

ESTIMATIVA DOS LIMITES DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE GLOBAL E DA TEXTURA DO SOLO¹

Eugênio F. Coelho²

Marco Antonio F. Conceição³

Valdomiro A. B. Souza⁴

1. INTRODUÇÃO

O aumento da área irrigada no País, nos últimos anos, deve-se à expansão dos sistemas de irrigação pressurizados, os quais apresentam custos relativamente altos aos produtores. Neste contexto, tem crescido o interesse dos irrigantes por tecnologias disponíveis para um adequado manejo de irrigação, com o objetivo de otimizar a produtividade das culturas.

Na determinação da quantidade de água a aplicar, utilizam-se como parâmetros básicos os valores-limite de disponibilidade de água no solo, os quais se devem às características estruturais e texturais do solo e, no caso do limite inferior, dependem, também, da planta. Os teores de água no solo, equivalentes aos potenciais matriciais de -33 kPa e -1500 kPa, têm sido recomendados para esses limites (2, 11), embora o conteúdo de água correspondente a esses potenciais varie de acordo com as características texturais e estruturais do solo.

Os limites de disponibilidade de água são determinados normalmente pela obtenção da curva de retenção de água no solo. Essa

¹ Aceito para publicação em 13.11.1997.

² Embrapa – Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, C.P. 07, 44380-000 BA

³ Embrapa – Uva e Vinho, C.P. 14, Jales, 15700-000 SP

⁴ Embrapa – Meio Norte, C.P. 01, Teresina, 64006-220 PI

metologia exige laboratórios equipados com aparelhos extratores de Richards, o que ainda é limitante em várias partes do Brasil. Uma alternativa para os casos onde há dificuldade de acesso a esses parâmetros pode ser o uso de modelos que permitam sua obtenção a partir de características do solo de mais fácil obtenção. Essa metodologia alternativa também pode ser de grande utilidade na formulação de modelos para manejo de irrigação, com o objetivo de determinar quando e quanto de água aplicar nos diferentes cultivos em distintas condições edafoclimáticas.

O uso de modelos para a determinação de parâmetros de retenção de água do solo a partir de características físicas como textura, teor de matéria orgânica e densidade global, tem sido estudado por vários autores (7, 12, 13). Alguns trabalhos têm mostrado significativa correlação entre o teor de umidade a diferentes tensões e o teor de argila do solo (10).

ARRUDA *et alii* (1) correlacionaram os teores de silte e argila com os limites superior e inferior da disponibilidade de água no solo e observaram altas correlações entre a textura e esses limites. Entretanto, não obtiveram as mesmas tendências quando correlacionaram os limites de disponibilidade de água e a densidade global do solo.

A questão metodológica desses trabalhos deve ser avaliada quanto ao emprego adequado dos modelos, principalmente no que se refere ao estado da amostra de solo, se deformado ou não, e aos modelos testados. Na maioria dos trabalhos citados foram usadas amostras de solos deformadas para determinação do teor de água a diferentes potenciais. Com relação aos modelos testados, a lista de variáveis independentes difere de um trabalho para outro, sendo os parâmetros texturais mantidos constantes em todas elas. O número e o tipo de modelos testados apresentam, também, significativa variação de trabalho para trabalho. Por exemplo, alguns autores têm usado regressão linear simples ou múltipla entre várias variáveis independentes e os limites de disponibilidade de água. ARRUDA *et alii* (1) usaram um programa computacional baseado em metodologia de ZULLO e ARRUDA (15), com 16 equações empregadas em ciências naturais, para a tentativa de ajuste das variáveis dependentes e independentes.

Com o propósito de acrescentar informações e dar subsídio à hipótese da viabilidade de uso de modelos para determinar os limites de disponibilidade de água no solo, com base nas características físicas e físico-hídricas, desenvolveu-se o presente trabalho, cujo objetivo foi determinar e avaliar alguns modelos para se estimar o conteúdo de água no

solo, com base na textura e na densidade global em diferentes classes texturais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solos não deformadas em várzeas e em encostas, em perfis de 0-0,6 m de profundidade, foram coletadas em solos Glei Húmico, Glei Pouco Húmico e Aluviais de Minas Gerais (municípios de Caxambu, Lambari, São Lourenço, Cambuquira, Leopoldina e Sete Lagoas) e do Piauí (Perímetro Irrigado de Lagoas - Luzilândia, Perímetro Irrigado de Caldeirão - Piripiri e município de Parnaíba) num total de 70 trincheiras. Também foram retiradas amostras em 20 trincheiras em encostas nos locais mencionados do Estado do Piauí, abrangendo Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Brunizem Avermelhado e Vertissolo.

As composições granulométricas das amostras foram obtidas pelos métodos da pipeta e dispersão com NaOH (6). Amostras não deformadas foram acomodadas em cilindros de 53,8 mm de diâmetro e 60,0 mm de altura e usadas para determinação dos teores de água referentes aos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa, considerados como limites superior (LSD) e inferior (LID) da disponibilidade de água no solo, respectivamente (10). A densidade global foi determinada pelo método do anel volumétrico, usando as mesmas amostras não deformadas (3).

As amostras foram agrupadas nas principais classes texturais (4), de acordo com as composições granulométricas. Empregou-se regressão linear múltipla para correlacionar as percentagens de areia (A), silte (S), argila (C), silte+argila (SC) e densidade global (ρ_g) com os teores de umidade equivalentes aos LSD e LID, adotando-se o seguinte modelo:

$$\text{LSD ou LID} = k_0 + k_1A + k_2S + k_3C + k_4\rho_g + K_5SC$$

em que LSD e LID são expressos em percentagem de água em relação ao peso de solo seco; e, k_i , $i = 1...5$, são os coeficientes da regressão. Utilizou-se o método "step wise" para selecionar as variáveis independentes que contribuíram significativamente para o modelo (14). Modelos de regressão simples, em um total de 735, foram ajustados aos dados de LSD e LID, de acordo com as percentagens individuais de areia, silte, argila e da densidade global (ρ_g), usando-se o programa "Tabela de Curvas" (9). Foram selecionados modelos mais acessíveis e consistentes com o comportamento dos dados para as diferentes classes texturais. A significância do modelo para cada classe textural foi definida a partir da análise de variância da regressão (Quadro 1). A definição dos modelos

mais adequados foi dada com base em critérios sugeridos por DRAPPER e SMITH (5).

QUADRO 1 - Análise de variância usada nos modelos de regressão simples avaliados			
Fonte de variação	GL	SQ	QM
Regressão	1	SQR	QMR
Erro	*n-2	SQE	QME
Falta de ajuste	‡c-2	SQLF	QMLF
Erro puro	n-c	SQPE	QMPE
Total	n-1	SQT	

* n - número total de observações
 ‡c - número de distintos valores da variável independente

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tentativa de obter modelos de regressão múltipla, envolvendo os parâmetros LSD e LID, para as características texturais e densidade global para as diferentes classes de solos, resultou em um único modelo, em que LSD dependeu da densidade global e do teor de silte para o solo argiloso (Quadro 2). Para os demais solos, os coeficientes de determinação foram muito baixos e os coeficientes k_i dos modelos foram não-significativos, o que inviabilizou os modelos testados. O modelo de regressão linear múltipla (solo argiloso) indica que o comportamento do LSD decresce com o aumento da ρ_g e com a redução do teor de silte.

Os melhores ajustes, com o uso dos modelos de regressão simples, foram obtidos para os solos argiloso, franco-argiloso e franco-argilo-arenoso (Quadro 2). Nesses solos, os melhores ajustes foram conseguidos com os modelos não-lineares, em que a variável independente foi a densidade global (solos argiloso e franco-argiloso) ou o teor de silte (argiloso e franco-argilo-arenoso). Os modelos mais consistentes e que melhor descreveram o comportamento dos dados (melhores ajustes), para os solos estudados, foram os mais simples (Quadro 2 e Figuras 1 e 2). Os coeficientes de determinação e a não-significância do teste F para a falta de ajuste, para os referidos modelos, confirmam este fato. Para o solo argiloso, a influência do teor de silte no LSD ($R^2 = 57,28\%$) foi ligeiramente superior à influência da densidade global ($R^2 = 52,65\%$). No caso do solo franco-arenoso, mostrado na Figura 3, não houve nenhum

modelo que ajustasse adequadamente aos dados do LSD ou do LID para qualquer das variáveis independentes utilizadas.

QUADRO 2 - Melhores modelos de regressão simples e múltipla ajustados aos dados dos limites superior (LSD) e inferior (LID) de disponibilidade de água do solo, como função da textura e da densidade global do solo				
Tipo de Solo	Modelo	R ²	F _{LF}	F
Argiloso	$LSD = 41,3580 - 16,6354 \rho_g + 0,4106 S \pm$	0,6065	2,67 NS	35,45**
	$LSD = 13,2062 - \frac{3,5344 \rho_g}{\ln \rho_g}$	0,5265	1,71 NS	27,79**
	$LSD = 42,6737 - \frac{363,9401}{S}$	0,5728		16,76**
Franco-argilo-arenoso	$LSD = -24,8766 + \frac{2347,3300}{S}$	0,6132	0,85 NS	28,53**
Franco-argiloso	$LSD = 5,8966 - \frac{4,4623 \rho_g}{\ln \rho_g}$	0,7939	0,24 NS	57,80**
	$LID = 6,9214 - \frac{3,4117 \rho_g}{\ln \rho_g}$	0,6217	0,24 NS	24,65**
** Significativo a 1% de probabilidade, NS - não-significativo ± Regressão múltipla S - Teor de silte (%), ρ_g - Densidade global do solo (g.cm ⁻³)				

Os intervalos de confiança, baseados nas médias dos valores das variáveis dependentes (LSD e LID), foram aplicados para os modelos de melhores ajustes para os solos argiloso, franco-argiloso e franco-argilo-arenoso (Figuras 1 e 2). Para a maioria dos dados, esses intervalos de confiança ficaram dentro de uma faixa igual ou menor a 5% (P<0,05), o que parece ser razoável, considerando que a disponibilidade total de água desses solos é igual ou superior a 13% (8).

Em todos os solos, os modelos usados para estimar os valores do LSD resultaram em um ajuste bem melhor que aqueles usados para estimar

os valores do LID. Com exceção do solo franco-argiloso, os coeficientes de determinação resultantes dos ajustes dos modelos aos dados dos LID foram, em geral, muito baixos e não estão aqui apresentados.

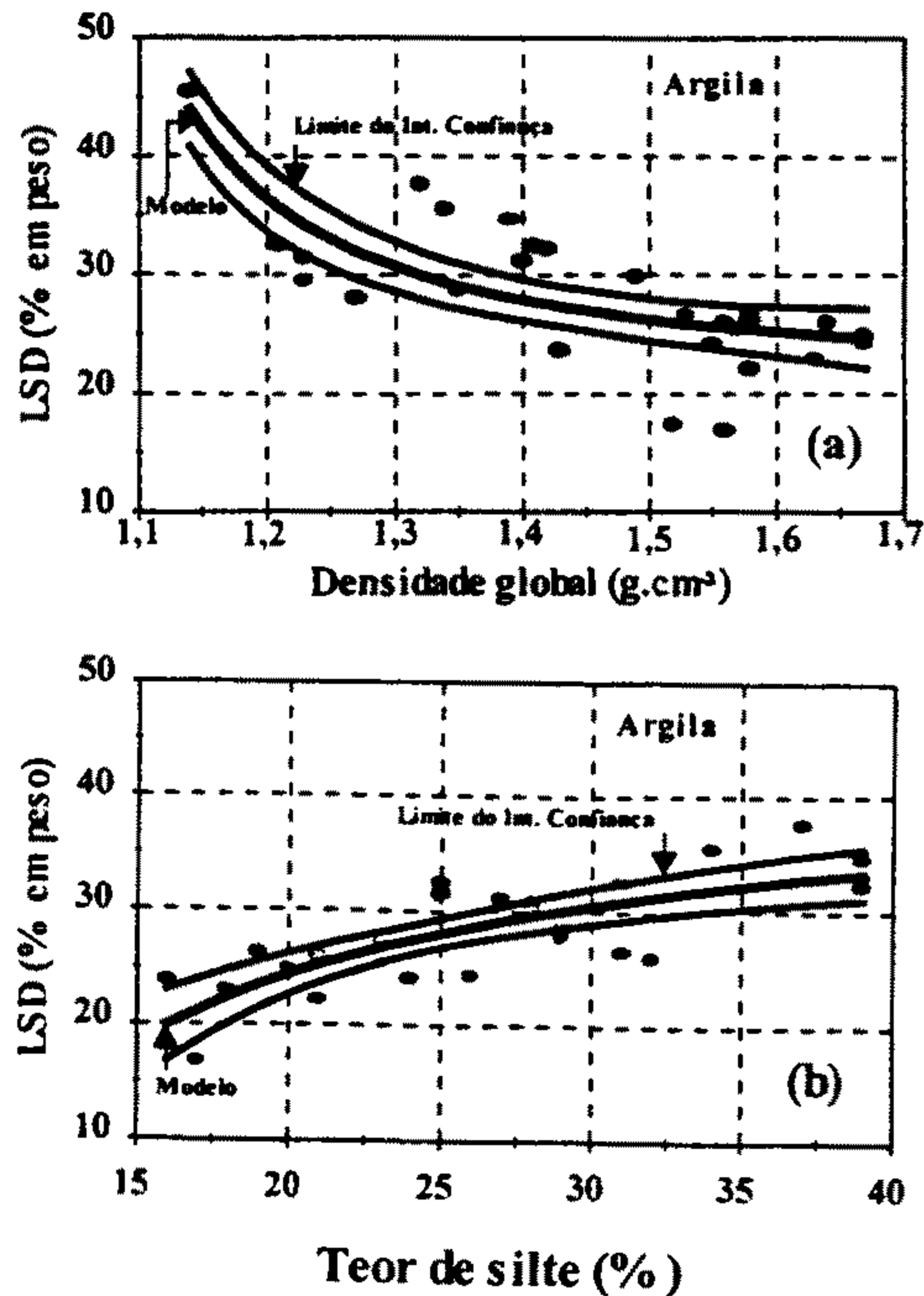


FIGURA 1 - (a) Modelo não-linear ajustado aos dados do LSD, em função da densidade global, com intervalo de confiança para a média e (b) Modelo não-linear ajustado aos dados do LSD em função do teor de silte, com intervalo de confiança para a média em solo argiloso.

Os valores de R^2 foram inferiores aos obtidos por outros autores (1, 7, 10, 12). Houve maior predominância do parâmetro físico-hídrico densidade global como variável independente quando comparado aos parâmetros texturais. Os autores citados não levaram em consideração a estrutura do solo, trabalhando somente com amostras deformadas. Com isto, significativa fonte de variação dos limites de disponibilidade de água no solo foi eliminada. A utilização de amostras deformadas afeta principalmente o LSD, que é estreitamente dependente da estrutura do solo. A conservação da estrutura do solo favoreceu o destaque da densidade global como importante parâmetro físico-hídrico para estimativa dos limites de disponibilidade de água no solo e contribuiu para a redução dos valores de R^2 .

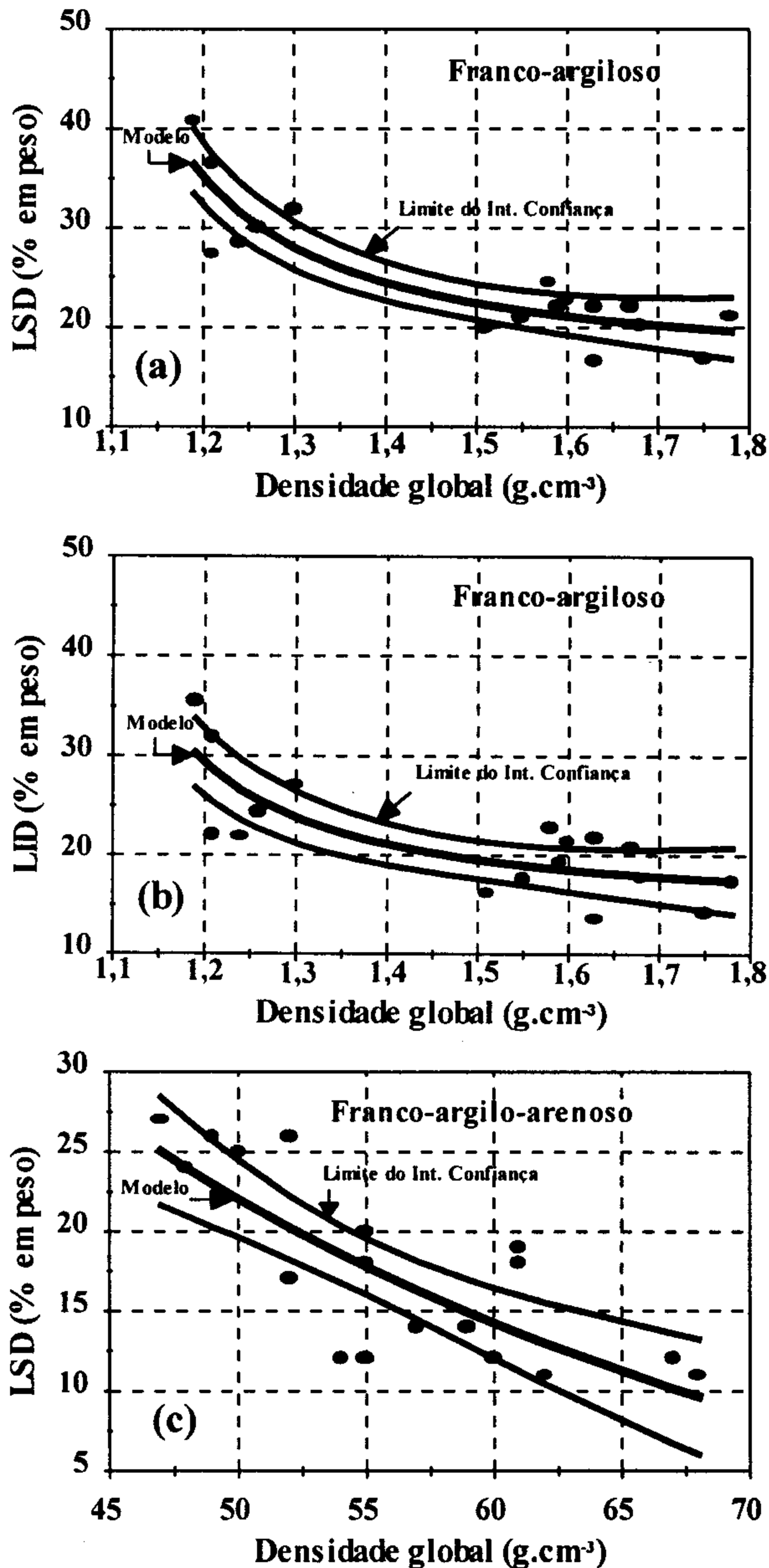


FIGURA 2 - Modelos não-lineares ajustados aos dados do LSD (a) e LID (b), em função da densidade global com intervalo de confiança para a média em solo franco-argiloso, e (c) Modelo não-linear ajustado aos dados do LSD, em função da densidade global, com intervalo de confiança para a média em solo franco-argilo-arenoso.

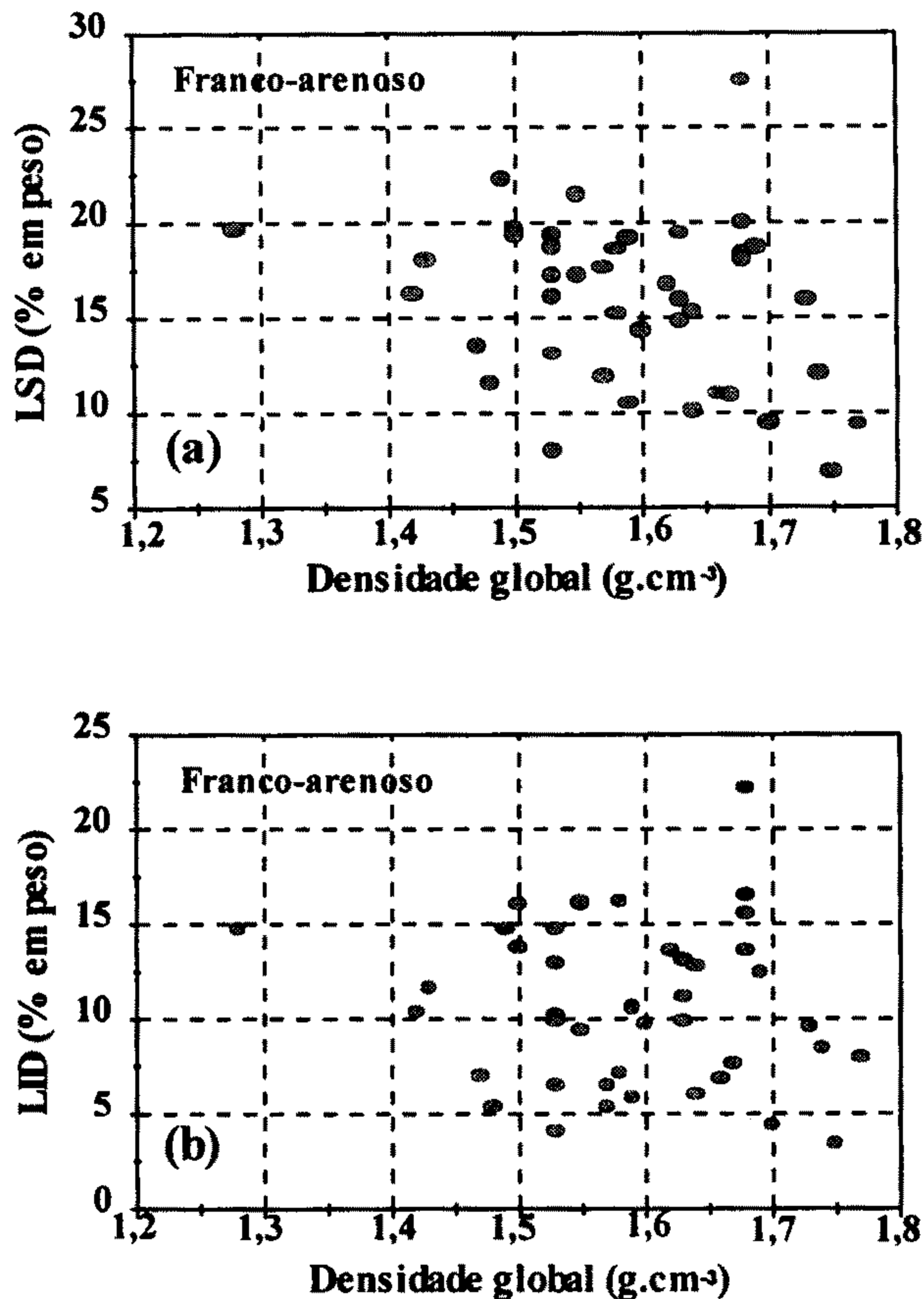


FIGURA 3 - Dados de LSD (a) e LID (b), em função da densidade global em solo franco-arenoso.

Esses resultados mostram a influência da estrutura do solo na estimativa dos limites de disponibilidade de água, observando-se que apenas o silte pode ser considerado um parâmetro textural importante na estimativa destes limites. A diversidade dos resultados deste trabalho e dos existentes na literatura (1, 7, 10, 12), quanto ao tipo de modelo e das variáveis independentes envolvidas na estimativa destes limites, confirma o fato de que os modelos a serem usados devem-se basear em calibrações locais, conforme enfatizado por MENG et alii (10).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de modelos para estimar o conteúdo de água equivalente aos limites de disponibilidade

de água no solo, com base na textura e na densidade global, em diferentes classes texturais. Empregou-se a regressão linear múltipla para correlacionar as percentagens de areia (A), silte (S), argila (C), silte+argila (SC) e densidade global (ρ_g) com os teores de água equivalentes aos limites de disponibilidade de água no solo, LSD (-33 kPa) e LID (-1500 kPa). Utilizaram-se 735 modelos de regressão simples (linear e não-linear), os quais foram ajustados aos dados dos limites de disponibilidade como função dos parâmetros individuais de textura e da densidade global. Para todos os solos estudados, os melhores ajustes foram obtidos com modelos não-lineares, em que as variáveis independentes foram a densidade global (solos argiloso e franco-argiloso) ou o teor de silte (argiloso e franco-argilo-arenoso). Houve maior predominância do parâmetro físico-hídrico, densidade global como variável independente comparado aos parâmetros texturais. A diversidade entre os resultados deste trabalho e dos existentes na literatura, quanto ao tipo de modelo e das variáveis independentes envolvidas na estimativa dos limites de disponibilidade de água no solo, parece indicar que os modelos se devem basear em calibrações locais.

5. SUMMARY

(ESTIMATING LIMITS OF SOIL WATER AVAILABILITY AS A FUNCTION OF BULK DENSITY AND SOIL TEXTURE)

The objective of this study was to evaluate the use of regression models for predicting the water content at the limits of water availability in soil based on texture and bulk density for various particle size classes. Multiple linear regressions were used to correlate sand (A), silt (S), clay (C), silt+clay (SC) and bulk density (ρ_g) with the water contents at the limits of the soil water availability, i.e., LSD of -33 kPa and LID of -1500 kPa. A total of 735 simple linear and nonlinear regression models were fitted to water content at -33 and -1500 kPa data as a function of the individual texture parameters and bulk density. The nonlinear models presenting the bulk density in clay and clay loam soils and silt in clay and sand clay loam soils as independent variables showed better fitting. The bulk density as an independent variable resulted in more cases of good fits than the texture parameters. The differences between the results of this study and those of other studies found in the literature indicate that the models for predicting the limits of available moisture based on texture and bulk density should be locally calibrated.

6. LITERATURA CITADA

1. ARRUDA, F.B.; ZULLO, J.R. & OLIVEIRA, J.B. Estimativa de parâmetros de solos para cálculo da água disponível com base na textura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 11:11-15. 1987.
2. BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5ª. ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596p.
3. BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A., (ed.). *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 210-220 (Agronomy, 9).
4. BRADY, N.C. *Natureza e propriedade dos solos*. 5a. ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, 1979. 647 p.
5. DRAPPER, N.R. & SMITH, H. *Applied regression analysis*. 2a. ed. Nova York, John Wiley & Sons. 1980. 709p.
6. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos e análises de solos*. Rio de Janeiro, 1979. 5p.
7. GUPTA, S.C. & LARSON, W.E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. *Water Resources Research*, 15:1633-1635. 1979.
8. ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. *Principios y aplicaciones del riego*. 2a. ed. Barcelona, Reverté S.A., 1973. 397p.
9. JANDEL SCIENTIFIC. *Table Curve 2D, Version 2.0*. 1989-1994.
10. MENG, T.P.; TAYLOR, H.M.; FRYREAR, D.W. & GOMEZ, J.F. Models to predict water retention in semiarid sandy soils. *Soil Science Society of America Journal*, 51:1563-1565. 1987.
11. PETERS, D.B. Available Water. In: BLACK, C.A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 279-285 (Agronomy, 9).
12. RAWLS, W.J.; BRAKESNSIEK, D.L. & SAXTON, K.E. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*, 25:1316-1320. 1982.
13. SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J. & PAPENDICK, R.I. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50:1031-1036. 1986.
14. SAS INSTITUTE. *SAS Users Guide: Statistics*. 5a ed. Cary, North Carolina, 1985. p. 763-774.
15. ZULLO, J. R. & ARRUDA, F.B. *Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 23p. (Boletim Técnico, 113).