

## Estabilidade de agregados em água análise crítica e padronização

*Fernando Vieira Cesário<sup>1</sup>*

*Guilherme Kangussú Donagemma<sup>2</sup>*

*Hugo Alberto Ruiz<sup>3</sup>*

*Fabiano de Carvalho Balieiro<sup>2</sup>*

### Introdução

Estudos de estabilidade de agregados do solo em água vêm sendo realizados há bastante tempo, principalmente a partir do trabalho de Yoder (1936). Inicialmente a maior parte dos trabalhos tinha a finalidade de relacionar a estabilidade de agregados com os processos erosivos; atualmente, os estudos com agregados se concentram na avaliação do impacto do uso do solo e seu manejo na qualidade física dos solos (CASTRO FILHO et al., 2002; CERDÀ, 1998; ANJOS et al., 1994) e sua relação com outras funções, como a emissão de gases de efeito estufa (BARRETO et al., 2009) e estoque de C (DENEFF et al., 2007; CASTRO FILHO et al., 1998).

Partículas primárias do solo (argila, silte, areia) tendem a formar unidades compostas, chamadas agregados, sendo a aderência delas mais forte do que àquela com outras unidades circunvizinhas (KEMPER; ROSENAU, 1986). De acordo com Hillel (2003), solos com um teor apreciável de argila tendem, sobre circunstâncias favoráveis, a agrupar-se em unidades estruturais conhecidas como agregados.

A utilização de indicadores de qualidade do solo é relevante para o monitoramento da qualidade do solo e dos atributos físicos, assim como químicos e biológicos devem avaliar com o máximo de fidelidade funções-chave do solo (CASTRO FILHO et al., 2002; CORRÊA, 2002; DENEFF et al., 2001a; BOIX-FAYOS et al., 2001; ZHANG; HORN, 2001; CASTRO FILHO et al., 1998). No caso de funções do solo associadas a perdas ou incrementos da estrutura do solo, pode-se citar: o transporte e armazenamento de água, o fluxo de gases e o sequestro de C.

Dentre os vários indicadores de qualidade do solo, a estabilidade de agregados constitui-se em importante atributo na avaliação dos diversos usos do solo (SÁ et al., 2000). A rotação de culturas, o manejo da palhada da cultura, o uso do entorno de fragmentos de mata e o tipo de solo são exemplos de fatores que podem, direta ou indiretamente, alterar a estabilidade dos agregados (BRONICK; LAL, 2005; CASTRO FILHO et al., 2002; CASTRO FILHO et al., 1998).

<sup>1</sup> Graduando Bacharelado em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. E-mail: fernandovieiracesario@gmail.com

<sup>2</sup> Pesquisador A Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. Rio de Janeiro-RJ. CEP:22.460-000. E-mail: donagemma@cnps.embrapa.br, balieiro@cnps.embrapa.br.

<sup>3</sup> Pesquisador visitante da Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, ES, Brasil.

Os principais índices de associados ao estudo de agregados, e comumente usados avaliação da qualidade de solo na literatura, são: o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP), o índice de estabilidade de agregados (IEA) e porcentagem de agregados maior que 2 mm (CASTRO FILHO et al., 2002; CASTRO FILHO et al., 1998; KEMPER; ROSENAU, 1986).

## Motivações para melhor descrição do método

Apesar dos índices de agregação serem amplamente usados para o diagnóstico da estrutura física de diferentes solos em diferentes ambientes, ainda assim, diversas são as metodologias ou adaptações usadas.

Tais métodos variam, geralmente, no diâmetro da malha da peneira usada para o destorroamento e homogeneização das amostras, no tipo e tempo de pré-umedecimento, além da quantidade de amostra usada para a tamisação (AMARO FILHO et al., 2008; MADARI, 2004; SEYBOLD; HERRICK, 2001; SÁ et al., 2000; CASTRO FILHO et al., 1998; EMBRAPA, 1997; ANGULO et al., 1984a). Além disso, no caso do índice de estabilidade de agregados (IEA), a descrição do método de correção de areia varia - ou não é descrita de forma clara no item métodos; a correção da umidade da amostra, na maioria das vezes, não é mencionada (ABIVEN et al., 2009; ALAGÖZ; YILMAZ, 2009; KASPER et al., 2009; SALTON et al., 2008; DENEFF; SIX, 2005; CASTRO FILHO et al., 2002; DENEFF et al., 2001b; BOIX-FAYOS et al., 2001; DENEFF et al., 2001a; SÁ et al., 2000; CASTRO FILHO et al., 1998; CERDÀ, 1998; ANGULO et al., 1984a).

A enorme variedade de peneiras utilizadas no processo de separação das classes de agregados é um dos primeiros motivos da elaboração do presente trabalho. Não existe um padrão para o tamanho das peneiras, principalmente para as peneiras que definem a classe de microagregados, onde são utilizadas geralmente peneiras de 0,105 mm ou 0,125 mm no final do jogo de peneiras, sendo a classe de microagregados obtida por diferença, somando todas as classes obtidas no procedimento e subtraindo do total de agregados inseridos no início da separação. Esse procedimento de

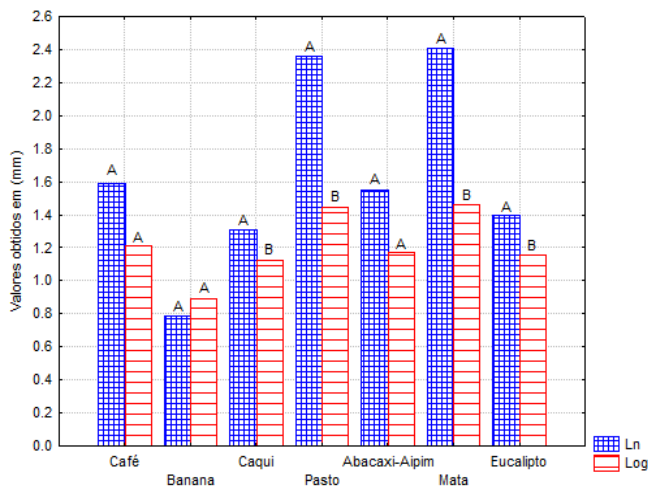
subtração para obtenção da classe de microagregados, utilizados em alguns trabalhos (KASPER et al., 2009; SALTON et al., 2008; CASTRO FILHO et al., 2002; SÁ et al., 2000; CASTRO FILHO et al., 1998), pode, de certa forma, superestimar o peso desta classe se a correção da umidade não for realizada.

As amostras de solo que são separadas para o peneiramento não podem ser secas antes da separação das frações de agregados, pois poderia, com isso, causar a desagregação do agregado de 2 mm que vai para o separador de agregados. Assim sendo, essa massa de solo contém um percentual de umidade que deve ser descontado, sobretudo se quiser obter os resultados das classes em porcentagem. Para tal, uma das propostas sustentadas é retirar uma amostra, geralmente com o mesmo peso da massa que vai para a separação, e aplicar o método e o cálculo de fator de correção de umidade  $f$  proposto no Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 1997), obtendo assim a massa real de solo colocada no separador de agregados.

Com relação ao cálculo do diâmetro médio geométrico (DMG), é de extrema importância esclarecer que o logaritmo a ser utilizado trata-se do **logaritmo natural** ( $\ln$ ) e não do **logaritmo normal** na base 10 ( $\log$ ). É necessário esse tipo de esclarecimento, pois na fórmula contida no trabalho de Kemper e Rosenau (1986), o autor utiliza o símbolo ( $\log$ ) para retomar o logaritmo da classe de agregados de diâmetro médio  $X_i$ .

Contudo, observando a fórmula original (KEMPER; ROSENAU, 1986), no final do cálculo o autor retoma o exponencial dos valores, confirmando, assim, que o logaritmo certo a ser utilizado é o ( $\ln$ ). Equívoco na utilização do logaritmo pode incorrer em diferenças significativas para o DMG, como mostra a Figura 1.

Outro problema encontrado é referente aos cálculos do Índice de estabilidade de agregados (IEA). Existe, para esse índice, um cálculo proposto por Castro Filho (1998), (Equação 1), onde se utiliza a classe de microagregados para a obtenção do índice, e propõe-se a correção de areia considerando as partículas de diâmetro entre 2,0 e 0,053 mm. Porém, não está claro como foi obtido o peso das partículas.



**Figura 1.** Valores de DMG (Diâmetro Médio Geométrico) comparados, utilizando Ln (Logaritmo Natural) e log (Logaritmo na Base 10), na profundidade de 0-20 cm em diferentes usos na região de Bom Jardim-RJ. As médias referentes aos valores de DMG foram obtidas de três repetições. Colunas do mesmo uso com letras iguais não diferem pelo teste *t* de amostras independentes a 5%.

$$IEA = \frac{\text{Peso da amostra seca} - W_{p25} - \text{Areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{Areia}} 100$$

$W_{p25}$  = Peso dos agregados < 0,25 mm (g)

Areia = Peso das partículas de diâmetro entre 2,0 – 0,053 mm (g)

**Equação 1.** Cálculo do índice de estabilidade de agregados segundo Castro Filho (1998).

Outro cálculo proposto para se estimar a percentagem da estabilidade de agregados do solo é descrito por Hillel (2003), visto na Equação 2. A proposta deste autor é mais clara em relação à correção da areia e considera todas as classes de agregados no cálculo. Hillel (2003) sugere que as partículas primárias retidas em cada peneira sejam descontadas, dispersando a massa de agregados retidos em cada peneira com um agitador mecânico e com um agente dispersante. Posteriormente, lavando esse material através da mesma peneira. O peso da areia retido nesta lavagem será, assim, subtraído da massa de agregados previamente obtida (HILLEL, 2003).

$$\% EA = 100 \frac{\text{Massa de agregados retida} - \text{Peso Areia}}{\text{Peso total da amostra} - \text{Peso Areia}}$$

**Equação 2.** Cálculo do percentual de estabilidade de agregados, segundo Hillel (2003).

O ponto negativo em ambas abordagens é a subtração das partículas de areia, que ficaram estáveis nas peneiras de maior classe, notadamente os macroagregados (2,00 a 0,25 mm). Entende-se que as partículas de areia, que após o peneiramento não se desprenderam e permaneceram “coladas” na massa de agregados, não devem ser descontadas, uma vez que estão sob alguma circunstância unida ao agregado, fazendo parte de sua funcionalidade.

Nesse sentido, sugere-se que para o cálculo do IEA deve-se ter uma junção das abordagens, utilizando as classes < 0,25 mm propostas por Castro Filho (1998), tendo em vista que essa classe de microagregados pode ser responsável por mudanças na estrutura do solo e é reflexo da desestabilização das classes maiores; e a correção da areia proposta por Hillel (2003). Tal correção evitaria os “falsos agregados”, pois assim seriam descontadas as partículas de areia desprenderas dos agregados maiores e instáveis que por ventura ficaram retidas nas peneiras menores.

Tomando como padrão o limite superior da areia fina (0,2 mm), propõe-se descontar somente as areias que ficaram retidas na peneira de 0,25 mm e nas peneiras menores, que assim são considerados “falsos agregados”, e não, como propôs Hillel (2003), descontar a areia de todas as classes.

Desta forma, sugere-se o seguinte cálculo para a obtenção da percentagem dos agregados estáveis (Equação 3):

$$EA\% = \frac{\text{PAS} - p_{25} - \text{Areia}}{\text{PAS} - \text{Areia}} 100$$

PAS = Peso da amostra seca (g)

$p_{25}$  = Peso da massa de agregados < 0,25 mm (g)

Areia = Peso da areia retida nas classes < 0,25 mm (g)

EA = Estabilidade de agregados

**Equação 3.** Proposta de equação para estabilidade de agregados.

## Materiais necessários para determinação da estabilidade de agregados em água

Os materiais descritos referem-se ao processamento de uma amostra com duas repetições:

- 2 séries de seis peneiras de tamanhos de abertura da malha de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm e 0,053 mm com diâmetro de 13 cm (Figura 2);

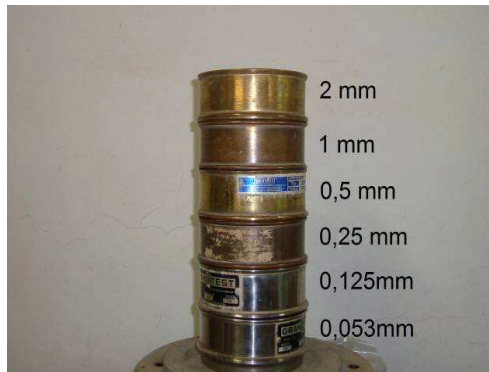


Figura 2. Jogo de peneiras utilizadas na separação de agregados, com a inclusão da peneira de 0,053 mm.

- 1 série de peneiras de tamanhos de abertura da malha de 4 mm, 2 mm e fundo com diâmetro de 20 cm;
- 15 recipientes ou placas Petri, que sustentem temperaturas de, no mínimo, 60°C.
- 1 espátula de metal ou plástico (podendo ser substituída por uma colher de sopa);
- 1 borrifador de água;
- 1 pisseta;
- 1 dessecador sob vácuo.

## Equipamentos

- Aparelho de oscilação vertical, com cilindros de metal (Aparelho de Yoder) (Figura 3);
- Estufa com circulação forçada de ar;
- Balança analítica.



Figura 3. Aparelho de oscilação vertical (Yoder).

## Procedimento proposto para a determinação da estabilidade de agregados em água

1. No campo, as amostras devem ser coletadas em blocos indeformados, ensacadas e estabilizadas com fita "crepe" no sentido do comprimento e largura para proporcionar o mínimo de alteração da sua estrutura original (Figura 4);
2. Retirar o bloco de solo do saco plástico e colocar sobre o jogo de peneiras de 4 mm, 2 mm e fundo;
3. Peneirar o bloco de solo, se necessário pode ser exercida leve força com as mãos para destorroar o bloco;



Figura 4. Bloco de solo indeformado acondicionado para evitar danos na estrutura.

4. Pesar três amostras de 25 g de agregados retidos na peneira de 2 mm (Figura 5);
5. Pulverizar com o borrifador, contendo água destilada, duas amostras de agregados de modo a umedecer as amostras homogeneamente, não utilizando mais do que sete borrifadas por amostra<sup>4</sup> (Figura 6);

<sup>4</sup> É importante que o borrifador não fique muito próximo da amostra, para que não cause a quebra do agregado.



6. Com a terceira amostra de agregados, realizar o procedimento de umidade e cálculo do fator  $f$ , segundo Embrapa (1997);

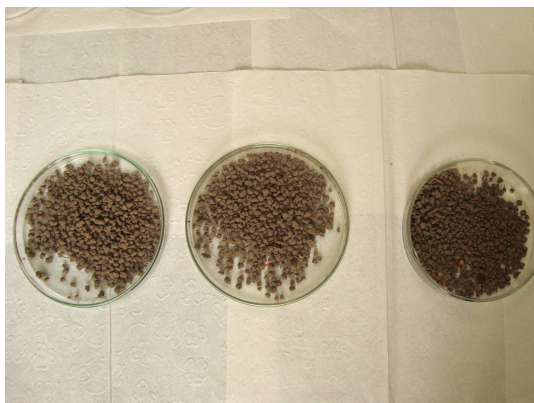


Figura 5. Amostras com 25 g de agregados retidas na peneira de 2 mm.

7. Aguardar o completo umedecimento das duas amostras borrifadas, por 2 horas;

8. Encher os cilindros do aparelho de oscilação vertical (Yoder) com água (normal);

9. Colocar as duas séries de seis peneiras de 13 cm de diâmetro no aparelho de oscilação vertical;

10. Ajustar o nível da água no aparelho de Yoder, de modo que a água apenas toque na primeira peneira (2 mm), quando as hastes do aparelho estiverem em sua posição inferior máxima;



Figura 6. Processo de umedecimento por atomização, mantendo distância da amostra borrifada do atomizador para não causar o rápido umedecimento e a consequente quebra do agregado.

11. Após o ajuste do nível de água, elevar as hastes do aparelho até sua posição superior máxima, para que os agregados de 4-2 mm sejam colocados na primeira peneira;

12. Decorridas as duas horas de umedecimento dos agregados, transferir a amostra de 25 g de agregados para a primeira peneira (2 mm). Repetir este procedimento para a outra série de peneiras. Se necessário, utilizar um pincel de cerdas finas para espalhar os agregados sobre a peneira<sup>5</sup> (Figura 7).



Figura 7. Distribuição dos agregados na primeira peneira, quando o jogo se encontra na sua posição superior máxima.

13. Iniciar o peneiramento com o aparelho de Yoder durante 15 min, com oscilação vertical do aparelho de 3 cm e o número de oscilações de 25 por minuto;

14. Tirar cuidadosamente a série de peneiras da água e levar para uma pia;

15. Transferir com água destilada, com a ajuda de pisseta, os agregados retidos em cada classe de peneira para uma placa Petri separadamente, com jatos direcionados no fundo de cada peneira<sup>6</sup> (Figura 8);



Figura 8. Lavagem das peneiras para retirada dos agregados de cada classe, após o peneiramento.

<sup>5</sup> Esse procedimento exige bastante leveza e habilidade para não destruir os agregados, e permitir uma distribuição uniforme sobre a peneira, evitando concentrar agregados no centro.

<sup>6</sup> Utilizar nesse procedimento o mínimo de água possível para evitar o transbordamento e a perda de material.

16. Colocar as placas Petri com os agregados numa estufa de circulação forçada de ar para secar a 40°C durante 48 horas<sup>7</sup> ;
17. Transferir as placas com os agregados para um dessecador sob vácuo, deixando-as esfriar por 15 minutos;
18. Pesquisar as placas com os agregados na balança analítica;
19. Retirar toda a massa de agregados de cada classe de peneiras das respectivas placas com ajuda de um pincel, e reservar caso deseje realizar análises de carbono. Pesquisar a placa novamente, agora sem os agregados já reservados;
20. Com os resultados da terceira amostra de 25g de agregados (tópico 6) realizar o seguinte cálculo para cada classe de peneiras:

$$ma = (pap - pa) \times f$$

ma = Massa de agregados real corrigida a umidade  
 pap = Peso dos agregados + placa Petri  
 pa = peso dos agregados sem a placa  
 f = Fator f, segundo Embrapa (1997)

## Considerações Finais

A inclusão da peneira de 0,053 mm no procedimento de avaliação da estabilidade de agregados é interessante, pois permite uma obtenção mais aproximada da classe de microagregados em relação ao procedimento da subtração, uma vez que a peneira de 0,053 mm separaria as frações de silte e argila dos agregados, mas consideraria a fração areia como microagregado.

A correção nos cálculos do índice de estabilidade de agregados, descontando os falsos agregados provenientes das peneiras superiores e não descontando as partículas de areia que permaneceram estáveis no agregado, parece ser conveniente com o conceito de estabilidade de agregados. A utilização das classes < 0,25 mm no cálculo parece pertinente com a dinâmica e implicações que essas classes têm no solo.

## Referências

- ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 1, p. 1-12, 2009.
- ALAGÖZ, Z.; YILMAZ, E. Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 419-424, 2009.
- AMARO FILHO, J. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N. A.; MOTA, J. C. A. **Física dos solos: conceitos e aplicações**. Fortaleza: 2008. p. 290
- ANGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, n. 1, p. 7-12, 1984.
- ANJOS, J. T. et al. Propriedades Físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 1, p. 139-145, 1994.
- BOIX-FAYOS, C. et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. **Catena**, v. 44, n. 1, p. 47-67, 2001.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.
- CASTRO FILHO, C. et al. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 45-51, 2002.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

<sup>7</sup> O procedimento de secagem das amostras a 40°C permite posteriormente a realização de análises de carbono para as duas sub-amostras fracionadas.

CERDÀ, A. Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. **Catena**, v. 32, n. 2, p. 73-86, 1998.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 203-209, 2002.

DENEF, K.; SIX, J. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. **European Journal of Soil Science**, v. 56, p. 469-479, 2005.

DENEF, K. et al. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, n. 12-13, p. 1599-1611, 2001a.

\_\_\_\_\_. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, p. 2145-2153, 2001b.

\_\_\_\_\_. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 5, p. 1165-1172, 2007.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1997. p. 212.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. Burlington: Academic Press, 2003. p. 73-89.

KASPER, M. et al. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 2, p. 192-199, 2009.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison, WI, 1986. p. 425-442. Part I.

MADARI, B. E. **Fracionamento de agregados: procedimento para uma estimativa compartimentada do seqüestro de carbono no solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 10. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 22).

SÁ, M. A. C. et al. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1825-1834, 2000.

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E. Aggregate stability kit for soil quality assessments. **Catena**, v. 44, n. 1, p. 37-45, 2001.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936.

ZHANG, B.; HORN, R. Mechanisms of aggregate stabilization in Ultisols from subtropical China. **Geoderma**, v. 99, n. 1-2, p. 123-145, 2001.

#### Comunicado Técnico, 57

**Embrapa Solos**  
**Endereço:** Rua Jardim Botânico, 1024 - Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ.  
**Fone:** (21) 2179-4500  
**Fax:** (21) 2274-5291  
**E-mail:** sac@cnps.embrapa.br  
<http://www.cnps.embrapa.br>

**1ª edição**  
 1ª impressão (2010): online

#### Comitê de publicações

**Presidente:** Daniel Vidal Perez  
**Secretária-Executiva:** Jacqueline S. Rezende Mattos  
**Membros:** Ademar Barros da Silva, Cláudia Regina Delaia, Maurício Rizzato Coelho, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Ana Paula Dias Turetta, Fabiano de Carvalho Balieiro, Quitéria Sônia Cordeiro dos Santos.

#### Expediente

**Supervisão editorial:** Jacqueline S. Rezende Mattos  
**Revisão de texto:** Jacqueline S. Rezende Mattos  
**Revisão bibliográfica:** Ricardo Arcaño de Lima  
**Editoração eletrônica:** Jacqueline S. Rezende Mattos