

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Manual de Métodos de Análise de Solo**

**3ª edição revista e ampliada**

*Paulo César Teixeira  
Guilherme Kangussu Donagemma  
Ademir Fontana  
Wenceslau Geraldes Teixeira*  
Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico

CEP: 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ

Fone: + 55 (21) 2179-4500

Fax: + 55 (21) 2179-5291

<https://www.embrapa.br>

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

**Unidade responsável pelo conteúdo e edição**

Embrapa Solos

**Comitê de Publicações da Embrapa Solos**

Presidente: *José Carlos Polidoro*

Secretário-Executivo: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros: *Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de C. de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Enyomara Lourenço Silva, Evaldo de Paiva Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana Sampaio de Araujo, Maria Regina Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Moema de Almeida Batista, Wenceslau Geraldes Teixeira*

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Luciana Sampaio de Araujo*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Capa: *Eduardo Guedes de Godoy*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes e  
Marcos Antônio Nakayama*

**3ª edição**

Publicação digitalizada (2017)

**Todos os direitos reservados.**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Solos

---

Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

573 p. : il. color.

ISBN 978-85-7035-771-7

1. Análise do solo. 2. Física do solo. 3. Química do solo. 4. Matéria orgânica. 5. Mineralogia. I. Teixeira, Paulo César. II. Donagemma, Guilherme Kangussu. III. Fontana, Ademir. IV. Teixeira, Wenceslau Geraldes. V. Embrapa Solos.

CDD 631.40202

## — Capítulo 6 —

# COMPLEXO SORTIVO DO SOLO (Soma de Bases Trocáveis, CTC Efetiva, CTC Total, Percentagem de Saturação por Bases)

Paulo César Teixeira

David Vilas Boas de Campos

Marcelo Francisco Costa Saldanha

Daniel Vidal Pérez

### 6.1 Introdução

Complexo sortivo do solo é o conjunto de partículas trocadoras de íons no solo.

Os cátions são íons carregados positivamente, como o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), o potássio ( $\text{K}^+$ ), o sódio ( $\text{Na}^+$ ), o alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), o ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), o manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) e o cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ). A capacidade do solo para manter esses cátions é chamada de capacidade de troca catiônica (CTC). Esses cátions são mantidos pela argila carregada negativamente e partículas de matéria orgânica no solo por meio de forças eletrostáticas (partículas negativas do solo atraem os cátions positivos). Os cátions na CTC das partículas do solo são facilmente trocáveis com outros cátions e, como resultado, são disponíveis para as plantas. Assim, a CTC de um solo representa a quantidade total de cátions trocáveis que o solo pode adsorver.

## 6.2 VALOR S – Soma de Bases Trocáveis

### 6.2.1 Princípio

Valor S é o somatório dos teores das bases cálcio, magnésio, potássio e sódio, em  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ . Os demais cátions (micronutrientes) podem ser desprezados para o cálculo.

### 6.2.2 Cálculo<sup>7</sup>

$$\text{Valor S} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$$

Em que:

Valor S – soma de bases trocáveis, em  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ .

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  – teor de cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis no solo, respectivamente, em  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ .

### 6.2.3 Observação

Se necessário, os teores de K e Na devem ser transformados de  $\text{mg kg}^{-1}$  para  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , conforme indicado abaixo:

$$\text{K (cmol}_c \text{kg}^{-1}) = \frac{\text{K (mg kg}^{-1})}{390}$$

$$\text{Na (cmol}_c \text{kg}^{-1}) = \frac{\text{Na (mg kg}^{-1})}{230}$$

---

<sup>7</sup> Para análises com fins de avaliação da fertilidade, alguns laboratórios optam por substituir a pesagem do solo pela cachimbada. Nesse caso, a expressão do resultado seria  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ .

## 6.3 CTC Efetiva

### 6.3.1 Princípio

CTC efetiva corresponde à CTC determinada ao pH natural do solo e pode ser estimada somando-se as quantidades trocáveis dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , os quais são normalmente determinados nas análises químicas do solo.

### 6.3.2 Cálculo

$$\text{CTC}_{\text{efetiva}} = \text{Valor S} + \text{Al}^{3+}$$

Em que:

CTC efetiva – capacidade de troca de cátions efetiva, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

Valor S – soma de bases trocáveis, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (item 6.2.2).

$\text{Al}^{3+}$  – concentração de alumínio trocável no solo, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (item 3.1.3.1.5).

## 6.4 VALOR T – CTC Total (Capacidade de Troca de Cátions Total)

### 6.4.1 Princípio

Valor T é o total de cargas negativas que o solo pode adsorver, e é determinado pela soma entre o valor S e a acidez potencial (H + Al).

### 6.4.2 Cálculo<sup>8</sup>

$$\text{Valor T} = \text{Valor S} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$$

Em que:

Valor T – capacidade de troca de cátions total, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

Valor S – soma de bases trocáveis, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (item 6.2.2).

$(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$  – acidez potencial do solo, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (item 4.6).

## 6.5 VALOR V (Percentagem de Saturação por Bases)

### 6.5.1 Princípio

*Valor V ou V%* indica a proporção da CTC do solo que é preenchida pelas bases trocáveis.

### 6.5.2 Cálculo

$$\text{Valor V (\%)} = \frac{100 \times \text{Valor S}}{\text{Valor T}}$$

Em que:

Valor V – percentagem de saturação por bases.

Valor S – soma de bases trocáveis, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (item 6.2.2).

Valor T – capacidade de troca de cátions total, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (item 6.4.2).

---

<sup>8</sup> Para análises com fins de avaliação da fertilidade, alguns laboratórios optam por substituir a pesagem do solo pela cachimbada. Nesse caso, a expressão do resultado seria  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

### 6.5.3 Observação

O Valor V, ou V%, é utilizado para a caracterização de solos eutróficos e distróficos.

## 6.6 Literatura recomendada

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

OLIVEIRA, L. B. de (Coord.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.

RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânicas e mineral em solos. **Bragantia**, v.28, p.85-112, 1969.

RAMOS, F. **Método de análise de solos**. Rio de Janeiro: Instituto de Química Agrícola, 1949. 66 p. (IQA. Boletim, 11).

SETZER, J. As características dos principais tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 1, n. 4, p. 255-359, 1941.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura-EPFS, 1969. 24 p. (Brasil. Ministério da Agricultura-EPFS. Boletim técnico, 7).