

# TÉCNICA VOLUMÉTRICA DE CALIBRAÇÃO DE UMA SONDA DE NÊUTRONS<sup>1</sup>

FERNANDO ENCARNAÇÃO<sup>2</sup>, CLEMENTE CARNEIRO<sup>3</sup>, ATTÍLIO DALL'OLIO<sup>4</sup>, GEORGES VACHAUD<sup>5</sup>

**RESUMO** - Uma nova técnica para calibração de sondas de nêutrons foi aplicada em três solos (Podzólico, Litólico e Aluvial). Nos experimentos de laboratório, os solos foram armazenados em tonéis, e compactados de maneira a atingir condições similares às de campo. Durante os experimentos, lâminas de água eram transferidas para os tonéis com solo a partir dos tonéis com água adaptados para funcionar como reservatórios-de-mariotte, com o objetivo de manter um lençol freático constante a 0,1 m do fundo dos tonéis com solo. As quantias de água redistribuídas por capilaridade, determinadas pela leitura direta no visor do tonel-de-mariotte, foram correlacionadas significativamente com os somatórios da razão de contagens ao longo da altura do tonel, o que permite determinar a curva de calibração do solo. Em condições de campo, a calibração da sonda de nêutrons foi obtida por meio de um arranjo especial para impedir o movimento lateral da água em torno do tubo de acesso da sonda de nêutrons.

Termos para indexação: umidade, densidade global, água armazenada, capilaridade.

## VOLUMETRIC TECHNIQUE OF A NEUTRON PROBE CALIBRATION

**ABSTRACT** - A new technique for neutron probe calibration was applied for three soils (Podzolic, Litolic and Alluvial). In the laboratory experiments, soil were stored in drums and packed under similar conditions. During the experiments, water was transferred to the drums from a Mariotte container that maintained a water table at 0.1 m from the bottom of the drum. The amounts of water transferred by capillarity were significantly correlated to the integrals of count ratio along the height of the drum. Under field conditions, the neutron probe calibration was obtained using a special arrangement that prevented the lateral movement of water around the access tube of the neutron probe.

Index terms: water content, bulk density, stored water, capillarity.

## INTRODUÇÃO

As dificuldades da calibração são inerentes ao processo de moderação de nêutrons em um meio heterogêneo (solo, água, ar), que está associado à variabilidade espacial da densidade e da composição química que em geral os solos

apresentam. Apesar desses problemas, esse método é o único largamente usado e até aqui capaz de medir as variações de umidade de perfis de solo de uma maneira não destrutiva durante o ciclo de uma cultura.

A curva de calibração de uma sonda de nêutrons em laboratório é, em geral, obtida acondicionando-se um solo, com vários teores de água, em tonéis onde foram fixados tubos de acesso. Os teores de água e as contagens da sonda de nêutrons no centro dos tonéis seguem uma relação linear que é obtida através da técnica dos mínimos quadrados. Porém, esse método é vagaroso, trabalhoso, e requer cuidados especiais para uniformizar as umidades, como também acondicionar o solo a valores de densidades semelhantes aos encontrados em condições de campo.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 15 de fevereiro de 1991.  
Trabalho financiado pelo CNPq e CNEN.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., Prof.-Assistente I, M.Sc., GET-CCTN Univ. Fed. das Alagoas, Maceió, AL.

<sup>3</sup> Eng.-Eletr., Prof.-Titular, Ph.D., DEN-CT Univ. Fed. de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1231, CEP 50700 Recife, PE.

<sup>4</sup> Físico, M.Sc., Prof.-Adjunto IV, DEN-CT Univ. Fed. de Pernambuco, Recife, PE.

<sup>5</sup> Eng.-Civil, Dr., Institut de Mécanique de Grenoble - B.P. 53 X 38041 Grenoble Cedex.

Uma simplificação desse método foi sugerida por Douglas (1966), partindo da hipótese de existir uma relação linear entre as umidades e as contagens em tonéis com o solo, respectivamente na umidade de seco ao ar e na umidade de saturação. Um problema dessa técnica é a definição da umidade de saturação que em geral é uma fração entre 0,9 e 1,0 da porosidade do solo, sendo, assim, uma séria fonte de erro na determinação da reta de calibração de uma sonda de nêutrons.

A calibração em condições de campo é feita comparando-se as leituras de sonda de nêutrons (perfis de contagens) no campo, com os valores de umidade determinados gravimetricamente em amostras de solo adjacentes ao tubo de acesso (Bell 1969). A fim de reduzir os erros na medida da umidade volumétrica, em face da variabilidade da densidade aparente, múltiplas amostragens em torno do tubo de acesso devem ser efetuadas (Greacen & Hignett 1979). Uma melhoria no método de calibração no campo, através do uso de uma sonda gama para medida da densidade seca do solo, foi proposta por Lascano et al. (1986).

Uma técnica de calibração volumétrica alternativa que pode ser aplicada em condições de campo ou de laboratório foi apresentado por Carneiro & De Jong (1986). As parcelas de campo utilizadas por esses autores para calibração da sonda eram blocos de solo em condições naturais, isolados por paredes de cimento impermeabilizadas. Contudo, essa técnica, quando usada em condições de campo, requer um grande esforço, que pode inviabilizar sua aplicação.

O objetivo deste trabalho é modificar a referida técnica volumétrica de calibração, tanto em condição de campo como em condições de laboratório, a fim de possibilitar sua aplicação de maneira mais rápida e com maior precisão.

## MATERIAL E MÉTODOS

Em condições de campo, a calibração da sonda foi feita em um solo Podzólico-Vermelho-Amarelo, situado na Unidade de Experimentação de Pesquisa de Itapirema, da Empresa Pernambucana de Pesquisa

Agropecuária (IPA), em Goiana, PE. Para a calibração em laboratório, além desse solo, foram utilizados dois outros classificados como litólico e aluvial, situados, respectivamente, nas zonas do agreste e litoral mata de Pernambuco. Na determinação do tamanho das partículas, as amostras não sofreram pré-tratamento para eliminação de sais, matéria orgânica ou ferro, e foram dispersas em água por meio de vibração, utilizando-se metodologia semelhante à empregada por Genrich & Bremner (1974). A densidade aparente foi determinada em anéis volumétricos de 245 cm<sup>2</sup>, segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1979).

O experimento de campo foi estabelecido em uma área nivelada, com 12 m de largura e 10 m de comprimento, dentro da qual foram instaladas as parcelas experimentais. Próximo a essa área experimental foi aberta uma trincheira com 1,5 m de comprimento, 2,0 m de largura e 1,0 m de profundidade. Após a identificação dos horizontes do perfil do solo, foram coletadas amostras com estrutura deformada e indeformada para análises físicas e químicas. O solo, utilizado na calibração da sonda de nêutrons em laboratório, foi coletado das paredes laterais da trincheira, seguindo a seqüência dos horizontes do perfil.

O método proposto é baseado na hipótese de que as variações das contagens observadas sejam proporcionais às variações das quantidades de água infiltrada no perfil. Na calibração *in situ*, a umidade da camada superficial do perfil tende a atingir um valor constante, logo após as primeiras adições de água, o que implica que a fuga de nêutrons tende a se manter constante nas adições subsequentes. Em consequência, pode-se escrever a relação:

$$\theta = a + b \cdot CR \quad (\text{Eq. 1}),$$

ressaltando-se, pelo motivo exposto, que esta relação não se aplica para a camada superficial do solo. Nessa equação, CR representa a relação entre as contagens da sonda de nêutrons no solo e as contagens dessa mesma sonda num meio homogêneo padrão. O coeficiente angular b da relação linear pode ser interpretado como a sensibilidade da sonda de nêutrons, isto é, representa a variação de umidade, que corresponde a uma variação unitária da taxa de contagens. O coeficiente linear a, por outro lado, depende do fato de que no solo estão presentes, além da água estrutural, outros núclídeos de número de massa baixo, que contribuem à moderação dos nêutrons, indicando um valor positivo de CR, mesmo admitindo-se um valor nulo para a umidade do solo.

A Equação 1, quando o inteiro perfil do solo for considerado homogêneo, pode ser integrada, obtendo-se então:

$$\Sigma\theta \cdot \Delta Z = (\Sigma\Delta Z) + b (\Sigma CR \cdot \Delta Z) \quad (\text{Eq. 2}),$$

onde:

$\theta$  representa a umidade volumétrica do solo a uma profundidade  $Z$ ,

$\Delta Z$  a espessura da camada de solo onde  $\theta$  é considerada constante,

$\Sigma\theta\Delta Z$  a lâmina de água armazenada no perfil do solo.

Os valores de  $a$  e  $b$  podem ser obtidos através do método dos mínimos quadrados das medidas de  $\Sigma\theta \cdot \Delta Z$  e  $\Sigma CR \cdot \Delta Z$ .

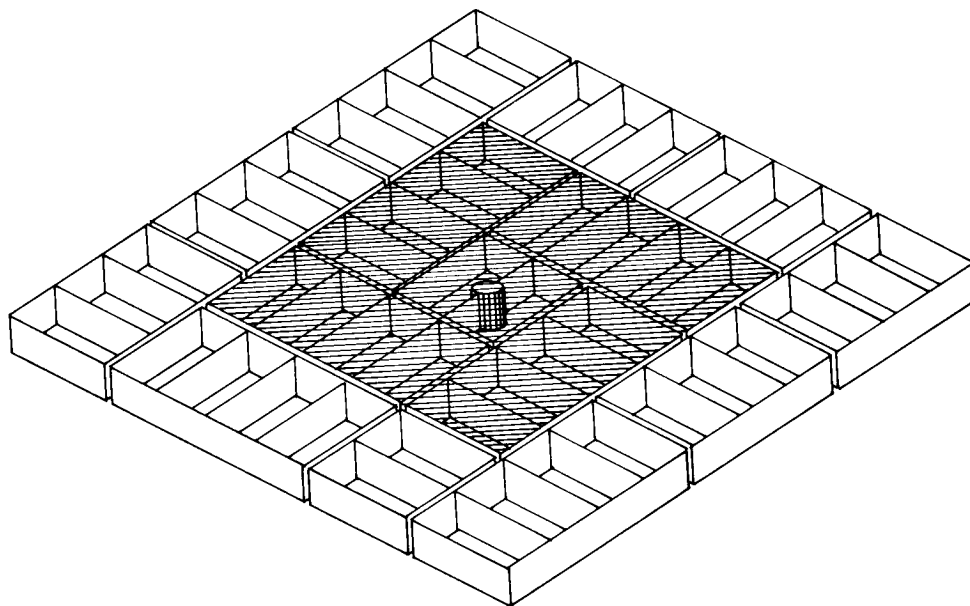
A fim de substituir as paredes laterais impermeáveis do bloco de solo, foi desenvolvido um sistema de módulos retangulares para delimitar a área ao redor do tubo de acesso. Na Fig. 1 estão representados os módulos definindo as áreas de alimentação de água ao redor do tubo de acesso. À medida que o número de módulos aumenta, o movimento lateral da água, no bloco de solo delimitado pelo módulo central onde se situa o tubo de acesso, torna-se desprezível em relação ao movimento vertical.

A fim de estudar o efeito desse movimento lateral, foram instaladas duas parcelas com áreas de aproximadamente 1,9 e 4,8 metros quadrados. A primeira, com 16 módulos retangulares em torno do módulo central onde se encontra o tubo de acesso. A segunda, com 48 módulos retangulares distribuídos de maneira similar.

Uma quantidade conhecida de água era colocada em cada módulo, e após sua infiltração no solo o processo era repetido até que as medidas com a sonda de nêutrons indicassem variações de umidade além de 1 m de profundidade, o que, para o solo em estudo, pode ser interpretado como o início do processo de drenagem. A água adicionada nos módulos laterais tem a função de promover um fluxo praticamente vertical da lâmina d'água adicionada ao módulo central, ou seja, ao redor do tubo de acesso.

Mesmo considerando os aspectos das perdas de contagens e o conseqüente aumento do coeficiente de variação das taxas de contagens, foi utilizado um tubo de PVC (cloreto de polivinil) pelas dificuldades em encontrar no mercado local tubos de alumínio nas especificações requeridas.

Para a calibração em tonéis, cada solo foi coletado das paredes laterais da trincheira, separado por horizontes e, em seguida, destorroado e espalhado ao ar durante duas semanas. Após terem sido coletadas



**FIG. 1.** Vista em perspectiva dos módulos central e periféricos usados para delimitar duas parcelas de campo e determinar a curva de calibração de uma sonda de nêutrons, os módulos em hachurado são usados na parcela menor.

amostras para medida da umidade inicial, cada solo foi colocado em tonéis em camadas sucessivas de 0,05 m de espessura e compactadas, para atingir um valor próximo da densidade de campo, através de um disco compactador. Cada tonel com solo foi alimentado com água através de um tonel idêntico adaptado para funcionar como um recipiente-de-mariotte. Esse tonel alimentador mantém um lençol freático a nível constante a partir da base do tonel contendo o solo. Então progressivamente são feitas leituras de lâminas d'água cedidas pelo tonel-de-mariotte simultaneamente com os perfis de contagem pela sonda de nêutron. O sistema fechado, tonel com o solo e tonel alimentador, está representado na Fig. 2.

Seguindo a mesma metodologia descrita acima, o mesmo solo foi acondicionado em três tonéis, onde inicialmente foram adicionadas quantidades de água conhecidas, juntamente com as lâminas de 0,05 m de solo. O processo escrito objetivou a obtenção de curvas de calibração em solos com diferentes teores iniciais de água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A granulometria e densidade aparente dos solos estudados são mostradas na Tabela 1. Os resultados parecem indicar percentuais de argila menores que os esperados neste tipo de

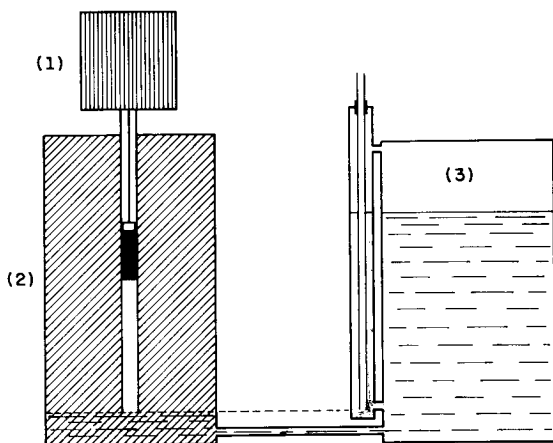


FIG. 2. Representação esquemática da sonda de nêutrons (1), do tonel com o solo (2) e do tonel alimentador de água do tipo Mariotte (3) usados para determinar curvas de calibração de sondas de nêutrons em laboratório.

solo, indicando um possível problema na dispersão das partículas de solo.

Em todos os solos estudados, a correlação linear entre as razões de contagens integradas e as lâminas de água cedidas pelo tonel alimentador apresenta um elevado nível de significância (Tabela 2 e Fig. 3).

O fato de a técnica utilizar a subida da água por capilaridade minimiza a formação de bolhas de ar, bem como o movimento das partículas mais finas do solo. Por outro lado, o processo de alimentação através do tonel-de-mariotte impede quaisquer perdas de água. Em consequência, não foi observada nem variação do volume do solo, nem perdas de água por evaporação, que são fatores de imprecisão quando a alimentação é feita a partir da superfície.

TABELA 1. Características físicas: granulometria (%) e densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) dos solos estudados.

Solo	Areia	Silte	Argila	Densidade
PVA	81	13	6	1,54
Litólico	66	24	10	1,44
Aluvial	77	17	6	1,51

TABELA 2. Coeficientes angulares das retas de calibração em laboratório e em condições de campo para diversos solos.

	Solo	Ref.(*)	Coef. ang.	$r^2$
Lab	PVA	1	$1,39 \pm 0,11$	0,97
	Litólico	2	$1,28 \pm 0,97$	0,97
	Aluvial	3	$1,34 \pm 0,03$	0,99
	"	4	$1,30 \pm 0,03$	0,97
	"	5	$1,32 \pm 0,03$	0,97
Campo	PVA	6	$1,63 \pm 0,25$	0,88
	PVA	7	$1,27 \pm 0,14$	0,96

(\*) indicada na Fig. 3.

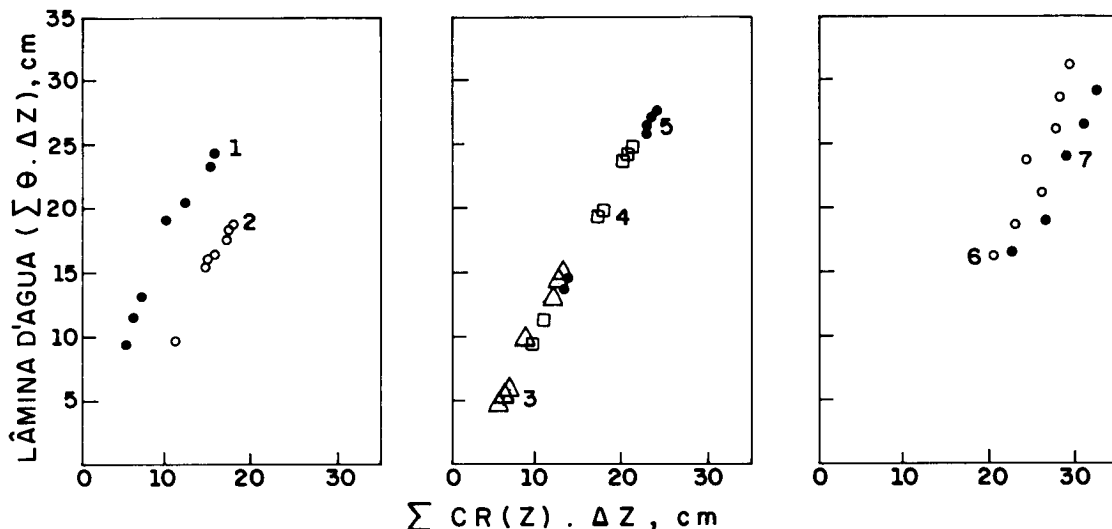


FIG. 3. Declividade das retas de calibração para diversos solos em tonéis: (1) PVA, (2) litólico, (3, 4, 5) Aluvial com diferentes umidades iniciais e *in situ*; (6, 7) PVA em duas parcelas com dimensões diferentes em condições de campo.

Os resultados obtidos em condições de campo, utilizando-se um conjunto de módulos retangulares, mostram que na parcela menor o coeficiente angular da reta de calibração foi superior ao da parcela maior (Tabela 2). Assim, esse resultado parece indicar que parte da água adicionada à parcela menor foi perdida através do movimento lateral da água. Por outro lado, pode-se também observar a consistência entre os valores do coeficiente angular da reta de calibração para o solo PVA em condições de laboratório ( $1,39 \pm 0,11$ ) e em condições de campo com 48 módulos ( $1,27 \pm 0,14$ ). Na Tabela 2 são mostrados os valores obtidos dos coeficientes angulares obtidos em outros solos em condições de laboratório.

### CONCLUSÕES

1. Os arranjos experimentais de laboratório e campo propostos para calibração de uma sonda de nêutrons são muito mais simples do que as técnicas convencionais de calibração desse equipamento. Dessa maneira, pode-se afirmar que o arranjo experimental proposto

pode substituir a técnica de medir o coeficiente angular da reta de calibração sugerida por Carneiro & De Jong (1986).

2. O arranjo experimental de campo deve cobrir uma área suficientemente grande para que as perdas laterais de água não perturbe a verticalidade do movimento da água no módulo central.

3. Vale, enfim, ressaltar que para solos de baixa permeabilidade as taxas de infiltração poderão atingir valores tão pequenos que inviabilizam a aplicação dessa técnica.

### REFERÊNCIAS

- BELL, L.P. A new design principle for neutron soil moisture gauges: the Wallingford neutron probe. *Soil Science*, v.108, p.160-164, 1969.
- CARNEIRO, C.; DE JONG, E. *In situ* determination of the slope of the calibration curve of a neutron probe using a volumetric technique. *Soil Science*, v.139, p.250-254, 1986.
- DOUGLAS, J.E. Volumetric calibration of neutron moisture probes. *Soil Science Society*

- America Proceedings**, v.30, p.541-544, 1966.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 111p.
- GENRICH, D.A.; BREMNER, J.M. Isolation of particle size fractions. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.38, p.222-225, 1974.
- GREACEN, E.L.; HIGNET, C.T. Sources of bias in the field calibration of a neutron meter in cracking clay. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, p.405-415, 1979.
- LASCANO, R.J.; HATFIELD, J.L.; VAN BAVEL, C.H.M. Field calibration of neutron meters using a two-probe gamma-density gauge. **Soil Science**, v.141, p.442-447, 1986.