAO	GRAVIMETRICO	BALAO
9,25	9,28	17,84	17,50	15,33	15,03	28,66	28,03
9,33	9,28	17,48	17,74	15,69	25,55	28,51	29,80
9,67	10,15	18,13	17,74	15,47	15,97	27,80	28,03
9,52	9,28	17,81	17,50	15,32	15,55	27,80	27,71
9,22	9,77	17,99	17,58	15,61	15,55	27,85	28,35
9,42	9,12	17,97	17,43	15,13	15,03	27,92	28,19
9,49	9,77	17,45	17,43	15,04	15,55	28,70	28,03
9,44	9,28	17,20	17,50	15,70	15,83	28,83	28,35
9,24	9,45	17,05	17,43	15,45	15,03	28,74	28,19
9,17	9,28	17,30	17,50	15,39	15,55	28,75	28,51

TABELA 6 - TEOR DE AGUA EM PORCENTAGEM DE PESO SECO PARA OS SOLOS: HIDROMORFICO CINZENTO, PODZOLICO VERMELHO AMARELO LATOSSOLICO, BRUNIZEM E ORGANICO

SOLO HIDROMORFICO CINZENTO série Ecologia		SOLO PODZOLICO VERMELHO AMARELO LATOSSOLICO		BRUNIZEM		SOLO ORGANICO	
GRAVIMETRICO	BALAO	GRAVIMETRICO	BALAO	GRAVIMETRICO	BALAO	GRAVIMETRICO	BALAO
10,33	10,15	8,33	7,36	15,73	15,47	15,90	15,62
10,27	9,76	7,69	7,49	15,59	15,09	16,15	15,79
10,91	10,47	7,74	7,49	15,59	15,35	15,84	15,31
10,84	10,15	7,19	7,49	15,23	15,19	15,99	15,03
10,90	10,47	7,90	7,69	15,40	15,47	16,21	15,31
11,19	10,47	7,43	7,49	15,18	15,34	16,05	15,79
10,79	10,47	7,61	7,36	15,29	15,29	15,88	15,24
11,00	10,15	7,54	7,66	15,17	15,51	16,07	15,79
10,87	10,47	7,83	7,49	15,61	15,40	16,20	15,31
10,93	10,47	7,35	7,78	15,30	15,47	16,12	15,31

**TABELA 7 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DO TEOR DE ÁGUA BASE PESO DO SOLO SECO, OBTIDAS PELO MÉTODO GRAVIMÉTRICO E PELO MÉTODO DO BALÃO**

Quadrado médio	0,687500
Coefficiente de Var %	40,75
DMS	1,89229
Trat 1 (GRAVIMÉTRICO)	15,06 (A)
Médias	
Trat 2 (BALÃO)	14,93 (A)
Coefficiente de correlação	0,999258
Equação de regressão	$Y = 0,248768 + 0,994807 \times$

Letras iguais representam diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

proposto na obtenção do teor de água, pelo método do balão, quando as variações texturais ou os teores de matéria orgânica foram grandes. Com efeito, verificou-se que a percentagem de argila nos solos estudados variou de 2,5 no solo Hidromórfico Cinzento a 67,90 no Latossolo Roxo Distrófico. Enquanto que as mudanças na percentagem do Carbono Orgânico foram de 0,18 a 39,30% no Latossolo Vermelho Amarelo e no Solo Orgânico, respectivamente.

KLAR et alii (1966) compararam o método das pesagens com o gravimétrico em três solos distintos da série Monte Olimpo, Sertãozinho e Luiz de Queiroz. Os resultados obtidos pelo método daqueles pesquisadores foram semelhantes aos do gravimétrico. PAPADAKIS (1941) avaliou o método das pesagens em comparação com o gravimétrico em 17 solos diferentes e obteve, para o primeiro, resultados concordantes com o método gravimétrico.

A análise estatística apresentada na tabela 7 mostra que não há diferenças significativas (5%) entre as médias dos tratamentos 1 e 2 (gravimétrico e balão). O coeficiente angular da equação de regressão de 0,99 indica a equivalência desses dois métodos. Os solos testados apresentam ampla variação de textura, de óxido de ferro e de matéria orgânica.

A não significância do teste de Tukey ao nível de 5% indica que existe uma probabilidade de, em apenas 5% dos casos, que os valores encontrados para os dois métodos sejam semelhantes por acaso.

#### 4.3 Influência do peso da amostra

A tabela 8 apresenta a influência do peso da amostra na precisão da estimativa do teor de água do solo. Essa influência está representada graficamente nas figuras 1, 2 e 3. Observa-se que o peso de 50 gramas, apresentou menores variações de massa em função das mudanças nos teores de água; enquanto que as maiores variações corresponderam às amostras de 200 gramas. Uma pequena alteração no peso da amostra de 50 gramas (1,34g) resulta numa significativa mudança no teor de água, que passa de 5 para 10%. Enquanto que nas amostras de 100 e de 200 gramas, o peso teria que variar de 2,69g e de 5,39g, respectivamente, para provocar a mesma mudança no teor de água .

Portanto, é aconselhável, no método proposto, fazer-se a determinação do teor de água em amostras de 200 gramas, posto que, um pequeno erro na pesagem, não provoca uma grande mudança no valor do teor de água.

TABELA 8 - INFLUÊNCIA DO PESO DA AMOSTRA NA PRECISÃO DA ESTIMATIVA DO TEOR DE ÁGUA DO SOLO

U%	200	100	50
5	718,59	659,29	629,64
10	713,20	656,60	628,30
15	708,27	654,14	627,07
20	703,77	651,88	625,94
25	699,62	649,80	624,90
40	688,95	644,47	622,23



Fig. 1 - Influência do peso da amostra na precisão da determinação do teor de água do solo

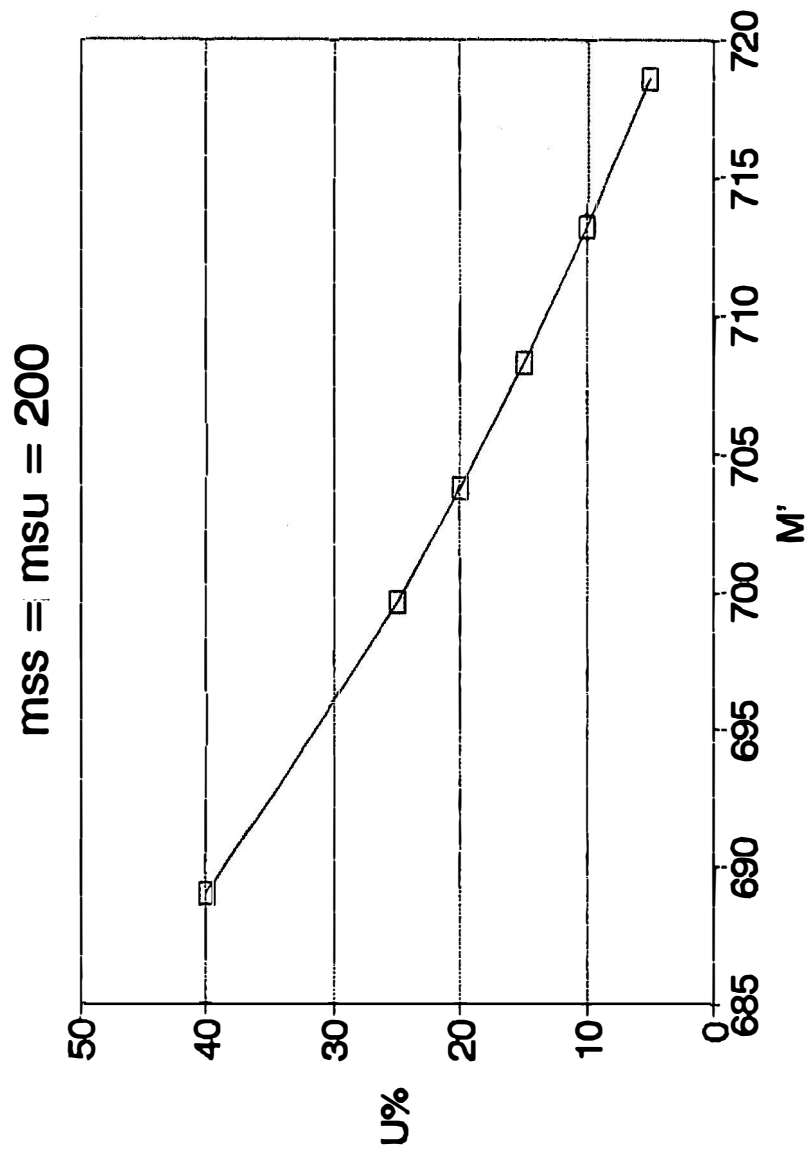


Fig. 2 - Influência do peso da amostra na precisão da determinação do teor de água do solo

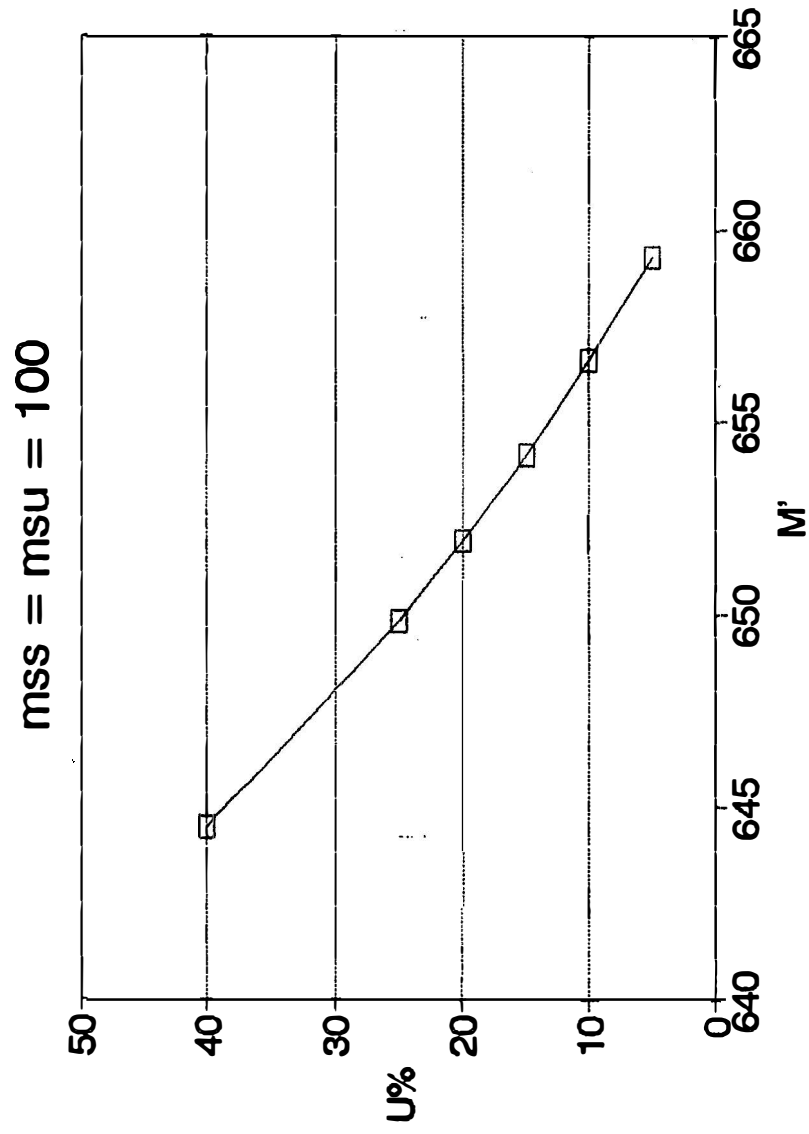
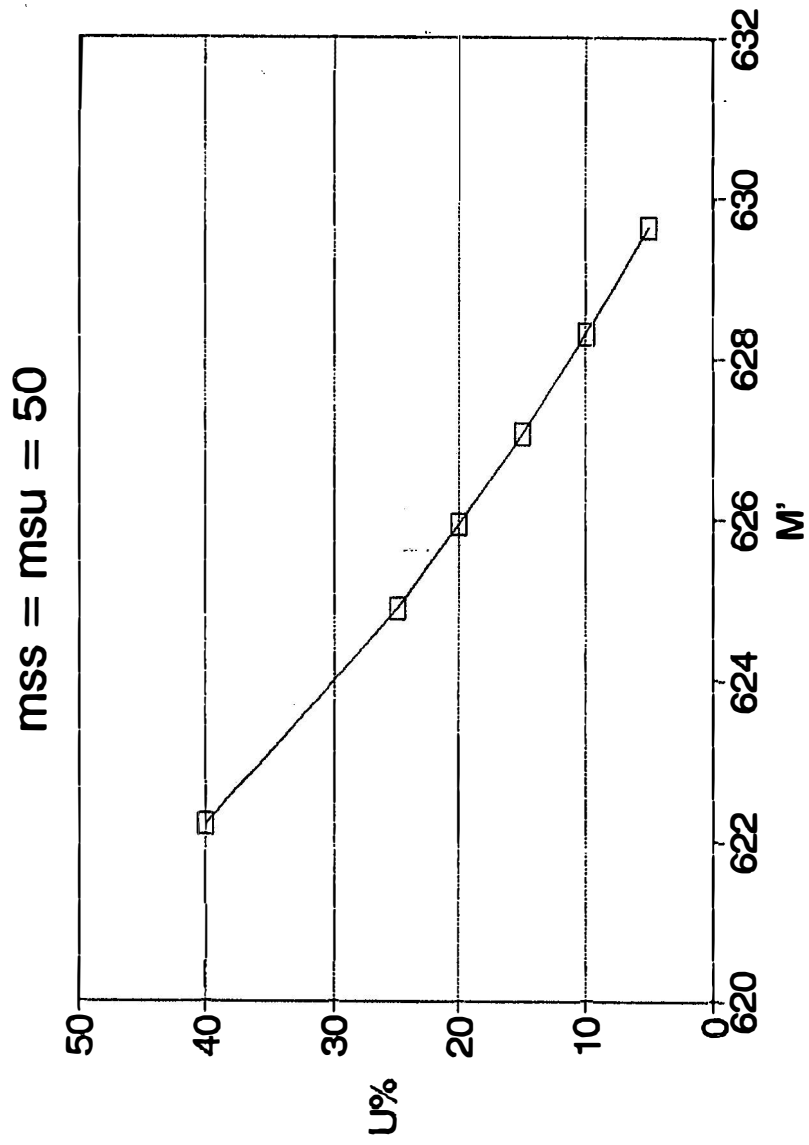


Fig. 3 - Influência do peso da amostra na precisão da determinação do teor de água do solo



## 5 - CONCLUSÕES

Em face dos resultados obtidos e discutidos no presente trabalho, pode-se para as unidades de solo estudadas, concluir que:

a - é possível avaliar-se a densidade das partículas do solo pelo método do balão, com razoável precisão, sendo que os desvios sistemáticos observados, podem ser atribuídos à baixa sensibilidade da balança utilizada (0,1 g), devendo-se salientar que o método, é de fácil aplicação e não requer mão-de-obra especializada;

b - o método do balão pode ser utilizado para a avaliação do teor de água dos solos com precisão idêntica à do método gravimétrico. O método apresentado é mais rápido e mais barato, uma vez que utiliza, apenas, um frasco adaptado e uma balança comum, além de ser muito simples e seguro para trabalhos de irrigação ou de mecanização agrícola;

c - amostras de 200 gramas possibilitam avaliar o teor de água do solo com melhor precisão, uma vez que, nesse caso, erros de pesagem ocasionam pouca alteração no resultado do teor de água.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALI, M. A. M. **The use of meteorological data to estimate tractor working day probabilities on ploughed land in the spring** s.l.: Bedford, 1977. 316p.
2. ALLMARAS, R. R.; NELSON, W. W.; VOORHEES, W. B. Soybean and corn rooting in southwestern Minnesota. I water uptake sink. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.39, p. 764-71, 1975.
3. ARYA, L. M.; BLAKE, G. R.; FARREL, D. A. A field study water depletion patterns in presence of growing soybean roots. III. Rooting characteristics and root extration of soil water. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v. 39, p. 437-44, 1975.
4. BENNEMA, J. & CAMARGO, M. N. **Segundo esboço parcial de classificação de solos braileiros**, subsídios à IV Reunião de solos. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura-Departamento de Pesquisa e Experimentação Agropecuária, 1964 (Mimeografado).

5. BENNEMA, J. **Report to the government of Brazil on Classification of Brazilian soils.** Roma: FAO, 1966. 83p. (FAO. EPTA, 2197)
6. BLACK, C. A. **Methods of Soil Analysis. Part 1.** American Society of Agronomy, number 9, Inc. Madison. Wisconsin, 1965.
7. BLEVINS, R. L.; COOK, D.; PHILLIPS, S. H.; PHILLIPS, R. E. Influence of no-tillage on soil moisture. **Agron. J.**, n. 63, p. 593-6, 1971.
8. BOUYOUCOS, G. J. Rapid determination of the moisture content of soil. **Soil sci.**, n. 24, p. 651-2, 1926.
9. BOUYOUCOS, G. J. Rapid determination of soil moisture by alcohol. **Soil Sci.**, n. 25, p. 475-6, 1927.
10. BOUYOUCOS, G. J. Determining soil moisture rapidly and accurately by methyl alcohol. **J. Amer. soc. Agron.**, n. 20, p. 82-3, 1928.
11. BOUYOUCOS, G. J. Evaporating water with Burning Alcohol as a Rapid Means of Determining Moisture Content of soils. **Soil Sci.**, n. 44, p. 377-383, 1937.

12. BOUMA, J. & HOLE, F. D. Soil structure and hidraulic conductivity of adjacent virgin and cultivated pedons at two sites: a Typic Argiudoll (Silt loam) and a typic Eutrochrept (clay). **Soil Sci. Soc. AM. Proc.**, n. 35, p. 316-9, 1971.
13. BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 8. ed. New York: MacMillon, 1974. 639p.
14. BROWNING, G. M. & NORTON, R. A. Tillage practices on selected soils in Iowa. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, n. 10, p. 461-8, 1945.
15. BURWELL, R. E.; SLONEKER, L. L.; NELSON, W. W. Tillage influences water intake. **J. Soil Water Consev.** n.23, p. 185-7, 1958.
16. CARVALHO, A. P. de; OLMOS ITURRI LARACH, K. JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Critérios par distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - SNLCS, 1986. (Mimeografado).
17. CINTRA, F. L. D.; COELHO, Y. S. da; SOBRINHO, A. P. C. da; PASSOS, O. S. Caracterização física do solo submetido a práticas de manejo em pomar de laranja

submetido a práticas de manejo em pomar de laranja baianinha. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 18, n. 2, p. 173-9, 1983.

18. COSTA, M. P. da. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo.** Piracicaba, 1983. 137 p. (Mestrado ESALQ/USP)
19. COOK, R. L.; MCXOLLY, H. F.; ROBERTSON, L. S., HANSEN, C. M. Save money - water - soil minimum tillage. **Extension Bulletin**, Michigan: State University, 1958. p. 1-352.
20. CORRÊA, J. C. Limites de consistência de solos da Amazônia Central e sua importância agrícola. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 17, n. 6, p. 917-21, 1982.
21. DOYARENKO, A. G. Agrofizicheskie metody laboratornovo izucheniya-vaprosov palevodstva (Agrophysical Methods for laboratory study of husbandry matters). Moscow. Trudy opyt. Polya Timiryazev. Sel'skokhoz. Akad., 1937.
22. DOSS, B. D.; PEARSON, R. W.; ROGERS, H. T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. **Agron. J.**, n. 66, p. 297-9, 1974.
23. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação



de Solos, R J. **Manual de métodos de análise de solo.**  
Rio de Janeiro, EMBRAPA - SNLCS, 1979.

24. ESPINOSA, W. & REIS, A. E. G. dos. Lixiviação de Ca, K e Mg em um Latossolo Vermelho - Escuro (LE) de Cerrados. I. Magnitude e variabilidade do fenômeno na época chuvosa. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 17, n. 2, p. 299-317, 1982.
25. ESTADOS UNIDOS. Soil conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil Taxonomy:** a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Washington, D. C. USDA. 1975. (Agriculture Handbook, 436) ...
26. FINN, G. A. & BRUN, A. Water stress effects on Co<sub>2</sub> assimilation, photoxynthate partitioning, stomatal resistance, and module activity in soybean. *Crop. Sci.*, v. 20, n. 4, p. 431-4, 1980.
27. FISHER, R. A. & TURNER, N. C. Plant Productivity in the arid and semiarid zones. **Annu. Rev. Plant. Physiol**, v. 29, p. 277-317, 1978.
28. FREE, G. R.; WINKELBLECH, C. S.; WILSON, H. M.; BAY, C. E. Time of plating in comparison on plaw-plant and conventional seedbed preparation for corn. **Agron. J.**, v. 58, p. 33-6, 1966.

29. GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental E. S. A. "LUIZ DE QUEIROZ"**. Piracicaba. Nobel, 1978  
430 p.
30. GRABOVSKYY, I. S. O gigroskopichnosti pochvy i vozmozhnosti Opredeleniya vlazhnosti yeye bez sushilnovo shkafa i nagrevaniya (The hygroscopicity of soil and the possibility of determining its moisture without the drying oven and heating). **Pochvovedoniye**, n. 9, 1939.
31. HENNINGER, D. I.; PETERSEN, G. W.; ENGMAN, E. T. Surface soil moisture within a watershed. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 40, n. 5, p. 773-6, 1976.
32. HILLEL, D. **Solo e Água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1970, 231 p.
33. HILLEL, D. **Soil and water - physical principles and processes**. New York: Academic Press. 1971, 228 p.
34. IVANOV, P. V. Bistryy metod opredeleniya vkazhnosti pochuy (Rapid Method of determining soil moisture). **Pochvovedeviye**, n. 3, 1953.
35. JACOMINE, P. K. T. **Conceituação sumária de classes de solos e critérios para subdividi-las**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1979. 69 p. (Mimeografado).

36. JENSEN, M. E. & EIRE, L. J. Irrigation and water management. In: **Advances in sugarbeet production.** Amls, Iowa State University Press, 1971. p. 190-222.
37. KAFKARI, U. Nutrient Supply to irrigated Crops. In: YARON, B.; DANFORS, E.; VAADIA, Y. **Arid zone irrigation.** New York: Springer - Verlag, 1973. p. 177 -88.
38. KALASHNIKOV, G. V. Novyy metod opredeleniya vlazhnosti pochvy (New method for determining soil moisture). **Soviet. Agron.** n. 2-3, 1939.
39. KLAR, A. E.; VILLA NOVA, N. A.; MARCOS, Z. Z.; CERVELLINI, A. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. **An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz,** Piracicaba. v. 23, p 16-30, 1966.
40. MAIBORODA, N. M. Determination of soil moisture by a hidric method. **Pochvovedenie,** n. 8, p. 101-3, 1957.
41. MELLO, F. A. F. de. Determinação da umidade em solos, fertilizantes e sementes, com base no princípio de Arquimedes. **An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz.** Piracicaba. v. 26, p. 81-91, 1969.

42. MENDES, W.; LEMOS, P. de O. C.; LEMOS, R. C.; CARVALHO, L. G. de O.; ROSENBERG, R. J. **Contribuição ao mapeamento, e, séries, dos solos do Município de Itaguaí.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. 1954. 53 p. (Centro Nacional de Pesquisas Agronômicas, Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas. Boletim 12).
43. MEYER, L. D. & MANNERING, J. W. Minimum tillage for Corn: its effect on infiltration and erosion. **Agric. Eng.** v. 42, p. 72-5, 1961.
44. MILLAR, C. E.; TURK, L. M.; FOTH, H. D. **Fundamentos de la Ciencia del Suelo.** México: Continental, 1975. 527 p.
45. MILLER, D. E. & AARSTAD, J. A. Yields and sugar content of sugarbeets as affected by deficit high frequency irrigation. **Agron. J.**, v. 68, n.2. p. 231-4, 1976.
46. MILLER, D. Deficit high frequency irrigation of sugarbeet, wheat and beans. **Amer. Soc. Agric. Engr. Proc.** 1977.
47. MUSGRAVE, R. B.; ZWERMAN, P. J.; ALDRICH, S. R. Plow planting of corn. **Agric. Eng.** v. 36, p. 593-4, 1955.

48. OGANESYAN, A. P. A. Simplified method for determining soil moisture. **Sov. Soil Sci.** v. 4, p. 447-9, 1958.
49. PAGE, J. P.; WILLIARD, C. L.; MCCUEN, G. W. Progress report on tillage methods in preparing land corn. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 11, p. 77-80, 1946.
50. PAPADAKIS, J. S. A rapid method determining soil moisture. **Soil Sci.** v. 51, p. 279 -81, 1941.
51. PHENE, C. J. High frequency porous tube irrigation for water-nutrient management in humid regions. In: INTERNATIONAL CROP IRRIGATION CONGRESS, San Diego. **Proceedings.** San Diego. 1974. p. 166-71.
52. PHENE, C. J.; BEALE, O. W. High frequency irrigation for water nutrient management in humid regions. **Soil sci. Soc. Amer. J.** v. 40, p. 430-6, 1976.
53. PHENE, C. J. & SANDERS, D. C. High frequency trickle irrigation and row spacing effects on yield and quality of potatoes. **Agron. J.** v. 68, n. 4, p. 602-7, 1976.
54. RAMOS, D. P. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Rural do Rio de Janeiro, com base em fotografias aéreas e prospecções do terreno. Itaguaí, 1970. p. 128 (Mestrado em solos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

55. RAWLINS, S. L. Principles of managing high frequency irrigation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v. 37, n. 4 , p. 626-9, 1973.
56. RAWLINS, S. L. & RAATS, R. A. Prospects for high frequency irrigation. **Science.** v. 188, p. 604- 10, 1975.
57. REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo/ planta/atmosfera.** Piracicaba: Cena. 1976. 286 p.
58. ROBINSON, G. W. Los Suelos: su origem, constitucion y classification introducción a la edafologia. Barcelona: Omega. 1967, 515 p.
59. ROSE, C. W. & STERN, W. R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depht and time. **Augus. J. Soil. Res.** v. 5, p. 11-19, 1967.
60. SHANHOLTZ, V. O. & LILLARD, J. H. Hydrototic aspects of no-tillage versus convēntional systems for corn productions. **Research. Center Bulletin.** Virgínia. Research Center Bulletin, 1968. 31 p.
61. SHEAR, G. M. The development of the tillage concept in the United States. **Outlook agric.** v. 5, p. 247 -51,1968.

61. SHEAR, G. M. The development of the tillage concept in the United States. **Outlook agric.** v. 5, p. 247 -51,1968.
62. SOUZA, L. S. da & COGO, N. P. Caracterização física em solo da unidade de mapeamento São Jerônimo -RS. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 2, p. 170- 5, 1978.
63. STONE, L. R.; HORTON, M. L.; OLSON, T. C. Water loss from an irrigated sorghum field. II Evapotranspiration and root extraction. **Agron. J.** v. 65, p. 495-7, 1973.
64. SULLIVAN, T. P. & BRUN, W.A. Effect of root genotype on short water relations in soybeans. **Crop. Sci.** v. 15, p. 319-22, 1975.
65. VAN BAVEL, C. H. M.; BRUST, K. J.; STIRK, G. B. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water by roots. II The water balance of the root zone. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v. 32, p. 317-21, 1968.
66. VOSKRESENSKII, M. N. & LEVINA S. I. Skoryy metod, opewswlwniya vlazhnostil pochvy (Rapid method of determining soil moisture). **Pochvovedeniye** n.3, 1953.
67. WILD, S. A. & SPRIDAKIS, D. M. Determination of soil moisture by the immersion method. **Soil Sci.** v. 94, p. 132-3, 1962.