

*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 Gerales 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 Gerales. V. Embrapa Solos.

CDD 631.40202

## — Capítulo 10 —

# ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Guilherme Kangussu Donagemma

João Herbert Moreira Viana

Brivaldo Gomes de Almeida

Hugo Alberto Ruiz

Vilson Antônio Klein

Sonia Carmela Falci Dechen

Raphael Bragança Alves Fernandes

### 10.1 Introdução

A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo. Entende-se por partículas individuais os grãos de minerais individualizados, fragmentos de rocha não alterada ou parcialmente alterada (podendo conter mais de um mineral), concreções, nódulos e materiais similares cimentados, conforme definidos pelo Vocabulário de Ciência do Solo (materiais que não podem ser desagregados senão por aplicação de elevada energia, como pancada com martelo). O procedimento operacional visa à ruptura dos agregados do solo e a individualização dessas partículas, por meio de uma combinação de energia mecânica e química, com a formação de uma suspensão estabilizada, e a quantificação após a separação das frações.

## **10.2 Princípio**

Dispersão mecânica e estabilização da amostra por meio de agitador em uma solução dispersante adequada, seguida da separação das frações por peneiramento e sedimentação. Medição das frações separadas por meio de pesagem após secagem em estufa (método padrão) ou da densidade da suspensão.

## **10.3 Material e Equipamentos**

- Béquer de plástico de 250 mL.
- Béquer de 500 mL.
- Béquer de 50 mL.
- Balão volumétrico de 1 L.
- Latas de alumínio com tampa com capacidade de 200 mL.
- Proveta de 50 mL, 100 mL e 250 mL.
- Bastão de vidro.
- Peneira com malha de 2,0 mm.
- Peneira com malha de 0,212 mm.
- Peneira com malha de 0,053 mm.
- Fundo para jogo de peneiras.
- Quarteador.
- Funil.
- Suporte para funil.
- Cilindro de sedimentação de 1 L (Koettgen ou similar).

- Bastão para agitação com uma tampa de borracha contendo vários furos e de diâmetro um pouco menor do que o cilindro ou proveta.
- Termômetro.
- Pipeta graduada de 25 mL.
- Balde de plástico de 25 L.
- Dessecador com sílica gel anidra.
- Densímetro ASTM nº 1 Tipo 152H - com escala Bouyoucos em g L<sup>-1</sup>.
- Agitador rotativo tipo Wagner ou agitador recíprocante.
- Agitador magnético.
- Balança com precisão de 0,01 g e de 0,001 g.
- Estufa com circulação forçada.
- pHmetro.
- Condutivímetro elétrico.

## 10.4 Reagentes e Soluções

- **Álcool etílico.**
- **Solução de hidróxido de sódio 1 mol L<sup>-1</sup>** – dissolver 40 g de NaOH em água destilada ou deionizada e transferir para balão volumétrico de 1 L, completando o volume com água destilada ou deionizada.
- **Solução de hexametáfosfato de sódio tamponada com carbonato de sódio 1 mol L<sup>-1</sup>** – pesar 35,7 g do hexametáfosfato de sódio, dissolver em água contida em balão volumétrico de 1 L, adicionar 7,94 g do carbonato de sódio anidro e completar o volume com água destilada ou deionizada. Homogeneizar.

- **Solução de hexametáfosfato de sódio  $0,038 \text{ mol L}^{-1}$  + hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$**  – pesar 23,25 g do hexametáfosfato de sódio, dissolver em água contida em balão de 1 L, adicionar 3,99 g de hidróxido de sódio e completar o volume com água destilada ou deionizada. Homogeneizar.
- **Solução de ácido clorídrico a 10%** – adicionar 100 mL de HCl concentrado p.a. em balão volumétrico de 1 L previamente preenchido até a metade com água destilada ou deionizada. Completar o volume com água. Homogeneizar.

## 10.5 Procedimento

### 10.5.1 Solos “normais” sem concentrações elevadas de matéria orgânica ou de sais solúveis

#### 10.5.1.1 Dispersão das amostras

- Proceder à medição da umidade residual do solo, para cálculo da correção de umidade (fator f), conforme procedimento descrito no item 3.4.
- Pesar 20,00 g de solo (TFSA).
- Transferir a amostra para a garrafa do agitador, por meio de funil.
- Adicionar 100 mL de água deionizada, lavando-se o funil usado para a transferência da amostra.
- Adicionar 10 mL de solução de hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . O volume final deve ser de aproximadamente 150 mL nas garrafas ou vidros.
- Montar a(s) garrafa(s) no agitador tipo Wagner, após

tampá-la(s) com a rolha de borracha. Apertar a rolha, acionar o agitador e proceder à agitação por 16 horas a 50 rpm. Alternativamente, montar o(s) frasco(s) no agitador horizontal recíprocante, tampá-los e agitar por 16 horas, a 150 ciclos por minuto.

- Decorrido o tempo, desligar o agitador e retirar as garrafas ou frascos de vidro.

#### *10.5.1.1.1 Observações*

O procedimento descrito previamente é para cilindro de sedimentação ou proveta de 1 L. Também é possível trabalhar com 10,00 g de solo em proveta ou cilindro de 500 mL, mantendo-se a relação solo:solução (1:50) para a adequada dispersão.

Para determinados solos, a solução de hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  poderá apresentar problemas na dispersão das argilas, podendo ser substituída por 25 mL de solução de hexametáfosfato de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  tamponada com carbonato de sódio ou 25 mL da solução de hexametáfosfato de sódio  $0,038 \text{ mol L}^{-1}$  + hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ .

Os frascos ou outros recipientes para agitação horizontal recíprocante devem ter aproximadamente as seguintes dimensões: 13,5 cm de comprimento e 7,5 cm de diâmetro.

Na coleta da suspensão via pipeta, utilizar auxiliar de pipetagem, preferencialmente automático. Também é importante o uso de EPIs, em especial de óculos de proteção.

Esse procedimento é adequado para a maioria dos solos, exceto para solos salinos, calcários e orgânicos.

Para solos muito intemperizados, como Latossolos, Nitossolos e Argissolos, Gleissolos e Nossolos quartzarênicos e Neossolos flúvicos, utilizar hidróxido de sódio como dispersante. Caso esses solos apresentem elevados teores de cálcio, magnésio e potássio, utilizar a mistura hexametáfosfato de sódio +

hidróxido de sódio. Para solos salinos, solos sódicos, carbonáticos e solos com argila de atividade alta (2:1), como Luvisolo, Chernossolos e Vertissolos, utilizar hexametáfosfato de sódio como dispersante.

### **10.5.1.2 Separação de areia**

- Montar sobre um funil a peneira de malha 0,053 mm, apoiada em um suporte. Colocar o conjunto funil e peneira sobre a proveta ou cilindro de sedimentação.
- Retirar a garrafa do agitador e transferir a amostra da garrafa para a peneira. Lavar a garrafa e a rolha com água deionizada para transferir todo o conteúdo. Deve-se tomar cuidado para evitar que respingos provoquem perda de material.
- Lavar todo o material retido com água deionizada, sob uma pressão frequente e uniforme de uma coluna de água não maior que 10 kPa, para se obter uma lavagem eficiente e rápida, não deixando ultrapassar o volume final de 1 L no cilindro.
- Completar o volume do cilindro de sedimentação até a marca de 1 L com água deionizada.
- Retirar a areia retida na peneira e transferir para uma lata seca e limpa, previamente tarada e identificada. Eliminar o excesso da água e levar para secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas.
- Retirar a amostra seca da estufa, deixar esfriar em dessecador e pesar em balança semianalítica.

### **10.5.1.3 Determinação de Areia Fina e de Areia Grossa**

- Considerar o valor do peso da areia total (areia grossa + areia fina) (item 10.5.1.2).
- Caso se deseje a separação da areia total em areia grossa e areia fina, transferir a areia total obtida no passo anterior para uma outra peneira de malha 0,212 mm, com o fundo (ou bandeja) já conectado.
- Proceder o peneiramento do material, de forma a separar a areia grossa, que ficará retida na peneira, da areia fina, que será recolhida no fundo ou bandeja.
- Transferir a areia fina que passou pela peneira para a mesma lata que foi usada anteriormente e pesar em balança analítica com precisão de 0,01 g.

### **10.5.1.4 Determinação de Silte e de Argila**

#### **10.5.1.4.1 Método da Pipeta**

- Preparar uma prova controle (todos os reagentes exceto o solo). Adicionar 10 mL da solução de hidróxido de sódio 1 mol L<sup>-1</sup> (ou de outra solução dispersante) à proveta ou cilindro de sedimentação e completar até a marca de 1 L com água deionizada. Proceder a coleta de 25 mL da solução via pipeta. Transferir a alíquota para béquer seco, limpo e previamente tarado. Levar o béquer para secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas.
- Medir a temperatura da suspensão e da prova controle com um termômetro.
- Agitar a suspensão de cada amostra nos cilindros de sedimentação, inclusive da prova controle, utilizando-se do

bastão com a tampa de borracha ou agitador magnético. Lavar o agitador antes de trocar de amostra. Recomenda-se uma agitação vigorosa por 1 minuto, sendo que pode ser feita agitação mecânica, se disponível.

- Pipetar imediatamente 25 mL da suspensão de silte + argila. Transferir para um béquer seco, limpo e previamente tarado e identificado. Levá-lo para secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas.
- Aguardar o tempo de sedimentação da fração silte, conforme a Tabela 1, ou o resultado do cálculo pela equação de Stokes mostrado na Figura 1 com o valor medido de densidade de partícula (item 10.5.1.6), após a agitação da primeira amostra.
- Passado o tempo de sedimentação da fração silte, inserir a pipeta a 5 cm de profundidade e pipetar 25 mL da suspensão de argila. Transferir a alíquota para um béquer seco, limpo e previamente tarado. Levar o béquer para secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas.
- Retirar os béqueres contendo os resíduos dos pipetados secos da estufa, deixar esfriar em dessecador e pesar em balança com precisão de 0,001 g.
- Tratar e dispor dos resíduos gerados conforme o procedimento padrão de tratamento de efluentes e resíduos.

#### 10.5.1.4.2 Método do Densímetro

- Os procedimentos de preparo e dispersão são idênticos ao método da pipeta, com a diferença de se utilizar 50,00 g de amostra, com 250 mL de água e 10 mL de solução de hidróxido de sódio 1 mol L<sup>-1</sup> ou 100 mL de hexametafosfato de sódio tamponada com carbonato de sódio, ou 100 mL de hexametafosfato de sódio 0,038 mol L<sup>-1</sup> + hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup>, conforme os pré-testes e as informações

complementares indicarem. A quantificação das areias também é idêntica.

- Preparar uma prova controle (todos os reagentes exceto o solo). Colocar 10 mL da solução de hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  (ou outra solução dispersante) na proveta ou cilindro de sedimentação e completar até a marca de 1 L com água deionizada.
- Após separação da fração areia de cada amostra (item 10.5.1.2), completar o volume da proveta ou cilindro de sedimentação até a marca de 1 L com água deionizada.
- Agitar a suspensão de cada amostra, inclusive da prova controle, utilizando-se do bastão com a tampa plástica ou de borracha, ou ainda agitador magnético. Lavar o agitador antes de trocar de amostra. Recomenda-se uma agitação vigorosa por 1 minuto.
- Ao finalizar a agitação, introduzir imediata e cuidadosamente o densímetro na suspensão e fazer a leitura da concentração de silte + argila.
- Após uma hora e meia de sedimentação, transferir o volume de suspensão de 5 cm (após o traço de aferição) para copo plástico de 300 mL. Isso pode ser feito por sifonamento, pela torneira do cilindro de sedimentação ou pelo tubo plástico do cilindro de sedimentação.
- Transferir para proveta de 250 mL e agitar. Introduzir o densímetro e efetuar a leitura com aproximação de  $1 \text{ g L}^{-1}$ . Se houver dificuldade de leitura do densímetro, como bolhas geradas durante o processo de agitação, colocar álcool etílico, duas a três gotas, junto à sua haste.
- Proceder à leitura do controle e anotar.

#### 10.5.1.4.2.1 Observações

Esse procedimento foi padronizado para solos de

granulometria média a argilosa. Os solos muito argilosos ou arenosos devem ser analisados pelo método da pipeta.

Para temperaturas diferentes de 22 °C, deve-se fazer a correção nos cálculos conforme Tabela 2 (item 10.5.1.6).

No caso de se utilizar a proveta, deve-se coletar 250 mL da suspensão. Para tanto, deve-se rever a profundidade e o tempo, de acordo com a lei de stokes.

### 10.5.1.5 Cálculos

#### 10.5.1.5.1 Método da Pipeta

##### 10.5.1.5.1.1 Somatório da massa das frações

$$S_m = \left( \frac{m_{af} * f}{m_i} \right) + \left( \frac{(m_{at} - m_{af}) * f}{m_i} \right) + \left( \frac{(m_{sa} - m_{ar}) * f}{m_i * R_v} \right) + \left( \frac{(m_{ar} - m_{br}) * f}{m_i * R_v} \right)$$

Em que:

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g.

$m_{af}$  – massa de areia fina, em g.

$m_{at}$  – massa de areia total, em g.

$m_{sa}$  – massa de silte + argila, seca em estufa, em g.

$m_{ar}$  – massa de argila, seca em estufa, em g.

$m_{br}$  – massa do controle, seca em estufa, em g.

$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$R_v$  – razão do volume pipetado para o volume total da proveta.

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

## 10.5.1.5.1.2 Concentração de areia fina

$$T_{af} = \left( \frac{m_{af} * f}{m_i} \right) \times \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_{af}$  – concentração de areia fina, em  $g\ kg^{-1}$ .

$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$m_{af}$  – massa de areia fina, em g.

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.1.1).

## 10.5.1.5.1.3 Concentração de areia grossa

$$T_{ag} = \left( \frac{(m_{at} - m_{af}) * f}{m_i} \right) \times \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_{ag}$  – concentração de areia grossa, em  $g\ kg^{-1}$ .

$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$m_{at}$  – massa de areia total, em g.

$m_{af}$  – massa de areia fina, em g.

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.1.1).

## 10.5.1.5.1.4 Concentração de silte

$$T_s = \left( \frac{(m_{sa} - m_{ar}) * f}{m_i * R_v} \right) \times \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_s$  – concentração de silte, em g kg<sup>-1</sup>.

$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$m_{sa}$  – massa de silte + argila, seca em estufa, em g.

$m_{ar}$  – massa de argila, seca em estufa, em g.

$R_v$  – razão do volume pipetado para o volume total da proveta.

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.1.1).

## 10.5.1.5.1.5 Concentração de argila

$$T_{arg} = \left( \frac{(m_{ar} - m_{br}) * f}{m_i * R_v} \right) * \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_{arg}$  – concentração de argila, em g kg<sup>-1</sup>.

$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$m_{ar}$  – massa de argila, seca em estufa, em g.

$m_{br}$  – massa do branco, seca em estufa, em g.

$R_v$  – razão do volume pipetado para o volume total da proveta descontado o volume retirado na primeira pipetagem.

f – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

S<sub>m</sub> – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.1.1).

### 10.5.1.5.2 Método do Densímetro

#### 10.5.1.5.2.1 Somatório da massa das frações

$$S_m = \left( \frac{m_{af} * f}{m_i} \right) + \left( \frac{(m_{at} - m_{af}) * f}{m_i} \right) + [(L_{d(s+a)} - L_{d(a)}) * f] + [(L_{d(a)} - L_{d(b)}) * f]$$

Em que:

S<sub>m</sub> – somatório das massas das frações, em g.

m<sub>af</sub> – massa de areia fina, em g.

m<sub>at</sub> – massa de areia total, em g.

m<sub>i</sub> – massa inicial da amostra, em g.

f – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

L<sub>d(s+a)</sub> – leitura do densímetro na suspensão de silte + argila, em g L<sup>-1</sup>.

L<sub>d(a)</sub> – leitura do densímetro na suspensão de argila, em g L<sup>-1</sup>.

L<sub>d(b)</sub> – leitura do densímetro na suspensão do branco, em g L<sup>-1</sup>.

#### 10.5.1.5.2.2 Concentração de areia fina

$$T_{af} = \left( \frac{m_{af} * f}{m_i} \right) * \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_{af}$  – concentração de areia fina, em  $g\ kg^{-1}$ .

$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$m_{af}$  – massa de areia fina, em g.

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.2.1).

#### 10.5.1.5.2.3 Concentração de areia grossa

$$T_{ag} = \left( \frac{(m_{at} - m_{af}) * f}{m_i} \right) * \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_{ag}$  – concentração de areia grossa, em  $g\ kg^{-1}$ .

$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$m_{at}$  – massa de areia total, em g.

$m_{af}$  – massa de areia fina, em g.

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.2.1).

#### 10.5.1.5.2.4 Concentração de silte

$$T_s = [(L_{d(s+a)} - L_{d(a)}) + C_T] * f * \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_s$  – concentração de silte, em  $g\ kg^{-1}$ .

$L_{d(s+a)}$  – leitura do densímetro na suspensão de silte + argila, em  $g\ L^{-1}$ .

$L_{d(a)}$  – leitura do densímetro na suspensão de argila, em  $g\ L^{-1}$ .

$C_T$  – correção da temperatura (Tabela 2).

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.2.1).

#### 10.5.1.5.2.5 Concentração de argila

$$T_{arg} = [(L_{d(a)} - L_{d(b)} + C_T)] * f \times \left( \frac{1.000}{S_m} \right)$$

Em que:

$T_{arg}$  – concentração de argila, em  $g\ kg^{-1}$ .

$L_{d(a)}$  – leitura do densímetro na suspensão de argila, em  $g\ L^{-1}$ .

$L_{d(b)}$  – leitura do densímetro no branco, em  $g\ L^{-1}$ .

$C_T$  – correção da temperatura (Tabela 2).

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g (item 10.5.1.5.2.1).

#### 10.5.1.5.2.6 Relação Silte/argila

Obtida da determinação da análise granulométrica. É utilizada como indicativo do grau de intemperismo do solo e permite também avaliar se há movimentação de argila no perfil.

$$R_{S/A} = \frac{T_S}{T_A}$$

Em que:

$R_{S/A}$  – relação silte/argila.

$T_S$  – concentração de silte, em  $g\ kg^{-1}$  (item 10.5.1.5).

$T_A$  – concentração de argila, em  $g\ kg^{-1}$  (item 10.5.1.5).

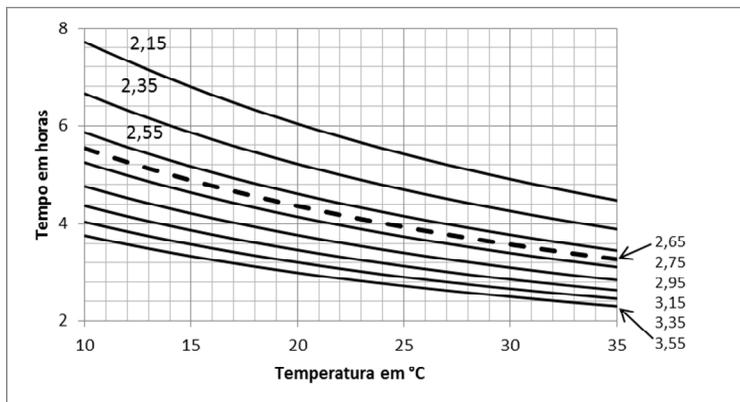
### 10.5.1.6 Anexos

**Tabela 1.** Tempo de sedimentação calculado para a fração silte ( $0,002\ mm < \emptyset < 0,05\ mm$ ) em função da temperatura da suspensão para a profundidade de 5 cm e para solos com densidade de partículas média de  $2,65\ kg\ dm^{-3}$ , em determinação efetuada ao nível do mar.

Temperatura	Tempo de sedimentação a 5 cm	
	H	min
°C		
15	4	23
16	4	16
17	4	10
18	4	4
19	3	58
20	3	52
21	3	46
22	3	41
23	3	36
24	3	31
25	3	26
26	3	21
27	3	17
28	3	13
29	3	9
30	3	5

**Tabela 2.** Correção de temperatura para o método do densímetro.

Temperatura (°C)	Fator de correção
16,0	-1,44
16,5	-1,26
17,0	-1,08
17,5	-0,90
18,0	-0,72
18,5	-0,54
19,0	-0,36
19,5	-0,18
20,0	0,00
20,5	0,18
21,0	0,36
21,5	0,54
22,0	0,72
22,5	0,90
23,0	1,08
23,5	1,26
24,0	1,44
24,5	1,62
25,0	1,80
25,5	1,98
26,0	2,16
26,5	2,34
27,0	2,52
27,5	2,70
28,0	2,88
28,5	3,06
29,0	3,24
29,5	3,42
30,0	3,60



**Figura 1.** Tempo de sedimentação da fração silte ( $0,002 \text{ mm} < \varnothing < 0,05 \text{ mm}$ ) em função da temperatura da suspensão e da densidade de partículas (valores indicados ao lado ou sobre as curvas do gráfico).

### 10.5.2 Solos Carbonáticos

- Colocar 50,00 g de solo em cápsula de porcelana e adicionar solução de ácido clorídrico a 10%, agitando a amostra com bastão de vidro.
- Suspender a adição do ácido quando já não se observar a efervescência. Cobrir com vidro de relógio e deixar em repouso por 12 horas.
- Adicionar mais um pouco do ácido e verificar a ausência de efervescência.
- Transferir a amostra para funil de vidro contendo papel de filtro.
- Lavar a amostra com água até que uma pequena porção do filtrado não apresente reação de cloretos pelo nitrato de prata.
- Colocar o papel de filtro com a amostra numa bandeja para secar ao ar.

- Homogeneizar a amostra (destorroar e passar em peneira com malha de 2 mm) e, em seguida, pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.
- Usar como dispersante 25 mL de solução de hexametáfosfato de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  tamponada com carbonato de sódio, ou 25 mL da solução de hexametáfosfato de sódio  $0,038 \text{ mol L}^{-1}$  + hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ .

### **10.5.3 Solos Carbonáticos e com sais solúveis**

- Proceder da mesma forma indicada para solos calcários, aplicando o tratamento prévio na amostra conforme descrito no item 10.5.2.

### **10.5.4 Solos salinos**

- Proceder da mesma forma indicada para solos “normais” (item 10.5.1), empregando-se o hexametáfosfato de sódio.

#### **10.5.4.1 Observações**

No caso de a quantidade e a natureza dos sais prejudicarem a ação do dispersante, efetuar o tratamento prévio da amostra conforme indicado a seguir:

- Colocar 50 g de solo em funil de vidro contendo papel de filtro e adicionar álcool etílico a 60%, só colocando nova quantidade depois de esgotada a anterior.
- Continuar a lavagem até que uma pequena porção do filtrado não apresente reação de cloretos pelo nitrato de prata.
- Colocar o papel de filtro com a amostra e deixar secar ao ar.
- Homogeneizar a amostra (destorroar e passar em peneira

com malha de 2 mm) e depois pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

### **10.5.5 Solos ricos em matéria orgânica (concentração > 5%)**

Empregar o mesmo método indicado para solos normais, utilizando-se como dispersante solução de hidróxido de sódio. Entretanto, previamente submeter a amostra ao pré-tratamento com peróxido de hidrogênio, conforme descrito a seguir:

- Colocar 50,00 g de solo em cápsula de porcelana, adicionar um pouco de água e porções sucessivas de água oxigenada a 30 volumes (5 a 10 mL).
- Agitar com bastão de vidro e verificar a reação efervescente.
- Suspender a adição da água oxigenada, cobrir a cápsula com vidro de relógio e deixar em repouso durante uma noite.
- Repetir a operação até o total desaparecimento de reação.
- Colocar a cápsula para secar em estufa a 50 °C – 60 °C e depois adicionar uma última quantidade de água oxigenada (5 mL).
- Passar a amostra para funil de vidro contendo papel de filtro e lavar várias vezes com água (três a cinco vezes).
- Secar a amostra ao ar, homogeneizar (destorroar e passar em peneira com malha de 2 mm) e pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

## 10.6 Cálculo

Calcular os valores das frações de acordo com as expressões descritas no item 10.5.1.5, conforme o procedimento (pipeta ou densímetro) utilizado. Calcular o tempo de sedimentação da fração silte, em suspensão aquosa, para uma profundidade de 5 cm, a diversas temperaturas, de acordo com Tabela 1 (item 10.5.1.6).

## 10.7 Observação

O laudo deve conter o dispersante utilizado, o tempo e tipo de agitador usado e o método de quantificação das frações finas. Os resultados podem ser expressos em  $\text{g g}^{-1}$ ,  $\text{g kg}^{-1}$  ou  $\text{dag kg}^{-1}$  (%). No entanto, a expressão em  $\text{dag kg}^{-1}$  é mais adequada, pois o método apresenta precisão e reprodutibilidade reportada na faixa de 5% em peso.

## 10.8 Literatura recomendada

ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W.G.

**Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 11 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 66).

BOYOUCOS, G. J. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. **Soil Science**, v. 23, n. 5, p. 343-354, 1927.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2009. 77 p. (IAC. Boletim técnico, 106).

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89 p.

GAVLAK, R.; HORNECK, D.; MILLER, R. O.; KOTUBY-AMACHER, J. **Soil, plant and water reference methods for the western region**. 2nd ed. Logan: Utah State University, 2003. 199 p.

GEE, G. W.; OR, D. Particle size analysis. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 4: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.

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

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005.

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).

VETTORI, L.; PIERANTONI, H. **Análise granulométrica: novo método para determinar a fração de argila**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura-EPFS, 1968. 8 p. (Brasil. Ministério da Agricultura-EPFS. Boletim técnico, 3).