

INFLUÊNCIA DA TEXTURA E PROFUNDIDADE DO SOLO NA CALIBRAÇÃO DA SONDA DE NÊUTRONS**Reginaldo Ferreira Santos***Departamento de Engenharia Rural - UNESP, CP: 237 - CEP:18603 970, Botucatu, SP***Reimar Carlesso***Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Santa Maria, - UFSM, Campus Universitário, CEP: 97119 900, Santa Maria - RS***1 RESUMO**

A sonda de nêutrons é um equipamento usado na determinação do conteúdo de água do solo baseado no espalhamento e atenuação de nêutrons rápidos. Para tanto, há necessidade de calibração no campo e, conseqüentemente, verificar a influência da textura e da profundidade do solo e determinar as curvas de calibração em relação ao conteúdo de umidade. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria em um conjunto de lisímetros, protegidos das precipitações pluviométricas com plástico transparente. Foram usados três solos de diferentes texturas e quatro repetições e em três profundidades (10, 30 e 50 cm) a partir da superfície do solo. Foram determinadas as equações de regressão lineares entre as contagens propiciadas pela sonda e o conteúdo de umidade do solo respectivos pelo método gravimétrico. Os resultados demonstraram que houve interferência da textura e da profundidade do solo, analisados conjuntamente, nas curvas de calibração, sendo que os valores observados e os estimados variaram entre 0,02 e 0,06 cm³/cm³ do conteúdo de água do solo e os coeficientes de correlação foram 0,86, 0,95 e 0,89 para os solos de textura argilosa, franco-argilo-siltoso e franco-arenoso, respectivamente. Já para os fatores textura e profundidade dos solos, analisados separadamente, as diferenças entre os valores observados no campo e os estimados, variaram entre 0,0 e 0,02 cm³/cm³ do conteúdo de água do solo e apresentaram coeficientes de correlação entre 0,97 e 1,0.

UNITERMOS: sonda de nêutrons. umidade do solo. textura e profundidade do solo

SANTOS, R.F., CARLESSO, R. Soil texture and depth influence on the neutron probe calibration

2 SUMMARY

The neutron probe is an equipment used on determination of the soil water content, based on the fast neutron attenuation. Therefore, there is a calibration need in the field and, consequently, to verify the soil texture and depth influence for to determining the calibration curves in relation to the water content. The study was developed at Santa Maria's Federal University in a lisimeter group, protected from the rains with transparent plastic. Three different soil textures, three depths (10, 30 and 50 cm from the soil surface) and four replicates were used. Linear regression equations between neutron counts and soil water contents were made. The results showed that there was interference of the texture and depth of the soil, analyzed jointly, on the calibration curves, and the observed and estimated values varied from 0,02 to 0,06 cm³ / cm³ of the soil water content and the correlation coefficients were 0,86, 0,95 and 0,89 for clayay, franc-silt-clayay and franc-sandy, respectively. For soil texture and depth, analyzed separately, the differences among the values observed in the field and the estimated ones, varied from 0,0 to 0,02 cm³/cm³ soil water content and presented correlation coefficients between 0,97 and 1,0.

KEYWORDS: neutron probe, soil water content, soil texture and depth.

3 INTRODUÇÃO

O conteúdo de água no solo pode ser determinado diretamente através do método gravimétrico ou estimado pela determinação de algumas relações de propriedade do solo, como por exemplo: resistência elétrica, potencial de água no solo e espalhamento de nêutrons (Visvalingam & Tandy, 1972).

A curva de calibração da sonda de nêutrons deve ser obtida para cada profundidade do solo a ser considerada. Jensen (1993), Stone & Nofziger (1995) e Stone et al. (1995) verificaram que quando as leituras de contagem de nêutrons foram realizadas próximo a superfície do solo, reduziu-se a sensibilidade da leitura pois muitos nêutrons foram perdidos para fora do sistema do solo.

Os trabalhos de Stone et al. (1995), com calibração da sonda em dois tambores com a mesma umidade volumétrica, demonstra que o conteúdo de água no solo estimado na profundidade de 30 cm é muito maior que na profundidade de 15cm, isto, é uma pseudo informação pois parte dos nêutrons quando a sonda se encontra próximo a superfície é perdido para a atmosfera.

As investigações de Parkes & Siam (1978) demonstraram que as leituras da sonda são sensíveis a pequena

mudanças nas profundidades de leituras. Stone & Nofziger (1995) trabalhou com a calibração da sonda de nêutrons apenas à profundidade de 30cm, pois os autores perceberam que próximo a superfície (15cm), a sensibilidade das leituras foram reduzidas, pois muitos nêutrons se perdiam para fora do sistema solo.

Stone et al. (1995) demonstraram em seu trabalho, após uma década de calibração, boa estabilidade do método do espalhamento de nêutrons ao longo do tempo. Já Hollinger & Isard (1994) analisaram dados de 10 anos de medidas obtidos com sonda de nêutrons, embora se demonstrando boa estabilidade ao longo do período, o método de espalhamento dos nêutrons demonstrou sofrer influência do tipo de solo e da sazonalidade.

A calibração da sonda de nêutrons é necessária para a obtenção precisa do conteúdo de água em diferentes solos, estando em função do trabalho a que a sonda será designada, das propriedades, material geológico e da geometria do orifício do tubo de acesso. Devido a isto, características do solo tais como: texturas, profundidade, temperatura, resistência ao contato elétrico, concentração salina e tempo de leitura podem influenciar na determinação do conteúdo de água no solo (Arslan & Razzouk 1994; Stone & Nofziger (1995).

Segundo Turatti et al. (1990), a calibração torna-se muito dependente da variabilidade espacial do solo, sobretudo da variabilidade da densidade, porosidade e umidade. De acordo com Arslan & Razzouk (1994), existe a necessidade de obtenção de curvas de calibração específica para cada tipo de solo. Portanto de modo geral, as variações e estratificações das propriedades físicas do solo, influenciam a distribuição e a dinâmica da água no solo trazendo consequências na interpretação das medidas de umidade do solo feitas com a sonda de nêutrons. Calder (1979), encontrou variações ocorridas na inclinação das curvas de calibração a campo de até 19% em grande faixa de solos.

O monitoramento do conteúdo de água no solo com a utilização da sonda de nêutrons pode ser feito na profundidade em que se deseja ter o controle da umidade, além de que, segundo Torres & Gonzales (1993) é um método não destrutivo, rápido, preciso, apresentando a possibilidade de alta periodicidade de medição.

A possibilidade de se utilizar a sonda de nêutrons na determinação do conteúdo de água no solo pode ser entendida através de uma rápida consideração pertinente em pontos teóricos.

A sonda de nêutrons é provida de uma fonte de nêutrons rápidos de alta energia que se espalham radialmente a partir da origem, e de um detector dos nêutrons lentos que são termalizados ao se colidirem com os núcleos atômicos espalhados ao acaso no local amostrado. Esta colisão resulta em uma transferência de energia dos nêutrons para os núcleos. Os nêutrons lentos, já termalizados, retornam e incidem sobre um cristal detector originando fótons luminosos que excitam uma célula fotomultiplicadora dando impulsos elétricos registrados no contador.

Os nêutrons são partículas atômicas desprovidas de carga, com massa muito semelhante aos prótons e núcleos de hidrogênio. O princípio da metodologia na calibração da sonda de nêutrons, tem como base a correlação entre o conteúdo de água no solo e a emissão de nêutrons de alta energia que são atenuados ao colidirem com núcleos de outros elementos no solo (Ferraz, 1967).

O método dos nêutrons está alicerçado primariamente em duas importantes considerações: (i) o hidrogênio é praticamente o único elemento que modera os nêutrons rápidos passando-os para nêutrons lentos (ii) o hidrogênio no solo está quase que inteiramente na forma de água, pôr isso, a densidade da nuvens de nêutrons moderada, reflete a umidade do solo (Beltrame & Taylor 1980).

A técnica da atenuação de nêutrons pode ser empregada no monitoramento da variação do conteúdo de água no solo ao longo do tempo. A conversão da atenuação de nêutrons para conteúdo de água pode ser feito através de uma única calibração. A contagem de nêutrons no solo normalmente não é usada diretamente na calibração, e sim a relação entre a razão de contagem da sonda e o conteúdo de água no solo. Para Beltrame & Taylor (1980); Turatti et al. (1990); Arslan & Razzouk (1994); Elder & Rasmussen (1994); Stone et al. (1995) esta é uma relação linear.

Aplicando-se a correlação dos dados, pelo método de regressão linear, obtém-se as equações que permitem estimativas rápidas e precisas da disponibilidade de água no solo para as plantas. Para isto, a calibração é essencial (Buss & West 1987; Stone & Nofziger 1995).

Os objetivos deste estudo foram: (i) verificar a influência da textura e profundidade do solo na calibração linear da sonda de nêutrons utilizando a metodologia dos pontos extremos (solo úmido e solo seco) e; (ii) determinar a equação da curva de calibração da sonda de nêutrons para a estimativa da quantidade de água no solo em três diferentes texturas e profundidade do perfil do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais, localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria, instalado em um conjunto de 12 lisímetros de drenagem protegidos das precipitações através de uma cobertura de plástico transparente, constituídos de caixas de cimento amianto de 1000 litros, com dimensões de 156cm de comprimento, 100cm de largura e 80cm de profundidade.

O conjunto de lisímetros foi instalados ao mesmo nível. A parte inferior de cada caixa foi provida de tubulações em direção a uma caixa coletora para receber separadamente à água de drenagem. Sobre o forro inferior foi colocado uma camada de brita de 8 a 10 cm para facilitar a drenagem e sobre a brita uma lâmina de material comercial denominado "Bidim", para facilitar a drenagem e evitar o entupimento da tubulação e, até alcançar a borda superior do lisímetro preencheu-se com solo.

Os solos utilizados foram: de textura argila pesada (Latosolo Roxo distrófico) proveniente da Unidade de Mapeamento Santo Angelo com um manejo de aproximadamente 10 anos de plantio direto; a textura franco argilo siltoso (Podzólico Vermelho-Amarelo) proveio da Unidade de Mapeamento Julio de Castilhos, coletado em local de campo nativo e

a textura franco arenoso (Podzólico Vermelho-Amarelo), foi proveniente da Unidade de Mapeamento São Pedro sob manejo de pousio. Os solos foram coletados da camada de 0 a 20cm de profundidade. Foram aplicados oito ciclos de saturação e secagem para consolidar o solo no interior dos lisímetros.

Para a calibração da sonda de nêutrons CPN modelo 503 DR Hidroprobe (50 mCi Am-241/Be), instalou-se no centro de cada caixa em sentido vertical tubos de acesso de PVC-TIGRE para esgoto com 50 mm e 48mm, respectivamente de diâmetro externo e interno.

A prática de cultivo adotado foi de uma população adensada de 25 plantas de milho pôr m² com o objetivo de ajudar a promover um mais rápido secamento do solo. O milho foi semeado manualmente duas semanas anterior ao início do período de calibração. Os solos foram distribuídos em tratamento estatístico inteiramente casualizado com três tratamento de quatro repetições, perfazendo um total de 12 parcelas amostradas em três níveis de profundidade, 10, 30 e 50cm a partir da superfície do solo.

O solo foi inicialmente saturado utilizando-se de um conjunto de aspersores. Após a saturação por 48 horas, o conteúdo de água no solo foi lentamente sendo reduzido, inicialmente pela drenagem e logo depois pela evaporação do solo e transpiração das plantas. As determinações da umidade gravimétrica foram realizadas em cada textura e profundidade simultaneamente as contagem de nêutrons termalizados. A calibração do fabricante apresenta uma reta, por isso, propôs-se trabalhar com apenas os pontos extremos de umidade para cada profundidade das três texturas de solo consideradas.

A leituras dos pontos mais extremos de umidade do solo iniciaram-se 24 horas após a drenagem do solo que estava sob o estado de saturação. No outro extremo as determinações e as leituras foram realizadas 45 dias após, quando o solo estava praticamente seco. A contagens de nêutrons lentos na água (ca) foi obtida através dez leitura da sonda de 16 segundos, em um tubo de acesso no centro de um tambor de 200 L preenchido com água. Para a contagem de nêutrons lentos no solo (cs), a sonda foi posicionada no centro do lisímetro, sobre os tubos à 5cm da superfície do solo, com duas médias de leituras de 16 segundos.

Para a determinação da umidade gravimétrica foram retiradas duas amostras de solos deformadas com um trado na mesma profundidade de leitura da sonda de nêutrons e secas na estufa a 105°C pôr 48 horas determinando-se a umidade pelo método gravimétrico padrão. A umidade volumétrica do solo foi obtida multiplicando se a umidade gravimétrica em base de peso, pela densidade do solo.

Com a razão das médias de contagem e a de umidade volumétrica, obteve-se para cada profundidade pares de valores para a análise da regressão linear, onde o conteúdo de água no solo a base de volume foi a variável dependente e a razão de contagem da sonda foi a variável independente. A equação da reta que ajustaram a estimativa do conteúdo de água no solo foi.

$$Y = a + bx$$

onde:

- Y = conteúdo de água no solo (cm³.cm⁻³);
- a = coeficiente linear;
- b = coeficiente angular da curva de calibração;
- x = razão de contagem = cs/ca;
- cs= média das contagens de nêutrons lentos no solo;
- ca= média das contagens de nêutrons lentos na água (padrão).

Tabela 1 - Características física e químicas das texturas de solos estudadas na calibração da sonda de nêutrons, Santa Maria, dezembro de 1995.

Textura do solo	P	K	d	M.O	Macro poros	Micro poros	Areia	Silte	Argila
	ppm	ppm%%%%%%%
Argilosa	27	200	1.12	4.6	24.3	33.5	7	25	68
Franca	1.5	56	1.06	3.1	20.0	40.0	19	43	38
Arenosa	4.8	48	1.49	0.8	28.5	11.5	64	28	8

Argilosa: argila pesada; Franca: franco argilo siltoso; Arenosa: franco arenoso; d: densidade

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 demonstra os resultados da regressão linear simples com os pares de dados (razão de contagem e umidade volumétrica) pela metodologia dos pontos extremos, utilizados na obtenção da curva de calibração da sonda de nêutrons no conjunto das três diferentes texturas e profundidade do solo.

A dispersão dos pontos evidenciam que há necessidade em separar os pares de valores das diferentes texturas para a construção de novas curvas de calibração. Desta regressão linear conjunta, resultou um coeficiente de correlação de 0,81, que, apesar de significativo, não é considerado bom para a calibração de um instrumento segundo Turatti (1990).

Entretanto, a maioria das curvas de calibração encontradas na literatura apresentam uma dispersão semelhante a da Figura 1 com coeficientes de correlação não muito altos (Chawla & Tripathi 1987; Carneiro & De Jong, 1985; Turatti et al. 1990).

A análise da dispersão dos pontos na calibração da sonda pode levar à conclusão que o método de espalhamento de

nêutrons não tem sensibilidade suficiente para avaliar a umidade do solo. Por exemplo, na Figura 1, vê-se que para o valor de razão de contagem 0,62 a umidade do solo variou de 0,22 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para a textura franco arenosa para o valor de 0,38 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ na textura franco argilo silteoso. Entretanto, a causa dessa dispersão deve-se ao fato de as amostras utilizadas para determinar a umidade não representarem o volume “amostrado” pela nuvem de nêutrons difundida no solo e, devido a variação das características do solo, pois quanto menor o conteúdo de umidade no solo maior será o caminho percorrido pelo nêutron até ser termalizado.

A consistência das observações de contagem relativa, é porém uma boa informação a respeito da distribuição da água no perfil do solo. O problema é que a informação fornecida pela sonda é em número de nêutrons termalizado e não em conteúdo de água no solo, e esta conversão depende da curva de calibração. Sabe-se entretanto, que as curvas de calibração de uma sonda sofre influência de vários fatores do solo, entre eles principalmente profundidades e texturas do solo. As investigações de Arslan & Razzouk (1994) demonstram que a redução no valor do coeficiente de determinação para $r^2 = 0.60$ foram decisivamente influenciados pela profundidade e textura do solo.

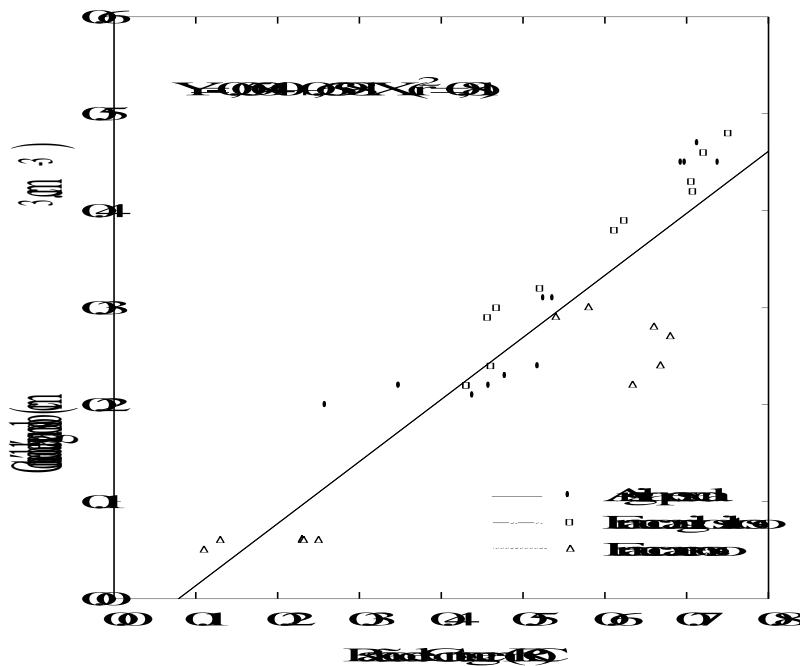


Figura 1. Gráfico de dispersão da razão de contagem versus o conteúdo de água no solo para as diferentes texturas.

Isso significa que o uso de uma única curva de calibração, tal como a Figura 1, apresentará dados de conteúdo de água no solo com certo grau de incerteza em seu valor absoluto. Isto é uma limitação muito grande quando a medida do conteúdo de água no solo exige um valor correto, como por exemplo a determinação do limite crítico a partir do qual a quantidade de água no solo é limitante ao crescimento e desenvolvimento normal de uma cultura. Entretanto, como o local e o volume de solo amostrado em diferentes tempo é o mesmo, a sonda apresenta vantagens em relação a outros métodos Turatti et al. (1990). Portanto, a importância do uso da sonda em investigações que se acompanha a variabilidade da umidade ao longo do tempo.

O aproximado paralelismo das retas demonstrados na Figura 2, para as diferentes texturas, revela a alta sensibilidade da sonda, que realmente “amostra” o conteúdo de água no solo para as diferentes texturas nos mesmos pontos ao longo do tempo. Pontos de alta razão de contagem representaram sempre alto conteúdo de água no solo, já pontos com de baixa razão de contagem, apresentaram sempre valores baixos de conteúdo de água no solo.

A variação da razão de contagem com o tempo também é coerente com a dinâmica da água e com as características do solo. A Figura 2 demonstra a variação do conteúdo de água em três diferentes texturas, considerando em conjunto os valores obtidos nas três profundidade do solo.

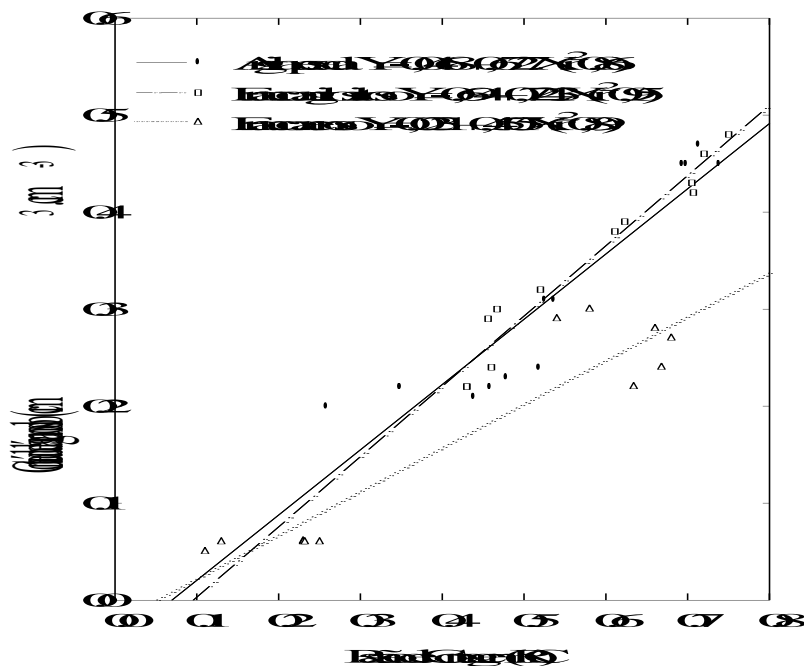


Fig. 2 - Gráfico de dispersão da razão de contagem para as diferentes texturas de solo.

As retas obtidas pelas equações das curvas de calibração da sonda de nêutrons, apresentaram inclinação diferenciadas para as diferentes texturas de solo.

De acordo com Turatti et al. (1990) as curvas de calibração se distanciam entre si praticamente em linhas paralelas. Significando que, o uso de uma única equação da curva de calibração, estimaria os valores do conteúdo de água no solo com certo grau de incerteza em seu valor absoluto.

A Figura 2 demonstra claramente que os valores de razão de contagem foram maiores no início da redução da água no solo, pois o solo neste momento apresentavam maior conteúdo de água e menor no final do período, onde o solo se encontravam com os menores conteúdo de água. Semelhante resultados se nota para as diferentes texturas de solo. As texturas argila pesada e franco argilo siltoso pelas suas características de porosidade e tamanho de partículas apresentam uma maior capacidade de armazenamento de água no solo que a textura franco arenosa, por isto apresentaram sempre maiores valores de razão de contagem. Isto confirma a grande utilidade da técnica de moderação de nêutrons, cuja maior limitação está na curva de calibração.

Resultados similares a estes foram encontrados por Hollinger & Isard (1994) ao analisar os dados de 10 anos de medidas obtidos com sonda de nêutrons, verificou-se que os resultados sofreram influência do tipo de solo. Esta comparação mostrou que solos de textura franca siltosa retém duas a três vezes mais água que a textura areia franca e que, as equações das curvas de calibração da uma sonda, apresentou inclinação diferenciadas para diferentes textura e profundidade do solo.

Os coeficientes de correlação deste trabalho (0,86; 0,95 e 0,89) para as texturas argila pesada, franco argilo siltoso e franco arenoso, respectivamente, são considerados bons para uma equação de estimativa do conteúdo de água no solo, como pode ser visto pelas diferenças entre as umidade observada e estimada. Outros trabalhos de calibração de sondas de nêutrons mostram que coeficientes de correlação obtidos estiveram em torno de 0,8, que de acordo com Turatti et al. (1990) são considerados baixo para a estimativa da variação do conteúdo de água no solo.

Evet & Steiner (1995) investigando precisão do método de espalhamento do nêutrons em diferentes sondas indicam que os valores encontrados de $r^2 = 0,68$ a $0,71$ apresentaram baixa correlação na estimativa da umidade no solo, enquanto valores de $r^2 = 0,97$ a $0,99$ proporcionaram excelente estimativa da umidade no solo.

Os resultados da Tabela 2 demonstram a variação da umidade em valores absolutos causados pela influência das texturas e profundidade do solo.

Tabela 2 - Equações de calibração da sonda de nêutrons analisada independente para cada textura e profundidades do solo. Santa Maria, RS. 1995.

Textura	Prof	Equações	RC	r ²	θ _{est.}	θ _{obs.}	D(θ)
argila pesada	10	Y= 0.0930+0.4X	0.35	0.97	0.23	0.22	0.01
	30	Y= -0.22+0.96X	0.48	0.99	0.24	0.23	0.01
	50	Y= -0.23+0.95X	0.52	0.98	0.23	0.24	0.01
franco argilo siltoso	10	Y= 0.05+0.548X	0.26	1	0.19	0.17	0.02
	30	Y= -0.10+0.74X	0.46	1	0.24	0.24	0.00
	50	Y= -0.09+0.77X	0.51	0.98	0.31	0.32	0.01
franco arenosa	10	Y= -0.01+0.54X	0.13	1	0.06	0.06	0.00
	30	Y= -0.03+0.40X	0.23	1	0.06	0.06	0.00
	50	Y= -0.05+0.49X	0.23	0.99	0.06	0.06	0.00

Prof: profundidade (cm); D(θ): diferenças absolutas entre o conteúdo de água no solo (cm³ cm⁻³); RC: razão de contagem; θ: conteúdo de água no solo (cm³ cm⁻³)

Os resultados apresentados na Tabela 2, indicam o comportamento do erro em estimando a umidade do solo na base de volume pela equação que representa cada textura e profundidade. Além de apresentar maior valor do coeficiente de correlação, os resultados de estimativa do conteúdo de água no solo estimado pela equação dos fatores em separados foram mais aproximado dos valores observado no campo que os valores estimados pela equação quando os fatores textura e profundidade foram analisados em conjunto.

Se aplicarmos o mesmo procedimento da Tabela 2 para as equações que levam em consideração apenas a textura do solo, as diferenças de conteúdo de água no solo em valores absoluto variam entre (0,02 a 0,06 cm³.cm⁻³). Com isto, se verifica que a diferenças de conteúdo de água no solo em valores absoluto é menor para as equações de estimativa que levam em consideração tanto textura como profundidade do solo (0,0 a 0,02 cm³.cm⁻³) em análise independente. Este fato, evidencia que a metodologia da calibração da sonda de nêutrons é mais precisa quando se procede a calibração para cada textura e profundidade do solo em separado.

Variabilidade física, química e biológica, é muito comum em solos agrícolas entre os elementos que moderam os nêutrons. Devido a isto, o uso de uma única curva de calibração pode ocorrer em erros segundo Mc.Henry & Oill (1967) em diferentes texturas de solo e profundidade pois, a sonda pode ser influenciada por presença de elementos que apresentem relativa eficiência na desaceleração dos nêutrons rápido.

6 CONCLUSÕES

- Os coeficiente de correlação da calibração da sonda de nêutrons, são influenciados pela textura e profundidade do solo.

- Na obtenção da curva estimativa do conteúdo de água no solo, a análise em separado das texturas e profundidades do solo, apresentaram desempenho similares e até mesmo superiores que a análise em conjunto das texturas e profundidades do solo.

7 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de estudo concedida durante o transcorrer do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola. Ao Departamento de Engenharia Rural da UFSM, RS, e ao Prof. Dr. Antonio Evaldo Klar, pelas sugestões apresentadas a este trabalho

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSLAN, A., & RAZZOUK, A.K. Effects of gypsum on the nêutrons probe calibration curve. Baltimore, *Soil Sci.* v.158, n.3 p.174-180, 1994.
- BELL, J. P. A new design principle for nêutrons soil moisture gages: the "Wallingford" nêutrons probe. Baltimore, *Soil Sic.* v.108, n.8, p.(?) 1968.
- BELTRAME, L. & TAYLOR, J.C. Uso da sonda de nêutrons para determinação da umidade do solo no campo. *Rev. Bras. de Ciência do Solo.* v.4, p.57-61, 1980.
- BUSS, P. & WEST, A. Nêutrons probe has potential for irrigators. *Australian Grapegrower and Winemaker*, Australia, n.280, p. 114-115, 1987.

- CALDER, I.R. *Utilização da sonda de nêutron*. Projeto BRA/75/007/PNUD/UNESCO, 1979 (Publicação n. 4) 29p.
- ELDER, A.N. & RASMUSSEN, T. C. Nêutrons probe calibration in unsaturated tuff. *Soil. Sci. Am. J.* v.58, p.1301-1307, 1994.
- EVETT, S.R., STEINER, J.L. Precision of nêutrons scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration. *Soil Sci. Soc. of Am.*, (USA), v. 59, n. 4, p. 961-968, 1995.
- FERRAZ, E.S.B. *Estudo de água do solo por moderação de nêutrons*. Caderno didático da cadeira de Física e Meconteuóologia. ESALQ - USP, Piracicaba 1967. 31p.
- GARDNER, W. & KIRKHAM, D. Determination of soil moisture by nêutrons scattering. *Soil Sci.*, n.73, p.391-401, 1951.
- HAVERCAMP, R., VAUCLIN, M. & VACHAUD, G. Error analysis in estimating soil water content from nêutrons probe measurements: 1. Local standpoint. *Soil Sci.* Baltimore, v. 37, n.2, p.78-90, 1984.
- HOLLINGER, S.E., ISARD, S.A. A soil moisture climatologi of illinois. *Journal of Climate*, (USA) v.7, n.5, p. 822-833, 1994.
- JENSEN, J.R. Stratification and nêutrons probe measurement in the topsoil of a ridged savanna soil. Baltimore, *Soil Sci.* v.156, n.1 p.1-9, 1993.
- KLAR, E.A. *Irrigação: Frequência e quantidade de aplicação*. São Paulo, Nobel, 1991. 156p.
- KLENKE, J.M., FLINT, A.L. Collimated nêutrons probe for soil water content measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 55, n. 4, p. 916-923, 1991.
- LAL, R. The effect of osil texture and bulk density on the nêutrons and density probe calibration for some tropical soils. Baltimore, *Soil Sci.* n.117, p.183-190, 1979.
- LAWLESS, G.P., MacGILLIVRAY, A.N., NIXON, P.R. Soil moisture interface effects upon readings of neutron moisture probes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* v.27, p.502-507, 1963.
- MERRIAM, R.A. & KNOERR, K.R. Counting times required with nêutrons soil-moisture probes. Baltimore, *Soil Sci.* n.17, p.394-395, 1961.
- PARKES, M.E., SIAM, N. Error associated with measurement of soil moisture chasnge by neutron probe. *J. Agric. Engng Res.*, v.24, p.87-93, 1979.
- STONE, J.F., GRAY, H.R., WEEKS, D.L. Calibration of nêutrons moisture probes by transfer through laboratory media: II. stability experience. Baltimore, *Soil Sci.* v.160, n.3, p.164-175, 1995.
- STONE, J.F., NOFZIGER, D.L. Calibration of neutron moisture probes by transfer through laboratory media: I. Principles. *Soil Sci.*, v.160, n.3, p.155-163, 1995.
- TORRES, P.S., GONZALES, R. Determination of the humidity in representative soils of the western savannas using nêutrons probes. In Congreso Venezolano Sobre la Ciencia Del Suelo, 1993, Venezuela. *Programa y resúmenes de trabajos*, 1993. p.75-76.
- TURATTI, A.L., VILLAGRA, M.M., PONCE, J.E. et al. Variabilidade espacial do solo e sua implicação na calibração de sonda de nêutrons. *R. Bras. Ciência do Solo*. Campinas, v.14, p.259-262, 1990.
- Van BAVEL, C.H.M., LASCANO, R.J., BAKER, J.M. Calibrating two-probe, gamma-gauge densitometers. *Soil Sci.*, v.140, p.393-395, 1985.
- VISVALINGAM, M., TANDY, J.D. The neutron method for measuring soil moisture content - A review. *J. Soil Sci.* v. 23, n.4, p.499 - 511, 1972.
- WILSON, D.J. Uncertainties in the measurement of soil water content caused by abrupt soil layer changes, when using a neutron probe. *Aust. J. soil Resour.* v.26, p.87-96, 1988.