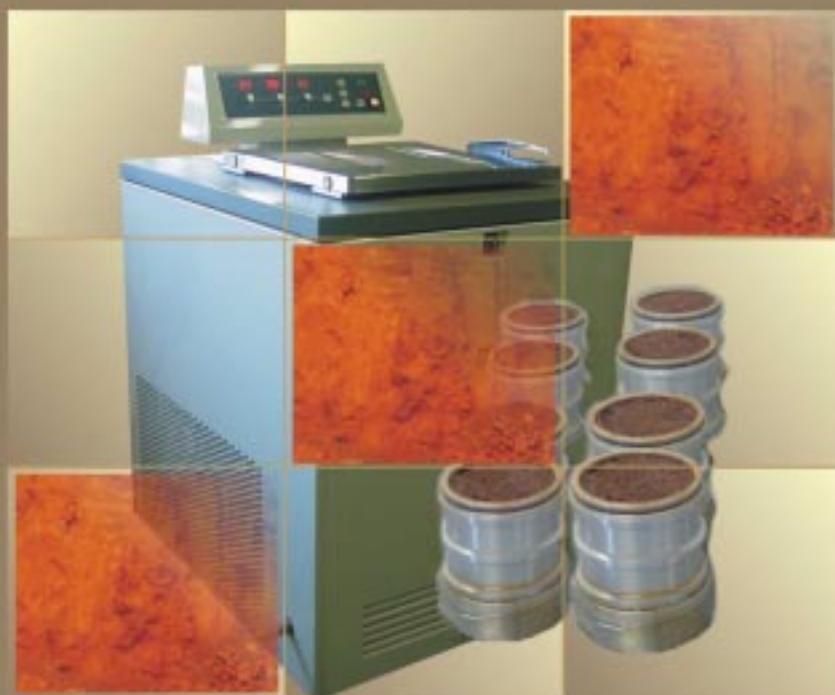


## Período de Centrifugação Adequado para Levantamento da Curva de Retenção da Água em Solos do Bioma Cerrado





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Setembro, 2001

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 8***

## **Período de Centrifugação Adequado para Levantamento da Curva de Retenção da Água em Solos do Bioma Cerrado**

Euzebio Medrado da Silva  
Juscelino Antonio de Azevedo

Planaltina, DF  
2001

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73301-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

[sac@cpac.embrapa.br](mailto:sac@cpac.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Ronaldo Pereira de Andrade*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Membros: *Maria Alice Bianchi, Leide Rovênia Miranda de Andrade,  
Carlos Roberto Spehar, José Luiz Fernandes Zoby*

Supervisão editorial: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira /  
Jaime Arbués Carneiro*

Normalização bibliográfica: *Dauí Antunes / Maria Alice Bianchi*

Capa: *Chaile Cherne Soares Evangelista*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

**1ª edição**

1ª impressão (2001): tiragem 300 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.  
Embrapa Cerrados.

---

S586p Silva, Euzebio Medrado da  
Período de centrifugação adequado para levantamento da curva de retenção da água em solos do Bioma Cerrado / Euzebio Medrado da Silva, Juscelino Antonio de Azevedo. – Planaltina : Embrapa Cerrados, 2001.

40 p.— (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; n.8)

1. Física do solo - Cerrado. I. Azevedo, Juscelino Antonio de.  
II. Título. III. Série.

631 - CDD 43

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	6
<b>Introdução</b> .....	7
<b>Material e Métodos</b> .....	8
Teoria da centrifugação de amostras de solo .....	8
Rotações e períodos de centrifugação utilizados .....	10
Modelo de ajuste da curva de retenção .....	10
Tipos de solos analisados .....	11
Procedimentos estatísticos adotados .....	12
<b>Resultados e Discussão</b> .....	14
Curvas de retenção ajustadas .....	14
Efeito do período de centrifugação .....	18
Período de centrifugação adequado .....	21
<b>Conclusões</b> .....	24
<b>Agradecimentos</b> .....	25
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	25
Anexo 1 .....	28
Anexo 2 .....	31
Anexo 3 .....	33
Anexo 4 .....	35
Anexo 5 .....	37
Anexo 6 .....	39

# Período de Centrifugação Adequado para Levantamento da Curva de Retenção da Água em Solos do Bioma Cerrado

---

Euzebio Medrado da Silva<sup>1</sup>

Juscelino Antonio de Azevedo<sup>2</sup>

**Resumo** – O período de centrifugação, necessário ao equilíbrio da água no solo, é fator preponderante da precisão da curva de retenção de água. O estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o período de centrifugação na curva de retenção de água, em cinco tipos de solos, representativos do Bioma Cerrado. As curvas de retenção foram modeladas, por regressão não-linear, e a soma dos erros residuais do ajuste resultante foi utilizada para a avaliação das diferenças estatísticas entre elas, pelo teste da razão de verossimilhança. As curvas de retenção ajustadas para cada tipo de solo foram agrupadas em famílias de curvas para facilitar a visualização das diferenças observadas. Os resultados mostraram, claramente, que o período de centrifugação afetou mais a umidade residual, promovendo uma nítida rotação nas curvas, em torno do ponto de saturação. Esse efeito estabeleceu um padrão de erro na água disponível, sistematicamente decrescente, com o aumento do período de centrifugação. Utilizando-se da técnica da regressão inversa foi possível estabelecer o período de centrifugação necessário para cada tipo de solo correspondente ao nível de significância de 5% e no intervalo de confiança de 90%. Com o estudo, concluiu-se que o período de centrifugação inferior ao equilíbrio altera a curva de retenção determinada por esse procedimento, afetando, principalmente, os valores de umidade nas tensões mais elevadas. Para os solos estudados, o período de centrifugação necessário à extração da água, em cada rotação aplicada, pelo método tradicional da centrífuga, deve ser superior a 80 minutos.

**Termos para indexação:** disponibilidade hídrica, potencial matricial, modelagem da curva de retenção.

---

<sup>1</sup> Eng. Agrôn. PhD., Embrapa Cerrados, euzebio@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Agrôn. Doutor, Embrapa Cerrados, juscelin@cpac.embrapa.br

# Adequate Centrifugation Period for Determining the Water Retention Curve in Soils from Biome Cerrado

---

**Abstract** – The centrifugation period, necessary to the equilibrium of soil-water content, is a determinant factor for the precision of the soil-water retention curve. The study was developed with objective of evaluating the effect of the centrifugation period on the retention curve of five types of representative soils from Cerrado Biome. The retention curves were modeled, using non-linear regression, with the sum of minimum square errors being used to establish the statistical differences among them. For each soil type, the obtained retention curves were presented as a family of curves to facilitate the visualization of differences among them. The results showed, clearly, that the centrifugation period had the largest effect on the residual water content, imposing a visible rotation on the curves, centered at the saturation point. This effect resulted in decreasing, sistematically, the available water, with the increase of the centrifugation period. Using the technique of the inverse regression, it was possible to calculate the necessary centrifugation period, for each soil type, based on the 5% significance level for 90% confidence interval. With the study, it was concluded that the centrifugation period alters the retention curve, affecting, mainly, the soil-water content values from the highest tensions, and, therefore, the residual soil-water content. For the studied soils, the centrifugation period necessary for exctrating water from the soil sample up to equilibrium, at each applied rotation, using the traditional method of soil-centrifugation for determining water retention curve, has to be over 80 minutes.

Index terms: available soil-water, matric potential, soil-water retention modeling.

## Introdução

A técnica da centrifugação de amostras de solo, para determinar a relação entre o conteúdo de água e a tensão com que ela está retida no solo, teve suas bases teóricas e práticas estabelecidas em vários estudos pioneiros ([Briggs & McLane, 1907, 1910](#); [Veihmeyer et al., 1924](#); [Thomas & Harris, 1925](#); [Russel & Richards, 1938](#)). Trabalhos posteriores ([Croney et al., 1952](#); [Childs, 1969](#); [Odén, 1976](#); [Freitas Júnior & Silva, 1984](#); [Medeiros, 1987](#)) experimentaram metodologias, mostrando limitações e potencialidades da utilização dessa técnica no levantamento da curva de retenção em laboratório. Dentre as vantagens reconhecidas para a utilização dessa metodologia, destaca-se a rapidez, normalmente menos de seis horas, na obtenção do equilíbrio da água no solo, submetido à centrifugação ([Odén, 1976](#); [Paningbatam, 1980](#); [Freitas Júnior & Silva, 1984](#)), em comparação com o método da câmara de pressão de Richards ([Richards & Fireman, 1943](#)), que envolve períodos de, no mínimo, 24 horas para o equilíbrio. Entretanto, são destacadas desvantagens relacionadas com a possibilidade de introdução de erros na determinação, pela centrífuga, devido ao potencial de compactação das amostras de solo durante o processo de centrifugação ([Croney et al., 1952](#); [Freitas Júnior & Silva, 1984](#)). Cabe destacar, ainda, que [Malcom & André \(1991\)](#) reconheceram a importância dessa metodologia, ao incluí-la no elenco de procedimentos apresentados para avaliação das características de retenção de água no solo.

Depreende-se desses trabalhos, que o período de centrifugação, necessário ao equilíbrio da água no solo, em uma dada rotação, é fator determinante da acuracidade da curva de retenção obtida. Baseado nisso, [Odén \(1976\)](#) recomendou períodos de centrifugação variando de 5 a 60 min., dependendo da faixa de tensão desejada, ressalvando, entretanto, que esse período depende da composição granulométrica do solo. [Freitas Júnior & Silva \(1984\)](#) analisaram o efeito do período de centrifugação em amostras de um Latossolo Vermelho do Bioma Cerrado e sugeriram três horas necessárias para a determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação, utilizando a técnica do fatiamento de amostras de solo. Esses estudos evidenciam, claramente, que a questão do período de centrifugação necessário para o equilíbrio, ainda, precisa ser investigada, considerando, principalmente, a variação dessa resposta em função do tipo de solo.

O objetivo do trabalho foi determinar o período de centrifugação adequado no levantamento da curva de retenção de água de vários solos, no intuito de estabelecer melhor a relação entre tensão e conteúdo de água e subsidiar rotinas de laboratórios para utilização adequada desse método, analisando solos de diferentes composições granulométricas, representativos do Bioma Cerrado.

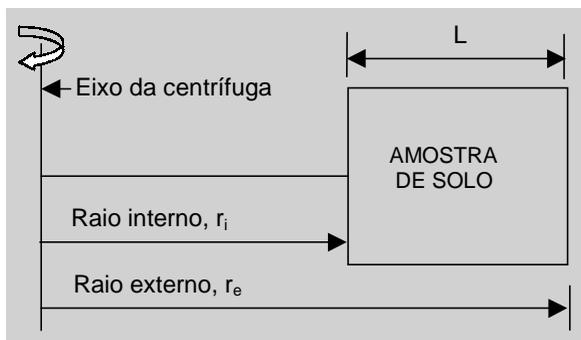
## Material e Métodos

### Teoria da centrifugação de amostras de solo

O solo saturado quando submetido à centrifugação (Figura 1) gera uma tensão decrescente ao longo do eixo de rotação da centrífuga. De maneira geral, a distribuição da tensão ao longo do eixo pode ser prevista pela seguinte equação (Freitas Júnior & Silva, 1984):

$$dh_r = -\omega^2 g^{-1} r dr \quad (1)$$

onde:  $dh_r$ : diferencial de tensão da água na amostra de solo (cm) devido à centrifugação;  $\omega$ : velocidade angular ( $\text{rad seg}^{-1}$ );  $g$ : aceleração da gravidade ( $981 \text{ cm seg}^{-2}$ );  $r$ : distância do eixo da centrífuga até uma dada seção transversal da amostra (cm);  $dr$ : diferencial de  $r$  (cm).



**Figura 1.** Representação esquemática de uma amostra de solo na centrífuga.

A integração da equação 1, no intervalo de  $r$  até a superfície externa da amostra, a qual é considerada sempre saturada durante o processo de centrifugação, ou seja, com tensão matricial nula, resulta na função que descreve a variação da tensão de água ao longo da amostra, após o equilíbrio, ou seja:

$$h_r = \frac{1}{2} \omega^2 g^{-1} (r_e^2 - r^2) \quad (2)$$

onde:  $h_i$ : tensão da água na amostra de solo (cm) devido à centrifugação;  $r_e$ : raio externo (cm) da amostra de solo na centrífuga.

Entretanto, como o interesse é determinar o valor médio da tensão,  $\bar{h}$ , estabelecida na amostra de solo, no intervalo de  $r_i$  a  $r_e$ , a equação 2 precisa ser, então, submetida ao seguinte cálculo:

$$\bar{h} = \frac{\int_{r_i}^{r_e} h_r dr}{\int_{r_i}^{r_e} dr} \quad (3)$$

onde:  $r_i$ : raio interno (cm) da amostra de solo na centrífuga. De onde, é possível, introduzindo a equação 2 na equação 3, realizando as devidas integrações e substituindo a diferença ( $r_e - r_i$ ) por L, que é o comprimento da amostra de solo, obter a seguinte expressão ([Freitas Júnior & Silva, 1984](#)):

$$\bar{h} = \frac{1}{6} \omega^2 g^{-1} L (3r_e - L) \quad (4)$$

Para o caso da centrífuga modelo H-1400pF (Kokusan, 1999)<sup>1</sup>, utilizada neste estudo ( $r_e = 8,3$  cm e  $L = 5$  cm), e considerando a tensão média,  $\bar{h}$ , expressa em k Pa, e velocidade angular,  $\omega$ , expressa em rpm, a equação 4 pode ser reduzida a:

$$\omega = K \sqrt{\bar{h}} \quad (5a)$$

onde  $K = 234,5192$ , em unidades, convenientemente transformadas de modo que o valor da rotação resulte em rpm para uma tensão dada em k Pa. Essa constante pode ser calculada pela seguinte equação:

$$K = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{6 \times 981 \times 10,1957}{L(3r_e - L)}} \quad (5b)$$

Para facilidade do leitor, o [Anexo 1](#) foi desenvolvido com valores de tensão média em diversas unidades (cm, k Pa, atm ou bar), estabelecidos na amostra de solo, para diferentes rotações, considerando as dimensões da referida centrífuga.

<sup>1</sup> Modelo H-1400pF da "KOKUSAN CORPORATION" do Japão, provida de rotor com capacidade para quatro cilindros coletores de solo, de 5 cm de comprimento, acondicionados na centrífuga com a face interna da amostra posicionada a 3,3 cm de distância de seu eixo.

## rotações e períodos de centrifugação utilizados

O estudo foi conduzido aplicando-se seis rotações (600, 800, 1400, 2000, 2400 e 9200 rpm), correspondentes às tensões médias de 6,55; 11,64; 35,64; 72,73; 104,73 e 1.538,92 k Pa, utilizando quatro amostras (repetições) para cada tipo de solo. Ao final de cada período de centrifugação utilizado (15, 30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 minutos), determinou-se, por meio de pesagens sucessivas, o conteúdo de água remanescente nas amostras de solo. Os valores de conteúdo de água gravimétrico, obtidos para cada tipo de solo, encontram-se apresentados nos [Anexos de 2 a 6](#). A média de conteúdo de água de quatro repetições, para cada rotação, foi utilizada no levantamento da curva de retenção de água do solo em função do período de centrifugação, gerando uma família de curvas com oito curvas de retenção para cada tipo de solo estudado.

## Modelo de ajuste da curva de retenção

Vários modelos ([Brooks & Corey, 1964](#); [Campbell, 1974](#); [Genutchen, 1980](#); [Russo, 1988](#); [Assouline et al., 1998](#)) têm sido propostos para representar, de forma contínua, os pares de dados pontuais obtidos em laboratório, relacionando o conteúdo de água no solo e seus correspondentes valores de tensão. Esses modelos variam tanto no número de parâmetros a serem ajustados quanto na habilidade de representar adequadamente o fenômeno no intervalo de tensão que vai desde a saturação até uma dada condição de solo seco. O modelo de [Genutchen \(1980\)](#) tem sido destacado ([Genutchen & Nielsen, 1985](#); [Kool et al., 1987](#); [Silva, 1990](#)) como um dos mais adequados na representação do fenômeno da retenção de água no solo para várias aplicações, inclusive na simulação do movimento da água no solo e, por isso, resolveu-se adotá-lo como ferramenta básica no equacionamento dessa questão.

Esse modelo pode ser representado pela seguinte equação:

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[ \frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \right]^{(1-1/n)} \quad (6)$$

onde:  $\theta$ : conteúdo de água no solo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ );  $h$ : tensão de água no solo gerado pela centrifugação (k Pa);  $\theta_s$ : conteúdo saturado de água no solo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ );  $\theta_r$ : conteúdo residual de água no solo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ );  $n$ : parâmetro empírico de ajuste (adimensional);  $\alpha$ : parâmetro empírico de ajuste ( $\text{k Pa}^{-1}$ ).

Em princípio, esse modelo pode ser ajustado com quatro parâmetros ( $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ), entretanto, neste caso, aumentam-se os requerimentos no número de pontos

necessários para a robustez do ajuste não-linear. Neste trabalho, o modelo foi reduzido a dois parâmetros de ajuste, adotando-se  $\theta_s$  igual à porosidade total (Rogowski, 1971) e  $\theta_r$  equivalente ao conteúdo de água na maior tensão do estudo, o qual neste trabalho foi de 1.538,92 k Pa, usando-se dos demais cinco pontos de tensão para a realização do ajuste. Esse truncamento na curva de retenção foi considerado pelo próprio Genutchen (1980) e, também, utilizado por Assouline et al. (1998), no desenvolvimento de outro modelo de curva de retenção. O ajuste dos parâmetros ( $n$ ,  $\alpha$ ) pode ser realizado, empregando rotinas de regressão não-linear do tipo "Solver" (Microsoft Corporation, 1994) ou procedimentos contidos nos pacotes estatísticos como o "PROC NLIN" do SAS (SAS, 1990).

## Tipos de solos analisados

Neste estudo, foram utilizadas amostras de solos de três principais ocorrências no Bioma Cerrado: Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Latossolo Vermelho (LV) e Neossolo Quartzarênico (NR) (Adámoli et al., 1986). Três tipos do LVA, classe de solo predominante no Bioma Cerrado e um tipo de cada uma das demais classes de solo foram analisados. As características texturais e teor de matéria orgânica dos solos encontram-se na Tabela 1. De cada tipo, foram retiradas 24 amostras não-deformadas, da camada superficial do solo (5 a 10 cm), em cilindros de 5 cm de altura e volume de 100 cm<sup>3</sup>. A média de densidade do solo seco a 105 °C, de cada conjunto de 24 amostras, foi utilizada no cálculo da porosidade total, assumindo a densidade de partículas igual a 2,65 g cm<sup>-3</sup>. Esse valor de porosidade foi utilizado como referência paramétrica no modelo de ajuste para cada tipo de solo considerado.

**Tabela 1.** Distribuição do tamanho de partículas e teor de matéria orgânica dos diferentes tipos de solos

	Latossolo Vermelho-Amarelo			Neossolo Quartzarênico	Latossolo Vermelho- Argiloso
	Muito argiloso	Argilo- arenoso	Franco- arenoso		
Argila	65	45	19	7	57
Silte	14	7	0	0	3
Areia fina	5	11	43	20	9
Areia grossa	16	37	38	73	31
Matéria orgânica	3,49	1,85	1,44	1,18	3,03

## Procedimentos estatísticos adotados

A análise estatística empregada teve como objetivo principal fornecer a métrica probabilística adequada na avaliação das diferenças encontradas entre as curvas de retenção de um mesmo tipo de solo resultante da aplicação dos períodos de centrifugação empregados. Neste caso, adotou-se o teste da razão de verossimilhança (Souza, 1998) que consiste em comparar a diferença entre a soma de quadrados residuais de dois modelos ajustados, aplicando um teste F para verificar o nível de significância da diferença observada. A comparação foi realizada tomando o modelo da curva de retenção, ajustada com o período de centrifugação de 360 minutos, como sendo a curva estabilizada a qual serviu de referência para determinação das diferenças entre as demais curvas de retenção.

Esse teste da razão de verossimilhança pode ser, convenientemente, transformado para aplicação do teste F (Souza, 1998) o qual, nesse procedimento, está representado pela seguinte equação:

$$f = \frac{[SSE_{\text{comb}} - (SSE_t + SSE_{360})]/2}{(SSE_t + SSE_{360})/6} \quad (7)$$

onde: f: valor no qual se avalia a função de distribuição de probabilidade F e que, neste caso, corresponde à razão da diferença entre a soma dos quadrados residuais da curva de retenção, em um dado período de centrifugação t, em relação ao período de centrifugação de 360 minutos;  $SSE_t$ : soma dos quadrados dos erros residuais da curva de retenção, em um dado período de centrifugação (exceto 360 minutos), ajustada com dois parâmetros (n,  $\alpha$ ), utilizando cinco pares de pontos, resultando em três graus de liberdade para o resíduo;  $SSE_{360}$ : soma de quadrados dos erros residuais da curva de retenção no tempo de centrifugação de 360 minutos, ajustada com dois parâmetros (n,  $\alpha$ ), utilizando cinco pares de pontos, resultando em três graus de liberdade para o resíduo;  $SSE_{\text{comb}}$ : soma de quadrados dos erros residuais da curva de retenção, resultante do ajuste com os dados provenientes do tempo de centrifugação de 360 minutos combinados com os dados de cada um dos demais tempos de centrifugação, ajustada com dois parâmetros (n,  $\alpha$ ), utilizando um total de dez pares de pontos e resultando em oito graus de liberdade para o resíduo.

Os divisores dois e seis representam os respectivos graus de liberdade do numerador e do denominador, utilizados no cálculo da razão entre os quadrados médios residuais de cada par de curvas comparadas. Nesse caso, o valor crítico

da distribuição de probabilidade F, correspondente ao nível de significância de 5%, sujeito a dois e seis graus de liberdade no numerador e no denominador, respectivamente, é igual a 5,14325, obtido por meio da função estatística INVF (0,05; 2; 6) da planilha Excel da [Microsoft Corporation \(1994\)](#). Esse teste indica que a medida em que o valor de f se aproxima de zero mais próximos estarão os modelos entre si.

Os valores de f, calculados pela equação 7, podem ser representados, de forma contínua, em função do período de centrifugação, ajustando os pares de dados (f, t) a um modelo matemático, previamente identificado, que melhor expresse a relação entre essas duas variáveis. Uma vez conhecida essa função, pode-se, então, determinar o período de centrifugação,  $t_0$ , equivalente a um dado nível crítico de significância, o qual pode ser estabelecido, por exemplo, em 5%. Se a relação entre f e t puder ser expressa de forma linear, então é possível utilizar o procedimento de regressão inversa ([Draper & Smith, 1981](#)) para estabelecer o intervalo de confiança associado a  $t_0$  em função de sua variância.

Neste estudo, observou-se que os valores de f podem ser transformados pela função logaritmo neperiano ( $\ln f$ ) para um ajuste linear, em função dos períodos de centrifugação, no intervalo de 15 a 300 minutos. Utilizando esse relacionamento, o valor de  $t_0$  pode ser determinado pela seguinte expressão:

(8)

onde:  $\ln f_0 = 1,6377$ , equivalente ao nível crítico de significância de 5%, e a, b: parâmetros da regressão linear, da qual, utilizando-se dos procedimentos tradicionais de cálculo de variância ([Draper & Smith, 1981](#)), pode-se derivar a seguinte equação:

$$\text{var}(t_0) = \frac{\text{var}(a)}{b^2} - \frac{2(a - \ln f_0)\text{cov}(a,b)}{b^3} + \frac{(a - \ln f_0)^2 \text{var}(b)}{b^4} \quad (9)$$

onde os símbolos var e cov representam, respectivamente, variância e covariância dos parâmetros da regressão.

Dessa forma, pode-se afirmar, com 90% de confiança, que os limites: superior e inferior, representados por  $t_c$ , expressos em minutos, encontram-se no intervalo definido pela seguinte expressão:

$$t_c = t_0 \pm 2,015 \sqrt{\text{var}(t_0)} \quad (10)$$

na qual, a constante 2,015, segundo [Abramowitz & Stegun \(1972\)](#) representa o valor crítico da distribuição de probabilidade t, com 5 graus de liberdade e 10% de probabilidade de erro total. É importante destacar que, nesse processo de regressão inversa, utilizando um modelo linear para calcular o intervalo de confiança, associado a determinado valor da variável independente, quanto maior for o coeficiente de correlação da regressão linear, tanto menor será a variância de  $t_0$  e, conseqüentemente, menor será o intervalo de confiança calculado.

## Resultados e Discussão

### Curvas de retenção ajustadas

As curvas de retenção, relacionando o conteúdo volumétrico de água com a tensão com que ela está retida no solo, em função do período de centrifugação empregado, foram ajustadas ao modelo de [Genutchen \(1980\)](#) e agrupadas em famílias de curvas, para cada tipo de solo analisado. Os parâmetros ( $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ) das curvas de retenção modeladas estão apresentados na Tabela 2. É importante lembrar que apenas os parâmetros ( $n$ ,  $\alpha$ ) foram ajustados pelo procedimento de regressão não-linear relatado anteriormente. Os demais parâmetros foram fixados e, portanto, excluídos do processo de ajuste.

**Tabela 2.** Parâmetros de ajuste e soma de quadrados dos erros residuais das curvas de retenção de água, segundo modelo de [Genutchen \(1980\)](#), para diferentes tipos de solos, em função do período de centrifugação (min), adotando a porosidade total como  $q_s$  e o conteúdo de água na tensão de 1.532,92 k Pa como  $q_r$ , com os valores de  $n$  e  $\alpha$  determinados pelo procedimento de regressão não-linear.

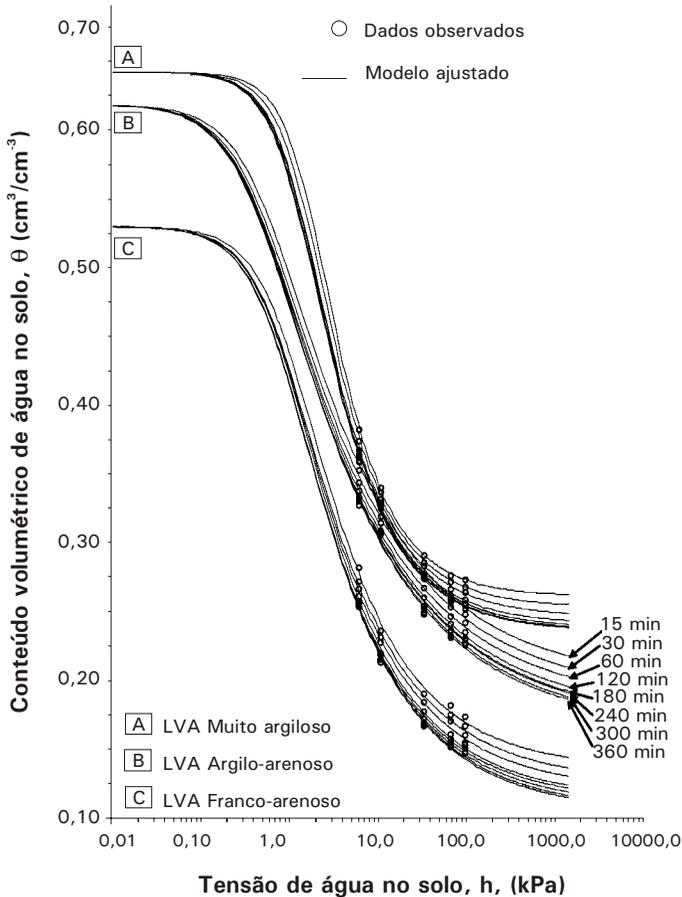
Períodos de centrifugação (min)	Parâmetros	Latossolo Vermelho-Amarelo			Neossolo Quartzarênico	Latossolo Vermelho Argiloso
		Muito argiloso	Argilo-arenoso	Franco-arenoso		
15	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2625	0,2014	0,1373	0,0907	0,2225
	$n$	1,8716	1,3968	1,5245	1,6108	1,3701
	$\alpha$	0,5389	1,8074	1,0535	0,7306	3,8158
	SSE	0,00001103	0,00010130	0,00011196	0,00021140	0,00002652

Continua ...

Tabela 2. Continuação.

Períodos de centrifuga- ção (min)	Parâ- metros	Latossolo Vermelho-Amarelo			Neossolo Quartzarênico	Latossolo Vermelho Argiloso
		Muito argiloso	Argilo- arenoso	Franco- arenoso		
30	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2549	0,1914	0,1285	0,0852	0,2141
	n	1,7999	1,3823	1,4980	1,5912	1,3541
	$\alpha$	0,6219	2,0678	1,2239	0,8095	4,3477
	SSE	0,00002262	0,00012777	0,00007095	0,00016702	0,00002830
60	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2478	0,1845	0,1225	0,0820	0,2047
	n	1,7355	1,3807	1,4987	1,6034	1,3529
	$\alpha$	0,7299	2,1618	1,2312	0,8163	4,0059
	SSE	0,00001978	0,00013075	0,00008067	0,00008654	0,00003038
120	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2426	0,1767	0,1162	0,0780	0,1975
	n	1,7422	1,3794	1,5050	1,6161	1,3435
	$\alpha$	0,7015	2,1593	1,2292	0,7973	4,4055
	SSE	0,00005671	0,00013525	0,00005869	0,00007375	0,00002466
180	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2394	0,1724	0,1139	0,0728	0,1957
	n	1,7178	1,3732	1,4993	1,6182	1,3465
	$\alpha$	0,7449	2,2789	1,3056	0,8160	4,7083
	SSE	0,00005412	0,00008834	0,00005455	0,00010050	0,00001507
240	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2394	0,1713	0,1107	0,0707	0,1939
	n	1,7164	1,3727	1,4933	1,5984	1,3404
	$\alpha$	0,7696	2,2998	1,3280	0,8643	5,1882
	SSE	0,00004412	0,00006980	0,00004945	0,00004841	0,00002525
300	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2379	0,1686	0,1082	0,0697	0,1911
	n	1,7198	1,3774	1,4936	1,6160	1,3330
	$\alpha$	0,7546	2,2181	1,3152	0,8207	5,4706
	SSE	0,00005004	0,00009046	0,00004084	0,00005070	0,00002695
360	$\theta_s$	0,6419	0,6181	0,5302	0,4728	0,6321
	$\theta_r$	0,2372	0,1673	0,1064	0,0696	0,1891
	n	1,7189	1,3823	1,4932	1,6272	1,3248
	$\alpha$	0,7559	2,1354	1,3051	0,7947	5,9946
	SSE	0,00006055	0,00009081	0,00003943	0,00004037	0,00003537

Na Figura 2 estão organizadas as três famílias de curvas do LVA, correspondentes às texturas: muito argilosa, argilo-arenosa e franco-arenosa. Para cada família de curva, o ponto de origem foi o mesmo, ou seja, a umidade saturada, equivalente à porosidade total do solo, a qual foi calculada com base na densidade aparente média de 24 amostras, assumindo que a densidade de partículas é igual a  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ . É importante destacar que essas famílias de curvas apresentaram formatos bastante semelhantes, aparentemente, apenas deslocadas, verticalmente, em relação à umidade na saturação.

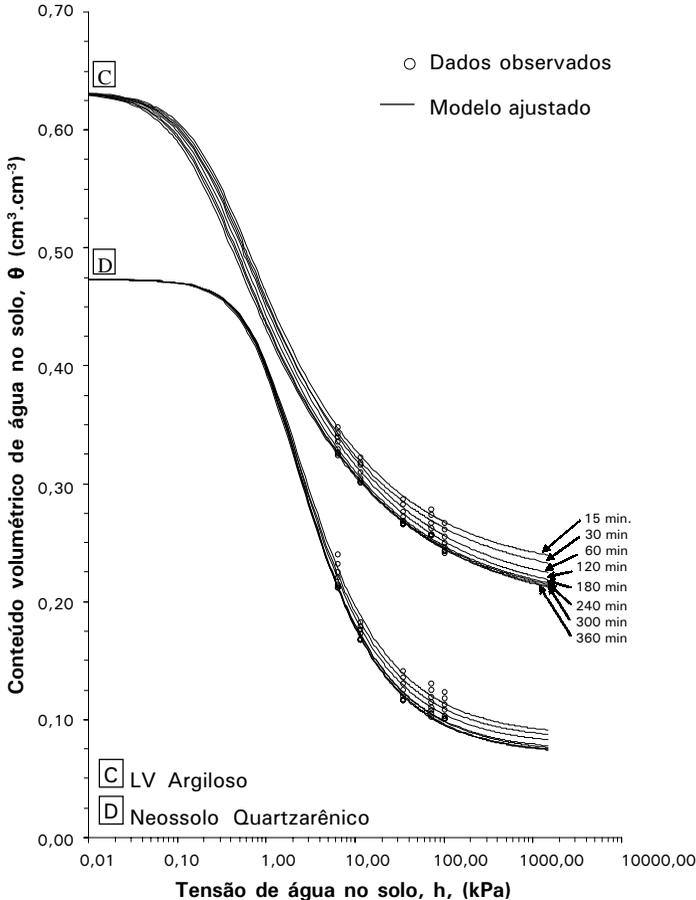


**Figura 2.** Famílias de curvas de retenção de água, ajustadas a três tipos de Latossolo Vermelho-Amarelo, típico do Cerrado, utilizando seis períodos de centrifugação (15, 30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 min) para cada amostra.

As curvas possuem, claramente, as duas inflexões características do modelo: uma logo após a saturação, correspondente ao valor provável de entrada de ar na matriz porosa do solo e o outro, correspondente à assíntota definida pela umidade residual. A semelhança entre as famílias de curvas é um indicativo de que realmente trata-se de meios porosos similares. Na apresentação gráfica, estendeu-se a representação da tensão da água no solo até o valor de 0,01 k Pa, objetivando enfatizar a origem única de cada família de curva e destacar a tendência divergente das curvas de retenção, em função do período de centrifugação, com o aumento da tensão. Assim fica evidente que, o afastamento das curvas de retenção, em relação à curva considerada como estabilizada no tempo de centrifugação de 360 minutos, ocorre à medida que o período de centrifugação decresce. Essa constatação contraria a idéia de [Freitas Júnior & Silva \(1984\)](#) de utilizar a condição aparente de paralelismo entre as curvas e estabelecer um fator de correção para determinar a curva de retenção verdadeira, uma vez conhecida uma curva de retenção determinada com período de centrifugação inferior ao adequado.

Na [Figura 3](#) estão agrupadas as famílias de curvas do LV, textura argilosa, e do NR. Nesse caso, é visível a diferença nos formatos das curvas de retenção. A família representativa do NR é mais parecida com as curvas de retenção do LVA, apresentando uma divergência mais acentuada, em relação a curva estabilizada, apenas, nas tensões maiores. No caso do LV, a divergência entre as curvas apresenta-se desde as tensões mais baixas, acentuando-se com o aumento da tensão. A diferença entre as famílias de curvas de retenção dos dois solos reflete a natureza mineralógica e estrutural diferente desses meios porosos.

Observando-se a distribuição dos valores de tensão utilizados e considerando a exclusão da tensão de 1.538,92 k Pa dentre as variáveis participantes do ajuste da regressão não-linear, sugere-se que rotinas de laboratório adotem mais um ponto na faixa de tensão de 104,73 a 1.538,92 k Pa, por exemplo 300 ou 500 k Pa, no levantamento da curva de retenção para obter melhor definição da seção da curva modelada, nas proximidades da assíntota estabelecida pela umidade residual.



**Figura 3.** Famílias de curvas de retenção de água, ajustadas um Latossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico, típicos do Cerrado, utilizando seis períodos de centrifugação (15, 30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 min) para cada amostra.

## Efeito do período de centrifugação

Analisando-se a variação dos dois parâmetros de ajustes ( $n$ ,  $\alpha$ ) e da umidade residual  $\theta_r$ , para todos os casos considerados ([Tabela 2](#)), verifica-se, claramente, que o período de centrifugação afetou mais o conteúdo de água no solo nas tensões mais elevadas, reduzindo a umidade residual para valores próximos da umidade residual estabelecida no período de 360 minutos. Verificou-se, também, que os parâmetros ( $n$ ,  $\alpha$ ), em geral, oscilaram em torno de um valor constante, independente do período de centrifugação, exceto para o conjunto

de valores de  $\alpha$  do LV argiloso que apresentou tendência crescente com o aumento do período de centrifugação. Esses resultados indicam que o erro devido à utilização de um período de centrifugação inadequado não afetou tanto a forma das curvas ajustadas, quanto o valor da umidade residual de cada uma delas, produzindo uma espécie de rotação da curva em torno de seu ponto de saturação. Esse fato é fisicamente compatível com o processo, haja vista que esse ponto é independente do período de centrifugação empregado. Assim sendo, o erro na curva de retenção, resultante de um período de centrifugação menor do que o necessário para o equilíbrio, afetará a estimativa da disponibilidade de água calculada a partir da curva de retenção ajustada, por causa do erro na determinação da umidade residual.

A Tabela 3 apresenta o percentual de água excedente, para cada rotação e período de centrifugação utilizados, tomando por base o conteúdo de água calculado no período de centrifugação de 360 minutos. Observe que, para todos os solos analisados e qualquer período de centrifugação empregado, o excedente de água cresce com a rotação, mostrando, numericamente, o efeito discutido, anteriormente, do período de centrifugação sobre a umidade residual. Por exemplo, utilizando-se o período de centrifugação de 30 minutos, adotado pelo Laboratório de Física de Solos da Embrapa Cerrados<sup>1</sup>, com o LVA muito argiloso, a quantidade de água excedente variou de 4%, na rotação de 600 rpm (6,55 k Pa), para 7,48%, na rotação de 9.200 rpm (1.538,92 k Pa). Nesse mesmo período de centrifugação, houve tendência de maior variação do conteúdo de água excedente com o LVA franco-arenoso e o NR.

**Tabela 3.** Percentagem de água excedente, para cada rotação e período de centrifugação utilizado, em relação ao conteúdo de água, ajustado no tempo de centrifugação de 360 min, para os cinco tipos de solos analisados.

Tipo de solo	Rotação (rpm)	Tempo de centrifugação (min)						
		15	30	60	120	180	240	300
LVA Muito argiloso	600	5,98	4,00	1,96	1,55	0,84	0,16	0,13
	800	5,24	3,82	2,35	1,43	0,90	0,38	0,17
	1400	5,92	4,47	3,12	1,50	0,95	0,69	0,23
	2000	6,98	5,15	3,52	1,64	0,96	0,80	0,25
	2400	7,52	5,49	3,69	1,73	0,96	0,84	0,27
	9200	10,68	7,48	4,48	2,28	0,96	0,96	0,32

Continua ...

<sup>1</sup> Comunicação verbal do Assistente de Pesquisa Wantuir Caixeta Vieira, responsável pelas análises da Embrapa Cerrados.

**Tabela 3.** Continuação.

Tipo de solo	Rotação (rpm)	Tempo de centrifugação (min)						
		15	30	60	120	180	240	300
LVA Muito argiloso	600	5,98	4,00	1,96	1,55	0,84	0,16	0,13
	800	5,24	3,82	2,35	1,43	0,90	0,38	0,17
	1400	5,92	4,47	3,12	1,50	0,95	0,69	0,23
	2000	6,98	5,15	3,52	1,64	0,96	0,80	0,25
LVA Argilo-arenoso	600	7,79	5,20	3,31	1,99	1,02	0,69	0,19
	800	8,85	6,21	4,10	2,46	1,46	1,10	0,37
	1400	10,99	8,09	5,57	3,29	2,17	1,76	0,65
	2000	12,33	9,17	6,41	3,75	2,51	2,06	0,77
	2400	12,99	9,67	6,80	3,96	2,65	2,19	0,82
	9200	20,39	14,40	10,28	5,63	3,09	2,42	0,79
LVA Franco-arenoso	600	10,28	6,89	5,10	2,75	1,21	0,63	0,20
	800	11,76	8,43	6,15	3,20	1,72	1,01	0,35
	1400	15,13	11,49	8,30	4,29	2,87	1,79	0,67
	2000	17,42	13,31	9,60	5,06	3,61	2,24	0,87
	2400	18,57	14,17	10,22	5,45	3,97	2,45	0,96
	9200	29,01	20,70	15,09	9,12	7,02	3,98	1,64
Neossolo Quartzarênico	600	11,49	8,09	5,45	3,69	0,97	0,35	0,03
	800	14,46	11,05	7,72	5,07	1,67	1,37	0,39
	1400	19,96	16,15	11,81	7,63	2,94	2,78	0,85
	2000	22,92	18,59	13,87	8,98	3,56	3,17	0,95
	2400	24,20	19,57	14,71	9,55	3,81	3,23	0,95
	9200	30,32	22,49	17,87	12,05	4,62	1,61	0,20
LV Argiloso	600	7,19	5,62	4,92	3,35	1,58	0,71	0,45
	800	7,46	5,87	4,71	3,08	1,34	0,59	0,35
	1400	8,38	6,60	4,60	2,79	1,13	0,53	0,25
	2000	9,17	7,18	4,70	2,74	1,15	0,59	0,24
	2400	9,60	7,50	4,80	2,74	1,19	0,64	0,25
	9200	17,69	13,25	8,25	4,49	3,51	2,58	1,08

## Período de centrifugação adequado

Os resultados obtidos decorrentes da avaliação do período de centrifugação necessário, considerando os cinco tipos de solos analisados, estão apresentados na [Tabela 4](#). Para cada período de centrifugação empregado, foi calculado um valor  $f$  e seu correspondente nível de significância NS, comparando com a soma de quadrados dos erros residuais da curva de retenção ajustada, em relação à soma de quadrados do resíduo da curva obtida com o período de centrifugação de 360 minutos. Considerando o nível crítico de significância de 5%, os resultados obtidos indicam que o período de centrifugação adequado para os três tipos de LVA utilizados está entre 60 e 120 minutos e para o NR e o LV argiloso encontra-se entre 120 e 180 minutos. Esses resultados estão de conformidade com a recomendação de [Freitas Júnior & Silva \(1984\)](#) que selecionaram o tempo de equilíbrio de três horas para um LV argiloso do Cerrado.

O nível de significância de 5% representa o limite de erro na decisão de se descartar a hipótese de igualdade entre os modelos. Isso significa que os modelos poderão ser considerados diferentes quando o nível de significância calculado for igual ou menor do que 5%. Nesse tipo de teste, quanto maior for o valor de  $f$  calculado tanto maior é a diferença entre os modelos e tanto menor é o risco de erro ao rejeitar a hipótese verdadeira de igualdade entre eles. Além disso, convém salientar que, quanto menor for o nível de significância calculado tanto mais evidente é a diferença entre os modelos.

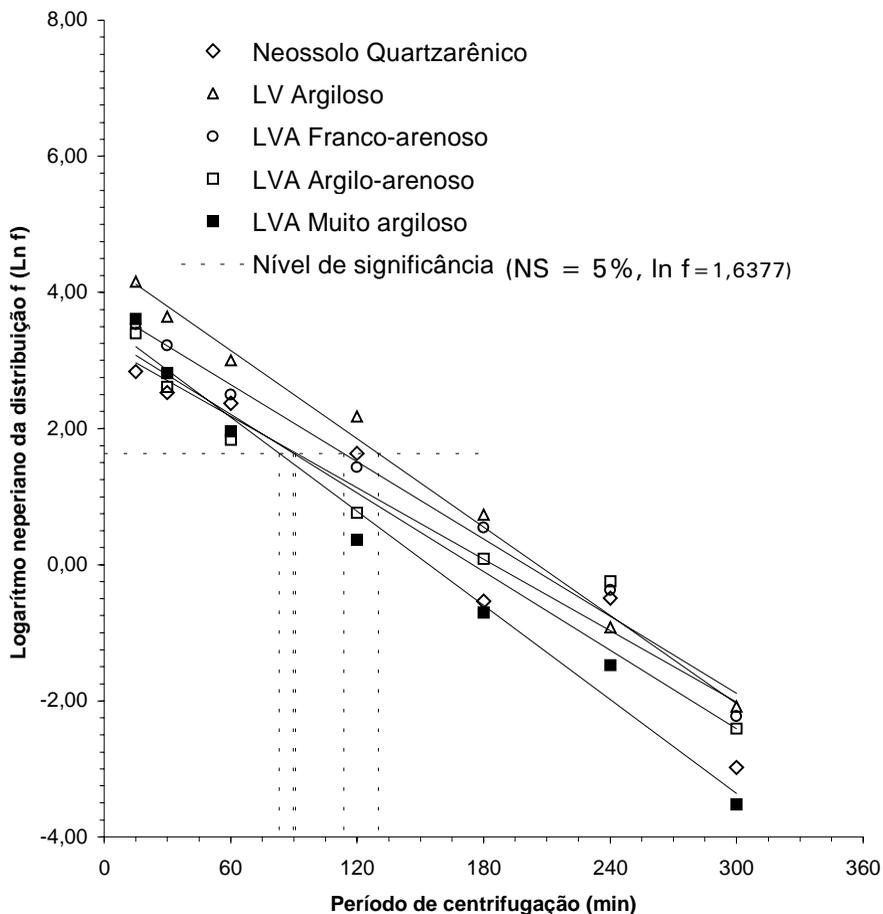
Quando se empregou a técnica da regressão inversa ([Draper & Smith, 1981](#)) foi possível estimar o período necessário, ao nível de significância de 5% e seu respectivo intervalo de variação, com um nível de confiança de 90%. Para isso, foi necessário realizar o ajuste linear do logaritmo neperiano de  $f$  em função do período de centrifugação, para cada tipo de solo estudado, para determinar o período, estatisticamente, necessário ao equilíbrio, correspondente ao nível de significância (NS) de 5% ( $\ln f = 1,6377$ ). Esses resultados estão apresentados na [Figura 4](#), com o nível crítico de significância representado pela linha horizontal tracejada. A interseção dessa linha com cada um dos modelos lineares ajustados, determina, na abscissa, o período adequado para o equilíbrio na centrifugação para os tipos de solo analisados.

**Tabela 4.** Valores de  $f$  e os correspondentes níveis de significância (NS, %), resultantes da razão de verossimilhança entre a soma de quadrados dos erros residuais do modelo ajustado da curva de retenção, de cada período de centrifugação considerado (min), e a respectiva soma de quadrados dos erros residuais relativa ao tempo de centrifugação de 360 min, considerando dois e seis graus de liberdade para numerador e denominador, respectivamente<sup>1,2</sup>.

Tempo de centrifugação (min)	Latossolo Vermelho-amarelo						Neossolo Quartzarênico		Latossolo Vermelho-argiloso	
	Muito argiloso		Argilo-arenoso		Franco-arenoso		$f$	NS	$f$	NS
	$f$	NS	$f$	NS	$f$	NS				
15	37,096	0,042	29,893	0,076	34,063	0,053	17,126	0,331	63,879	0,009
30	16,731	0,351	13,661	0,584	25,078	0,122	12,578	0,714	38,066	0,039
60	7,112	2,611	6,296	3,372	12,135	0,779	10,713	1,057	20,175	0,217
120	1,439	30,860	2,151	19,751	4,178	7,229	5,132	5,020	8,840	1,627
180	0,495	63,279	1,095	39,305	1,725	25,589	0,586	58,562	2,079	20,608
240	0,229	80,162	0,783	49,885	0,693	53,622	0,613	57,229	0,400	68,680
300	0,030	97,091	0,090	91,498	0,108	89,949	0,051	95,093	0,124	88,526

(1) Expressão da equação 7:  $f = \frac{[SSE_{\text{comb}} - (SSE_t + SSE_{360})]/2}{(SSE_t + SSE_{360})/6}$

(2) NS:  $100 \times \text{INVF}(f; 2; 6)$ , sendo INVF: função estatística da planilha eletrônica Excel da Microsoft Corporation (1994).



**Figura 4.** Valores de  $f$  (com 2 e 6 graus de liberdade no numerador e denominador, respectivamente), em razão do período de centrifugação, tendo como referência o período de 360 minutos, ajustados ao modelo de regressão linear para determinação do período centrifugação correspondente a 5% de significância.

É importante destacar que nesse tipo de análise, a amplitude do intervalo de confiança depende, também, do grau de ajuste do modelo linearizado. Na [Tabela 5](#) estão apresentados os resultados completos desse ajuste, indicando que as piores correlações foram obtidas com LVA argilo-arenoso e o NR, resultando num desvio padrão de 11,1 e 12,1 min, respectivamente. Os

períodos de centrifugação, necessários ao equilíbrio da água no solo, foram de  $83,1 \pm 6,8$ ;  $90,8 \pm 11,1$ ;  $113,5 \pm 5,2$ ;  $90,0 \pm 12,1$  e  $130,1 \pm 3,7$  min, para o LVA muito argiloso, LVA argilo-arenoso, LVA franco-arenoso, NR e LV argiloso, respectivamente.

**Tabela 5.** Resultados da regressão linear do logaritmo neperiano dos valores de  $f$  em relação ao tempo de centrifugação, no cálculo do período de equilíbrio correspondente ao valor crítico de significância de  $f$  de 5% ( $\ln f = 1,6377$ ), para diferentes tipos de solos, considerando dois e seis graus de liberdade para numerador e denominador, respectivamente<sup>1</sup>.

Variáveis	Latossolo Vermelho-Amarelo			Latossolo	
	Muito argiloso	Argilo-arenoso	Franco-arenoso	Neossolo Quartzarênico	Vermelho Argiloso
<b>R<sup>2</sup> da regressão linear</b>	<b>0,9824</b>	<b>0,9514</b>	<b>0,9875</b>	<b>0,9435</b>	<b>0,9935</b>
Interseção, a	3,5483	3,2241	3,7832	3,3648	4,4475
Inclinação, b	-0,0230	-0,0175	-0,0189	-0,0192	-0,0216
<b>Covariância (a,b)</b>	<b>-2,574E-04</b>	<b>-4,215E-04</b>	<b>-1,220E-04</b>	<b>-5,986E-04</b>	<b>-8,215E-05</b>
<b>Variância (a)</b>	<b>0,054234</b>	<b>0,088810</b>	<b>0,025699</b>	<b>0,126128</b>	<b>0,0173111</b>
<b>Variância (b)</b>	<b>1,907E-06</b>	<b>3,122E-06</b>	<b>9,034E-07</b>	<b>4,434E-06</b>	<b>6,090E-07</b>
<b>Variância (t<sub>0</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>46,6</b>	<b>124,5</b>	<b>27,0</b>	<b>147,0</b>	<b>13,4</b>
<b>Desvio padrão de t<sub>0</sub> (min)</b>	<b>6,8</b>	<b>11,1</b>	<b>5,2</b>	<b>12,1</b>	<b>3,7</b>
Período centrifugação, t <sub>0</sub> (min)	83,1	90,8	113,5	89,78	130,1
<b>Limite inferior de t<sub>0</sub> (min)<sup>3</sup></b>	<b>69,3</b>	<b>68,6</b>	<b>103,0</b>	<b>65,5</b>	<b>122,7</b>
<b>Limite superior de t<sub>0</sub> (min)<sup>3</sup></b>	<b>96,6</b>	<b>113,2</b>	<b>124,0</b>	<b>114,5</b>	<b>137,5</b>

(1)  $INVF(f; 2; 6) = 5,14325$ , com  $INVF$ : função estatística da planilha eletrônica Excel da Microsoft Corporation (1994)

(2) Expressão da equação 9: 
$$\text{var}(t_0) = \frac{\text{var}(a)}{b^2} - \frac{2(a - \ln f_0)\text{cov}(a,b)}{b^3} + \frac{(a - \ln f_0)^2 \text{var}(b)}{b^4}$$

(3) Expressão da equação 10: 
$$t_c = t_0 \pm 2,015 \sqrt{\text{var}(t_0)}$$

## Conclusões

1. O período de centrifugação da amostra de solo influencia a curva de retenção de água, afetando principalmente, os valores de umidade nas tensões mais elevadas, alterando, portanto, a umidade residual.

2. O período de centrifugação necessário para o equilíbrio da tensão de água no solo, na determinação da curva de retenção, pelo método tradicional da centrífuga, deve ser superior a 80 minutos.

3. Para fins de rotina de laboratório, recomenda-se adotar o tempo de centrifugação de 120 minutos no levantamento da curva de retenção para solos similares aos analisados neste trabalho.

## Agradecimentos

Aos assistentes de pesquisa da Embrapa – Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados Wantuir Caixeta Vieira e Joviano Mateus Pires e às valiosas orientações dos professores Lúcio J. Vivaldi e Geraldo de Silva e Souza nas análises estatísticas empregadas.

## Referências Bibliográficas

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables**. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1972.

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G. de; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In.: GOEDERT, J. W. **Solos dos Cerrados**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1985. p.33-74.

ASSOULINE, S.; TESSIER, D.; BRUAND, A. A conceptual model of the soil water retention curve. **Water Resources Research**, Washington, D.C., v. 34, n. 2, p. 223-231, 1998.

BRIGGS, L. J.; McLANE, J. W. Moisture equivalent determinations and their application. **Proceedings of the American Society for Agronomy**, Geneva, v. 2, p. 138-47, 1910.

BRIGGS, L. J; McLANE, J. W. **The moisture equivalent of soils**. Washington, D.C.: USDA, 1907. (USDA, Bureau of Soils. Bulletin, 45).

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. **Hydraulic properties of porous media**. Fort Collins: Colorado State University, 1964. (Hydrology Paper, 3).

CAMPBELL, G. S. A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. **Soil Science**, Baltimore, v. 117, p. 311-315, 1974.

CHILDS, E. C. **An introduction to physical basis of soil water phenomena.**

London: Wiley, 1969.

CRONEY, D.; COLEMAN, J. D; BRIDGE, P. M. **The suction of moisture held in soil and other porous materials.** London: Road Research Laboratory, 1952.

(Road Research Technical Paper, 24).

DRAPER, N. R; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: J. Wiley, 1981. 709 p.

FREITAS JÚNIOR, E. de; SILVA, E. M da. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1423-1428, 1984.

GENUTCHEN, M. T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

GENUTCHEN, M. T. van; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, v. 3, n. 5, p. 615-628, 1985.

MOISTURE equivalent centrifuge: model H-1400pF. Toquio, 1999. 21p.

KOOL, J. B.; PARKER, J. C.; GENUTCHEN, M. T. van. Parameter estimation for unsaturated flow and transport models: a review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 91, p. 255-293, 1987.

MALCOM, J. R; ANDRÉE, D. C. Water release characteristics. In: SMITH, K. A; MULLINS, C. E (Ed.). **Soil analysis: physical methods.** New York: M. Dekker, 1991. p. 111-160.

MEDEIROS, S. M. **Determinação da curva de retenção de água através de amostras submetidas à centrifugação.** 1987. 66p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luís de Queiros, Piracicaba.

MICROSOFT CORPORATION (Redmond, WA). **Microsoft Excel, versão 5.0:** guia do usuário. Redmond, 1994. p.589-603.

ODÉN, S. An integral method for determination of moisture retention curves by centrifugation. **Grundförbättring**, Uppsala, v. 27, p. 137-143, 1976.

PANINGBATAN Jr., E. P. **Determination of soil moisture characteristics and hydraulic conductivity using centrifuge.** 1980. 198 f. Thesis (Ph.D.) - University of California, Davis.

RICHARDS, L. A.; FIREMAN, M. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 56, p. 395-404, 1943.

ROGOWSKI, A. S. Watershed physics: model of soil characteristics, **Water Resources Research**, Washington, D.C., v. 7, p. 1575-1582, 1971.

RUSSELL, M. B; RICHARDS, L. A. The determination of soil moisture energy relation by centrifugation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 3, p. 65-69, 1938.

RUSSO, D. Determining soil hydraulic properties by parameter estimation: on the selection of a model for the hydraulic properties, **Water Resources Research**, Washington, D.C., v. 24, n.3, p. 453-459, 1988.

SAS INSTITUTE (Cary, EUA). **SAS language reference**. Cary, 1990. 1042 p.

SILVA, E. M. da. **Analysis of furrow irrigation uniformity as affected by furrow spacing**. 1990. 449 f. Thesis (Ph.D.) - University of Arizona, Tucson.

SOUZA, da S. e S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. Brasília: Embrapa: SPI ; Embrapa-SEA, 1998. 505 p.

THOMAS, M.D.; HARRIS, K. The moisture equivalent of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 26, n. 6, p. 411-24, 1925.

VEIHMEYER, F. H.; ISRAELSEN, O. W.; CONRAD, J. P. **The moisture equivalent as influenced by the amount of soil used in its determination**. Berkeley: University of California, 1924. (University of California, College of Agriculture. Agricultural Experimental Station. Technical Paper, 16).

**Anexo 1.** Valores de tensão média na amostra de solo, em função da rotação, para uma centrífuga com raio interno de 3,3 cm e coletor de solo com 5,0 cm de comprimento. As seguintes informações adicionais foram utilizadas nos cálculos:  $g = 981 \text{ cm seg}^{-2}$ ,  $1 \text{ k Pa} = 0,01 \text{ bar}$ ,  $1 \text{ k Pa} = 0,00987 \text{ atm}$ ,  $1 \text{ atm} = 1033 \text{ cm}$ ,  $1 \text{ kPa} = 10,19571 \text{ cm}$ .

Rotação (rpm)	Tensão média de água na amostra de solo centrifugada			
	cm	k Pa	atm	bar
600	66,74	6,55	0,0646	0,0655
700	90,84	8,91	0,0879	0,0891
800	118,64	11,64	0,1149	0,1164
900	150,16	14,73	0,1454	0,1473
1000	185,38	18,18	0,1795	0,1818
1100	224,31	22,00	0,2171	0,2200
1200	266,94	26,18	0,2584	0,2618
1300	313,29	30,73	0,3033	0,3073
1400	363,34	35,64	0,3517	0,3564
1500	417,10	40,91	0,4038	0,4091
1600	474,57	46,55	0,4594	0,4655
1700	535,74	52,55	0,5186	0,5255
1800	600,63	58,91	0,5814	0,5891
1900	669,22	65,64	0,6478	0,6564
2000	741,51	72,73	0,7178	0,7273
2100	817,52	80,18	0,7914	0,8018
2200	897,23	88,00	0,8686	0,8800
2300	980,65	96,18	0,9493	0,9618
2400	1067,78	104,73	1,0337	1,0473
2500	1158,61	113,64	1,1216	1,1364
2600	1253,16	122,91	1,2131	1,2291
2700	1351,41	132,55	1,3082	1,3255
2800	1453,37	142,55	1,4069	1,4255
2900	1559,03	152,91	1,5092	1,5291
3000	1668,41	163,64	1,6151	1,6364
3100	1781,49	174,73	1,7246	1,7473

Continua ...

## Anexo 1. Continuação.

Rotação (rpm)	Tensão média de água na amostra de solo centrifugada			
	cm	k Pa	atm	bar
3200	1898,27	186,18	1,8376	1,8618
3300	2018,77	198,00	1,9543	1,9800
3400	2142,97	210,18	2,0745	2,1018
3500	2270,89	222,73	2,1983	2,2273
3600	2402,50	235,64	2,3258	2,3564
3700	2537,83	248,91	2,4568	2,4891
3800	2676,86	262,55	2,5913	2,6255
3900	2819,61	276,55	2,7295	2,7655
4000	2966,05	290,91	2,8713	2,9091
4100	3116,21	305,64	3,0167	3,0564
4200	3270,07	320,73	3,1656	3,2073
4300	3427,65	336,19	3,3181	3,3619
4400	3588,93	352,00	3,4743	3,5200
4500	3753,91	368,19	3,6340	3,6819
4600	3922,61	384,73	3,7973	3,8473
4700	4095,01	401,64	3,9642	4,0164
4800	4271,12	418,91	4,1347	4,1891
4900	4450,94	436,55	4,3087	4,3655
5000	4634,46	454,55	4,4864	4,5455
5100	4821,69	472,91	4,6677	4,7291
5200	5012,63	491,64	4,8525	4,9164
5300	5207,28	510,73	5,0409	5,1073
5400	5405,63	530,19	5,2329	5,3019
5500	5607,70	550,01	5,4286	5,5001
5600	5813,47	570,19	5,6278	5,7019
5700	6022,94	590,73	5,8305	5,9073
5800	6236,13	611,64	6,0369	6,1164
5900	6453,02	632,92	6,2469	6,3292
6000	6673,62	654,55	6,4604	6,5455
6100	6897,93	676,55	6,6776	6,7655

Continua ...

## Anexo 1. Continuação.

Rotação (rpm)	Tensão média de água na amostra de solo centrifugada			
	cm	k Pa	atm	bar
6200	7125,95	698,92	6,8983	6,9892
6300	7357,67	721,64	7,1226	7,2164
6400	7593,10	744,73	7,3505	7,4473
6500	7832,24	768,19	7,5820	7,6819
6600	8075,08	792,01	7,8171	7,9201
6700	8321,64	816,19	8,0558	8,1619
6800	8571,90	840,74	8,2981	8,4074
6900	8825,87	865,65	8,5439	8,6565
7000	9083,54	890,92	8,7934	8,9092
7100	9344,93	916,55	9,0464	9,1655
7200	9610,02	942,55	9,3030	9,4255
7300	9878,81	968,92	9,5632	9,6892
7400	10151,32	995,65	9,8270	9,9565
7500	10427,53	1022,74	10,0944	10,2274
7600	10707,46	1050,19	10,3654	10,5019
7700	10991,09	1078,01	10,6400	10,7801
7800	11278,42	1106,19	10,9181	11,0619
7900	11569,47	1134,74	11,1999	11,3474
8000	11864,22	1163,65	11,4852	11,6365
8100	12162,68	1192,92	11,7741	11,9292
8200	12464,84	1222,56	12,0666	12,2256
8300	12770,72	1252,56	12,3627	12,5256
8400	13080,30	1282,92	12,6624	12,8292
8500	13393,59	1313,65	12,9657	13,1365
8600	13710,59	1344,74	13,2726	13,4474
8700	14031,29	1376,20	13,5831	13,7620
8800	14355,70	1408,01	13,8971	14,0801
8900	14683,82	1440,20	14,2147	14,4020
9000	15015,65	1472,74	14,5360	14,7274
9100	15351,19	1505,65	14,8608	15,0565
9200	15690,43	1538,92	15,1892	15,3892

**Anexo 2.** Conteúdo gravimétrico de água (g de água/g de solo), em Neossolo Quartzarênico (NR) de Cerrado, com densidade média de 1,397 g/cm<sup>3</sup>, em 24 amostras, em função da rotação e do período de centrifugação estabelecido.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	600 rpm								
1	0,1694	0,1620	0,1569	0,1532	0,1488	0,1481	0,1466	0,1466	1,364
2	0,1692	0,1663	0,1613	0,1570	0,1520	0,1513	0,1505	0,1498	1,395
3	0,1759	0,1737	0,1657	0,1642	0,1599	0,1584	0,1577	0,1577	1,370
4	0,1722	0,1619	0,1590	0,1560	0,1524	0,1509	0,1502	0,1495	1,365
Média	0,1717	0,1660	0,1607	0,1576	0,1533	0,1522	0,1513	0,1509	1,374
Desvio	0,0031	0,0055	0,0038	0,0047	0,0047	0,0044	0,0047	0,0048	0,0146
Rep.	800 rpm								
1	0,1269	0,1240	0,1225	0,1211	0,1174	0,1174	0,1167	0,1167	1,371
2	0,1304	0,1274	0,1259	0,1230	0,1193	0,1185	0,1185	0,1185	1,350
3	0,1319	0,1291	0,1270	0,1249	0,1221	0,1221	0,1221	0,1221	1,425
4	0,1328	0,1300	0,1271	0,1243	0,1214	0,1200	0,1200	0,1200	1,408
Média	0,1305	0,1276	0,1256	0,1233	0,1201	0,1195	0,1193	0,1193	1,389
Desvio	0,0026	0,0026	0,0022	0,0017	0,0021	0,0020	0,0023	0,0023	0,0342
Rep.	1400 rpm								
1	0,1028	0,0999	0,0964	0,0928	0,0757	0,0892	0,0871	0,0864	1,401
2	0,0964	0,0921	0,0872	0,0843	0,0822	0,0801	0,0780	0,0780	1,411
3	0,1028	0,1001	0,0959	0,0903	0,0883	0,0869	0,0841	0,0841	1,439
4	0,0991	0,0940	0,0933	0,0889	0,0868	0,0853	0,0824	0,0824	1,383
Média	0,1003	0,0965	0,0932	0,0891	0,0833	0,0854	0,0829	0,0827	1,409
Desvio	0,0031	0,0041	0,0042	0,0036	0,0057	0,0039	0,0038	0,0036	0,0234

Continua ...

## Anexo 2. Continuação.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	..... 2000 rpm .....								
1	0,0925	0,0903	0,0860	0,0824	0,0796	0,0781	0,0753	0,0738	1,395
2	0,0930	0,0901	0,0852	0,0816	0,0788	0,0767	0,0752	0,0745	1,409
3	0,0895	0,0859	0,0823	0,0795	0,0773	0,0759	0,0680	0,0730	1,397
4	0,0958	0,0914	0,0864	0,0827	0,0784	0,0762	0,0747	0,0704	1,378
Média	0,0927	0,0894	0,0850	0,0816	0,0785	0,0767	0,0733	0,0729	1,395
Desvio	0,0026	0,0024	0,0019	0,0014	0,0010	0,0010	0,0035	0,0018	0,0128
Rep.	..... 2400 rpm .....								
1	0,0853	0,0817	0,0796	0,0753	0,0717	0,0703	0,0695	0,0688	1,395
2	0,0880	0,0844	0,0801	0,0772	0,0729	0,0722	0,0722	0,0722	1,386
3	0,0881	0,0852	0,0810	0,0774	0,0746	0,0732	0,0724	0,0724	1,408
4	0,0897	0,0863	0,0815	0,0781	0,0747	0,0733	0,0719	0,0712	1,460
Média	0,0878	0,0844	0,0806	0,0770	0,0735	0,0723	0,0715	0,0712	1,412
Desvio	0,0018	0,0020	0,0009	0,0012	0,0014	0,0014	0,0013	0,0017	0,0331
Rep.	..... 9200 rpm .....								
1	0,0641	0,0598	0,0577	0,0548	0,0498	0,0491	0,0491	0,0491	1,405
2	0,0627	0,0585	0,0570	0,0542	0,0493	0,0479	0,0479	0,0472	1,420
3	0,0662	0,0633	0,0597	0,0568	0,0517	0,0517	0,0517	0,0517	1,374
4	0,0666	0,0624	0,0602	0,0574	0,0517	0,0510	0,0510	0,0510	1,411
Média	0,0649	0,0610	0,0587	0,0558	0,0506	0,0499	0,0499	0,0498	1,403
Desvio	0,0018	0,0022	0,0015	0,0015	0,0013	0,0017	0,0017	0,0020	0,0200

**Anexo 3.** Conteúdo gravimétrico de água (g de água/g de solo), em Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) de Cerrado, com textura franco-arenosa e densidade média de 1,245 g/cm<sup>3</sup>, em 24 amostras, em função da rotação e do período de centrifugação estabelecido.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	600 rpm								
1	0,2160	0,2070	0,2037	0,1980	0,1972	0,1964	0,1964	0,1948	1,227
2	0,2426	0,2324	0,2265	0,2239	0,2146	0,2146	0,2112	0,2112	1,179
3	0,2149	0,2066	0,2058	0,2012	0,1966	0,1966	0,1966	0,1959	1,312
4	0,2313	0,2272	0,2197	0,2156	0,2139	0,2139	0,2139	0,2139	1,206
Média	0,2262	0,2183	0,2139	0,2097	0,2056	0,2054	0,2045	0,2040	1,231
Desvio	0,0133	0,0134	0,0110	0,0122	0,0100	0,0103	0,0093	0,0100	0,057
Rep.	800 rpm								
1	0,2027	0,1963	0,1923	0,1787	0,1771	0,1747	0,1707	0,1699	1,248
2	0,1865	0,1840	0,1832	0,1807	0,1799	0,1799	0,1790	0,1782	1,212
3	0,1840	0,1792	0,1751	0,1711	0,1687	0,1671	0,1663	0,1663	1,239
4	0,1863	0,1839	0,1831	0,1775	0,1768	0,1712	0,1712	0,1712	1,256
Média	0,1899	0,1859	0,1834	0,1770	0,1756	0,1732	0,1718	0,1714	1,239
Desvio	0,0086	0,0073	0,0070	0,0041	0,0048	0,0054	0,0053	0,0050	0,019
Rep.	1400 rpm								
1	0,1516	0,1450	0,1392	0,1350	0,1317	0,1309	0,1309	0,1301	1,207
2	0,1524	0,1484	0,1427	0,1387	0,1387	0,1387	0,1379	0,1371	1,247
3	0,1533	0,1470	0,1431	0,1384	0,1360	0,1352	0,1336	0,1321	1,272
4	0,1559	0,1526	0,1460	0,1436	0,1395	0,1395	0,1386	0,1378	1,219
Média	0,1533	0,1483	0,1428	0,1389	0,1365	0,1361	0,1353	0,1343	1,236
Desvio	0,0019	0,0032	0,0028	0,0035	0,0035	0,0039	0,0036	0,0038	0,029

Continua ...

**Anexo 3.** Continuação.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	2000 rpm								
1	0,1580	0,1521	0,1453	0,1317	0,1283	0,1249	0,1223	0,1206	1,177
2	0,1443	0,1363	0,1371	0,1315	0,1291	0,1275	0,1259	0,1259	1,247
3	0,1425	0,1373	0,1320	0,1214	0,1244	0,1229	0,1214	0,1199	1,326
4	0,1425	0,1385	0,1353	0,1305	0,1265	0,1265	0,1257	0,1241	1,249
Média	0,1468	0,1411	0,1374	0,1288	0,1271	0,1255	0,1238	0,1226	1,250
Desvio	0,0075	0,0074	0,0057	0,0049	0,0021	0,0020	0,0023	0,0029	0,061
Rep.	2400 rpm								
1	0,1337	0,1260	0,1221	0,1182	0,1159	0,1136	0,1121	0,1113	1,294
2	0,1388	0,1347	0,1290	0,1265	0,1257	0,1233	0,1200	0,1192	1,225
3	0,1489	0,1421	0,1362	0,1303	0,1294	0,1269	0,1244	0,1235	1,182
4	0,1379	0,1340	0,1293	0,1246	0,1238	0,1231	0,1215	0,1199	1,284
Média	0,1398	0,1342	0,1292	0,1249	0,1237	0,1217	0,1195	0,1185	1,246
Desvio	0,0064	0,0066	0,0058	0,0051	0,0057	0,0057	0,0053	0,0051	0,053
Rep.	9200 rpm								
1	0,1153	0,1012	0,0966	0,0903	0,0896	0,0857	0,0849	0,0833	1,284
2	0,1079	0,1040	0,0993	0,0946	0,0930	0,0923	0,0891	0,0876	1,279
3	0,1087	0,1029	0,0979	0,0929	0,0896	0,0863	0,0846	0,0830	1,205
4	0,1091	0,1045	0,0998	0,0952	0,0937	0,0913	0,0890	0,0882	1,292
Média	0,1103	0,1032	0,0984	0,0933	0,0915	0,0889	0,0869	0,0855	1,265
Desvio	0,0034	0,0015	0,0014	0,0022	0,0022	0,0034	0,0025	0,0028	0,040

**Anexo 4.** Conteúdo gravimétrico de água (g de água/g de solo), em Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) de Cerrado, com textura argilo-arenosa e densidade média de 1,012 g/cm<sup>3</sup>, em 24 amostras, em função da rotação e do período de centrifugação estabelecido.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	600 rpm								
1	0,3324	0,3249	0,3203	0,3156	0,3137	0,3128	0,3100	0,3091	1,071
2	0,3723	0,3585	0,3477	0,3438	0,3399	0,3399	0,3379	0,3379	1,018
3	0,3324	0,3238	0,3200	0,3162	0,3134	0,3124	0,3086	0,3086	1,053
4	0,3596	0,3528	0,3470	0,3411	0,3411	0,3392	0,3382	0,3372	1,026
Média	0,3492	0,3400	0,3338	0,3292	0,3270	0,3261	0,3237	0,3232	1,042
Desvio	0,0201	0,0182	0,0157	0,0154	0,0156	0,0156	0,0166	0,0166	0,024
Rep.	800 rpm								
1	0,3394	0,3303	0,3252	0,3171	0,3069	0,3039	0,3008	0,2978	0,984
2	0,3320	0,3268	0,3164	0,3164	0,3144	0,3144	0,3144	0,3144	0,967
3	0,3266	0,3203	0,3140	0,3087	0,3044	0,3023	0,3013	0,3002	0,946
4	0,3129	0,3080	0,3050	0,3001	0,2981	0,2971	0,2971	0,2962	1,013
Média	0,3277	0,3214	0,3152	0,3106	0,3060	0,3044	0,3034	0,3022	0,978
Desvio	0,0112	0,0098	0,0083	0,0080	0,0067	0,0073	0,0076	0,0083	0,028
Rep.	1400 rpm								
1	0,2710	0,2623	0,2565	0,2507	0,2498	0,2478	0,2459	0,2449	1,037
2	0,2693	0,2635	0,2566	0,2517	0,2507	0,2547	0,2498	0,2458	1,021
3	0,2609	0,2524	0,2457	0,2401	0,2372	0,2363	0,2344	0,2335	1,058
4	0,2837	0,2775	0,2713	0,2641	0,2621	0,2610	0,2590	0,2580	0,973
Média	0,2712	0,2639	0,2575	0,2517	0,2500	0,2500	0,2473	0,2456	1,022
Desvio	0,0094	0,0103	0,0105	0,0098	0,0102	0,0106	0,0102	0,0100	0,036

Continua ...

**Anexo 4.** Continuação.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	..... 2000 rpm .....								
1	0,2648	0,2522	0,2454	0,2425	0,2396	0,2376	0,2308	0,2279	1,031
2	0,2599	0,2531	0,2473	0,2396	0,2386	0,2367	0,2329	0,2319	1,035
3	0,2548	0,2467	0,2397	0,2346	0,2296	0,2276	0,2256	0,2236	0,993
4	0,2559	0,2510	0,2451	0,2392	0,2363	0,2353	0,2333	0,2314	1,020
Média	0,2589	0,2508	0,2444	0,2390	0,2360	0,2343	0,2307	0,2287	1,020
Desvio	0,0045	0,0028	0,0033	0,0033	0,0045	0,0046	0,0035	0,0038	0,019
Rep.	..... 2400 rpm .....								
1	0,2495	0,2416	0,2347	0,2277	0,2238	0,2228	0,2208	0,2198	1,010
2	0,2547	0,2488	0,2428	0,2368	0,2338	0,2338	0,2288	0,2268	1,001
3	0,2574	0,2475	0,2406	0,2337	0,2297	0,2277	0,2257	0,2238	1,010
4	0,2512	0,2453	0,2404	0,2326	0,2306	0,2296	0,2267	0,2257	1,019
Média	0,2532	0,2458	0,2396	0,2327	0,2295	0,2285	0,2255	0,2240	1,010
Desvio	0,0035	0,0032	0,0035	0,0038	0,0042	0,0046	0,0034	0,0031	0,007
Rep.	..... 9200 rpm .....								
1	0,1948	0,1858	0,1788	0,1708	0,1668	0,1658	0,1638	0,1628	1,001
2	0,2020	0,1910	0,1849	0,1779	0,1729	0,1719	0,1688	0,1678	0,995
3	0,2051	0,1945	0,1881	0,1796	0,1753	0,1732	0,1700	0,1690	0,941
4	0,1942	0,1849	0,1775	0,1701	0,1664	0,1664	0,1636	0,1617	1,076
Média	0,1990	0,1891	0,1823	0,1746	0,1704	0,1693	0,1666	0,1653	1,003
Desvio	0,0054	0,0045	0,0050	0,0049	0,0044	0,0038	0,0033	0,0036	0,056

**Anexo 5.** Conteúdo gravimétrico de água (g de água/g de solo), em Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) de Cerrado, com textura muito argilosa e densidade média de 0,949 g/cm<sup>3</sup>, em 24 amostras, em função da rotação e do período de centrifugação estabelecido.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	600 rpm								
1	0,4029	0,3852	0,3789	0,3779	0,3768	0,3747	0,3747	0,3737	0,958
2	0,4022	0,3968	0,3892	0,3849	0,3795	0,3795	0,3795	0,3784	0,925
3	0,3987	0,3945	0,3840	0,3819	0,3808	0,3787	0,3776	0,3766	0,948
4	0,4076	0,4023	0,3960	0,3918	0,3886	0,3833	0,3833	0,3833	0,947
Média	0,4029	0,3947	0,3870	0,3841	0,3814	0,3791	0,3788	0,3780	0,945
Desvio	0,0037	0,0071	0,0073	0,0059	0,0051	0,0035	0,0036	0,0040	0,014
Rep.	800 rpm								
1	0,3574	0,3531	0,3434	0,3434	0,3434	0,3434	0,3434	0,3434	0,929
2	0,3649	0,3619	0,3546	0,3546	0,3526	0,3454	0,3443	0,3443	0,970
3	0,3580	0,3558	0,3526	0,3526	0,3493	0,3493	0,3482	0,3482	0,919
4	0,3547	0,3503	0,3482	0,3471	0,3449	0,3427	0,3438	0,3438	0,922
Média	0,3588	0,3553	0,3497	0,3494	0,3476	0,3452	0,3449	0,3449	0,935
Desvio	0,0043	0,0050	0,0050	0,0051	0,0042	0,0030	0,0022	0,0022	0,024
Rep.	1400 rpm								
1	0,3051	0,2997	0,2986	0,2921	0,2910	0,2910	0,2899	0,2899	0,921
2	0,3084	0,3019	0,2998	0,2934	0,2923	0,2923	0,2912	0,2901	0,934
3	0,3032	0,2982	0,2941	0,2870	0,2860	0,2860	0,2840	0,2840	0,986
4	0,3087	0,3047	0,3026	0,2986	0,2966	0,2955	0,2925	0,2925	0,988
Média	0,3064	0,3011	0,2988	0,2928	0,2915	0,2912	0,2894	0,2891	0,957
Desvio	0,0027	0,0028	0,0035	0,0048	0,0044	0,0039	0,0038	0,0036	0,035

Continua ...

**Anexo 5.** Continuação.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	..... 2000 rpm .....								
1	0,2963	0,2912	0,2861	0,2781	0,2760	0,2760	0,2750	0,2740	0,989
2	0,2901	0,2840	0,2779	0,2718	0,2718	0,2718	0,2708	0,2677	0,986
3	0,2903	0,2863	0,2803	0,2744	0,2734	0,2734	0,2734	0,2714	1,006
4	0,2887	0,2845	0,2793	0,2751	0,2730	0,2730	0,2730	0,2667	0,956
Média	0,2914	0,2865	0,2809	0,2749	0,2736	0,2736	0,2731	0,2700	0,984
Desvio	0,0034	0,0033	0,0036	0,0026	0,0018	0,0018	0,0017	0,0034	0,021
Rep.	..... 2400 rpm .....								
1	0,2859	0,2806	0,2763	0,2699	0,2667	0,2667	0,2635	0,2635	0,941
2	0,2822	0,2780	0,2726	0,2673	0,2641	0,2630	0,2620	0,2599	0,939
3	0,2911	0,2856	0,2800	0,2767	0,2722	0,2722	0,2700	0,2700	0,900
4	0,2925	0,2872	0,2841	0,2778	0,2757	0,2736	0,2704	0,2704	0,954
Média	0,2879	0,2829	0,2783	0,2729	0,2697	0,2689	0,2665	0,2660	0,934
Desvio	0,0048	0,0043	0,0049	0,0051	0,0052	0,0049	0,0043	0,0051	0,023
Rep.	..... 9200 rpm .....								
1	0,2362	0,2287	0,2222	0,2168	0,2136	0,2136	0,2125	0,2114	0,927
2	0,2436	0,2361	0,2286	0,2244	0,2212	0,2212	0,2190	0,2179	0,936
3	0,3792	0,3703	0,3625	0,3559	0,3525	0,3525	0,3514	0,3503	0,902
4	0,2475	0,2393	0,2312	0,2251	0,2220	0,2220	0,2200	0,2200	0,982
Média	0,2766	0,2686	0,2611	0,2556	0,2523	0,2523	0,2507	0,2499	0,937
Desvio	0,0685	0,0679	0,0677	0,0670	0,0669	0,0669	0,0672	0,0670	0,033

**Anexo 6.** Conteúdo gravimétrico de água (g de água/g de solo), em Latossolo Vermelho (LV) de Cerrado, com textura argilosa e densidade média de 0,975 g/cm<sup>3</sup>, em 24 amostras, em função da rotação e do período de centrifugação estabelecido.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	600 rpm								
1	0,3493	0,3452	0,3432	0,3391	0,3340	0,3310	0,3310	0,3289	0,982
2	0,3603	0,3541	0,3501	0,3460	0,3398	0,3367	0,3357	0,3337	0,977
3	0,3664	0,3601	0,3559	0,3497	0,3424	0,3392	0,3372	0,3351	0,958
4	0,3496	0,3446	0,3426	0,3386	0,3327	0,3307	0,3307	0,3287	1,004
Média	0,3564	0,3510	0,3480	0,3434	0,3372	0,3344	0,3337	0,3316	0,980
Desvio	0,0084	0,0075	0,0063	0,0054	0,0046	0,0042	0,0033	0,0033	0,019
Rep.	800 rpm								
1	0,3317	0,3277	0,3267	0,3217	0,3167	0,3147	0,3137	0,3127	1,004
2	0,3270	0,3230	0,3210	0,3131	0,3081	0,3061	0,3051	0,3041	1,003
3	0,3361	0,3320	0,3289	0,3217	0,3176	0,3155	0,3135	0,3135	0,973
4	0,3257	0,3195	0,3164	0,3113	0,3051	0,3020	0,3020	0,3009	0,967
Média	0,3301	0,3256	0,3233	0,3170	0,3119	0,3096	0,3086	0,3078	0,987
Desvio	0,0047	0,0055	0,0057	0,0055	0,0062	0,0066	0,0059	0,0063	0,020
Rep.	1400 rpm								
1	0,2868	0,2829	0,2740	0,2730	0,2690	0,2671	0,2671	0,2671	1,011
2	0,3009	0,2947	0,2885	0,2834	0,2792	0,2771	0,2761	0,2761	0,967
3	0,2957	0,2907	0,2867	0,2807	0,2787	0,2767	0,2767	0,2767	1,001
4	0,2911	0,2870	0,2809	0,2768	0,2717	0,2707	0,2697	0,2697	0,979
Média	0,2936	0,2888	0,2825	0,2785	0,2747	0,2729	0,2724	0,2724	0,990
Desvio	0,0061	0,0050	0,0065	0,0045	0,0051	0,0048	0,0047	0,0047	0,020

Continua ...

**Anexo 6.** Continuação.

Amostras	Período de Centrifugação (min)								Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
	15	30	60	120	180	240	300	360	
Rep.	..... 2000 rpm .....								
1	0,2860	0,2787	0,2714	0,2672	0,2620	0,2610	0,2610	0,2610	0,958
2	0,2869	0,2838	0,2777	0,2715	0,2674	0,2674	0,2664	0,2664	0,976
3	0,2813	0,2762	0,2700	0,2659	0,2608	0,2608	0,2598	0,2598	0,974
4	0,2847	0,2804	0,2741	0,2677	0,2624	0,2614	0,2603	0,2603	0,945
Média	0,2847	0,2798	0,2733	0,2681	0,2632	0,2627	0,2619	0,2619	0,963
Desvio	0,0025	0,0032	0,0034	0,0024	0,0029	0,0032	0,0031	0,0031	0,015
Rep.	..... 2400 rpm .....								
1	0,2714	0,2643	0,2593	0,2543	0,2513	0,2492	0,2482	0,2462	0,995
2	0,2771	0,2729	0,2656	0,2594	0,2573	0,2552	0,2531	0,2510	0,960
3	0,2677	0,2617	0,2557	0,2507	0,2458	0,2438	0,2418	0,2408	1,001
4	0,2758	0,2694	0,2620	0,2577	0,2524	0,2492	0,2492	0,2481	0,939
Média	0,2730	0,2671	0,2607	0,2555	0,2517	0,2494	0,2481	0,2465	0,974
Desvio	0,0043	0,0050	0,0042	0,0039	0,0047	0,0047	0,0047	0,0043	0,029
Rep.	..... 9200 rpm .....								
1	0,2224	0,2134	0,2044	0,1974	0,1954	0,1934	0,1914	0,1894	0,998
2	0,2245	0,2163	0,2060	0,1988	0,1967	0,1946	0,1916	0,1895	0,971
3	0,2323	0,2236	0,2137	0,2072	0,2050	0,2039	0,2007	0,1985	0,917
4	0,2335	0,2249	0,2154	0,2068	0,2058	0,2036	0,2004	0,1983	0,938
Média	0,2282	0,2196	0,2099	0,2026	0,2007	0,1989	0,1960	0,1939	0,956
Desvio	0,0055	0,0056	0,0055	0,0052	0,0054	0,0057	0,0052	0,0052	0,036