



SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
**INSTITUTO AGRÔNOMICO**  
**Centro de Solos e Recursos Ambientais**

**MÉTODOS DE ANÁLISE FÍSICA DE SOLOS DO INSTITUTO  
AGRÔNOMICO DE CAMPINAS**  
**BOLETIM TÉCNICO ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**

***Coordenação Geral:***

**Isabella Clerici De Maria**

***Coautoria:***

**Ricardo Marques Coelho**

**Monica Ferreira de Abreu**

**Heitor Cantarella**

***Apoio Técnico***

**Maria Elizabete Alves de Freitas**

**Ruth Fazio Rodrigues**

**Antônio Ribeiro de Souza**

**Campinas**

**Versão II - Maio 2021**

**Texto para o Ensaio de Proficiência IAC para laboratórios de Análise de Solo para Fins  
Agrícolas**

## Sumário

MÉTODO COMPLETO .....	2
1. NOTAS DA PRIMEIRA EDIÇÃO.....	2
2. INTRODUÇÃO .....	2
3. COMPOSIÇÃO DO SOLO .....	3
4. TAMANHO DAS PARTÍCULAS MINERAIS.....	3
5. TEXTURA DO SOLO E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL.....	4
6. AMOSTRAGEM DE SOLO PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	5
7. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	5
8. OUTROS PROCEDIMENTOS .....	16
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
10. REFERÊNCIAS .....	19
ANEXO 1. Equação de Stokes: .....	21
ANEXO 2. Relação entre diferentes expressões de abertura de malha de peneiras: .....	22
MÉTODO SIMPLIFICADO .....	23
1. TAMANHO DAS PARTÍCULAS MINERAIS.....	23
2. TEXTURA DO SOLO E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL.....	23
3. MATERIAL PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	24
4. REAGENTES PARA A ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	25
5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	25
6. REFERÊNCIAS .....	31

### MÉTODO COMPLETO

#### MÉTODOS DE ANÁLISE FÍSICA DE SOLOS DO INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS BOLETIM TÉCNICO ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

##### 1. NOTAS DA PRIMEIRA EDIÇÃO

Este texto substitui o capítulo de Análises Físicas do Boletim Técnico 106<sup>1</sup>, de 1986, do Instituto Agrônomo. Os métodos lá descritos há muito precisavam de uma revisão, o que está sendo feito agora.

Duas versões de procedimentos para análises físicas são apresentadas – uma completa, com mais detalhes, e uma segunda simplificada, direcionada para o uso no dia a dia.

A presente edição foi preparada exclusivamente para o Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise de Solo para Fins de Fertilidade. O texto atende a antiga demanda dos laboratórios participantes do Ensaio de Proficiência para mais detalhes dos métodos e dicas de como resolver problemas com as determinações de granulometria. Os problemas observados por muitos laboratórios, que levam a erros nos resultados, são devidos muitas vezes à falta de uniformização de procedimentos. Espera-se que o presente texto ajude com isso. Como esta edição não é a definitiva, os autores esperam que os responsáveis pelos laboratórios reportem dificuldades, dúvidas e até possíveis erros para que as próximas edições possam ser melhoradas.

##### Os autores

##### 2. INTRODUÇÃO

O Instituto Agrônomo conduz levantamentos de solos há mais de meio século. Sempre houve necessidade de efetuar junto a esses levantamentos um cuidadoso trabalho de laboratório que fornecesse os resultados das propriedades químicas, físicas e mineralógicas que, somados aos de campo, permitissem uma adequada caracterização dos solos. Os métodos usados nessa caracterização, em sua grande maioria, são adaptados daqueles descritos na literatura nacional e internacional. Ao longo dos anos, pequenas alterações foram neles realizadas, visando à melhor adaptação às nossas condições de solo ou de rotina, sem, no entanto, alterar-lhes os princípios (*Camargo et al., 1986*).

O objetivo deste boletim é descrever os métodos de análise granulométrica de solo pelos métodos da pipeta e do densímetro, incluindo os detalhes do procedimento de rotina, as opções adaptadas para as condições de laboratórios de rotina, os cálculos para determinação das frações, a literatura e os resultados de pesquisa sobre a análise.

---

<sup>1</sup> Camargo, O.A.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A. & Valadares, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solo do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (Boletim técnico, 106)

A proporção dos componentes granulométricos do solo em horizontes diagnósticos é utilizada para a classificação dos solos. Esses dados são utilizados também como auxiliar em recomendações de adubação, calagem e gessagem, em caracterização do solo para fins de planejamento de práticas agronômicas, em caracterização do solo em processos para financiamento e seguro rural de atividades agropecuárias. Além disso, são variáveis independentes em diversos modelos de pedotransferência para inferência de outras características e propriedades do solo.

### 3. COMPOSIÇÃO DO SOLO

A fase sólida dos solos é composta por material mineral e material orgânico. No material mineral, resultante da decomposição das rochas, estão minerais primários, como os silicatos, e minerais secundários, como a caulinita, a esmectita e os óxidos de ferro e de alumínio.

O material orgânico contém fragmentos de vegetais e animais não decompostos ou em variados estágios de decomposição e humificação que formam a matéria orgânica do solo (húmus).

Materiais orgânico e mineral do solo, por meio de ligações físico-químicas e ação de organismos, formam agregados. Dentro desses agregados e entre eles estão os poros do solo, de diferentes formas e tamanhos, ocupados pela água ou pelo ar do solo.

### 4. TAMANHO DAS PARTÍCULAS MINERAIS

As partículas individuais minerais são, por definição (*Almeida et al., 2012*), grãos de minerais que só podem ser desagregados por aplicação de elevada energia. Essas partículas apresentam tamanhos diversos e estão relacionadas direta e indiretamente aos atributos físicos e químicos do solo. Por isso, a organização das partículas em classes de tamanho tem diversas aplicações, desde o conhecimento e classificação dos tipos de solos até o estabelecimento de práticas de manejo agrícola e de gestão ambiental.

A separação das partículas minerais individuais em classes de tamanho determina as frações granulométricas do solo (Quadro 1).

Quadro 1. Frações granulométricas dos solos.

Fração/Classe	Tamanho da partícula
Matacão	> 200 mm
Calhau	20 mm - 200 mm
Cascalho	2 mm - 20 mm
Areia	2 mm - 0,053 mm
Silte	0,053 mm - 0,002 mm
Argila	< 0,002 mm

Fonte: *Santos et al. (2013)*

A fração argila é composta predominantemente de minerais secundários, de diferentes formatos, que apresentam plasticidade e pegajosidade. Como essas partículas têm pequeno tamanho, grande superfície específica e cargas na superfície, quando suspensas em água possuem comportamento coloidal e não se depositam facilmente. A fração silte é composta por minerais primários e secundários e, ao tato, apresenta a sensação de talco, conhecida como sedosidade. A fração areia

é composta por partículas arredondadas ou angulares, predominantemente fragmentos de rocha contendo vários minerais ou um só mineral, conferindo ao tato uma sensação áspera. Em laboratório, a fração areia é rotineiramente separada em duas ou cinco frações (Quadros 2 e 3, respectivamente).

Quadro 2: Frações areia grossa e areia fina.

Frações de areia	Tamanho da partícula
Areia Grossa	2,00-0,210 mm
Areia Fina	0,210-0,053 mm

Fonte: Santos et al. (2013)

Quadro 3. Frações areia em solos em cinco classes de tamanho.

Frações de areia	Tamanho da partícula
Areia Muito Grossa	2-1 mm
Areia Grossa	1-0,50 mm
Areia Média	0,50-0,25 mm
Areia Fina	0,25-0,105mm
Areia Muito Fina	0,105-0,053 mm

Fonte: Santos et al. (2013)

### 5. TEXTURA DO SOLO E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL

A textura é a propriedade do solo que expressa a distribuição percentual das partículas minerais. Pode ser avaliada pelo tato, sendo solos de textura mais grossa os que contêm mais areia e solos de textura mais fina os que contêm mais argila.

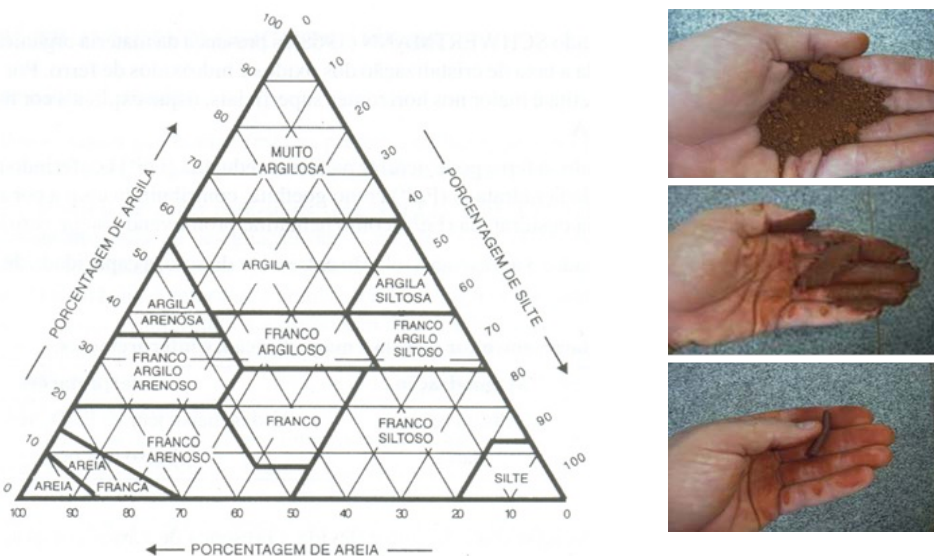


Figura 1. (a) Triângulo para determinação das classes de textura dos horizontes dos solos. Fonte: Santos et al., 2013. (b) Determinação da textura pelo tato.

Para fins de reconhecimento e classificação, os solos e/ou horizontes dos solos são agrupados em classes texturais de acordo com as frações de tamanho das partículas minerais. A determinação da classe textural é feita por meio de triângulos de textura que apresentam, em cada face, as porcentagens de areia, silte e argila. Existem diferentes configurações para a classificação textural (*Medina & Grohmann, 1975; EUA, 1975*). No Brasil adota-se a classificação textural apresentada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (*Santos et al., 2013*) (Figura 1).

### 6. AMOSTRAGEM DE SOLO PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A amostra de solo para a análise granulométrica deve representar uma gleba homogênea na paisagem (cor do solo, vegetação, textura e topografia do terreno). As amostras devem ser retiradas em uma camada determinada previamente de acordo com o objetivo da análise.

Para atender ao levantamento e classificação de solos as amostras devem ser coletadas por horizonte ou nas camadas 0-0,20 e 0,60-0,80 m. Para recomendações de manejo em geral são coletadas amostras nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m. Para atender à tipificação dos solos atualmente adotada no Zoneamento Agrícola de Risco Climático pelo Ministério da Agricultura (INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, de 9 de outubro de 2008), a amostra deve ser coletada na camada de 0 a 0,50 m de profundidade.

Recomenda-se cerca de 15 pontos de coleta em cada gleba para compor uma amostra representativa dessa área.

O solo coletado em cada ponto de uma mesma área de amostragem deve ser destorroado e homogeneizado para retirada de uma amostra composta representativa da área. Cada amostra composta, devidamente etiquetada com identificação da área de amostragem a que pertence, é encaminhada ao laboratório de solos para análise acondicionada em sacos plásticos ou caixas de papelão.

### 7. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O objetivo da análise granulométrica é a determinação da proporção das partículas minerais individuais menores que 2mm em classes de tamanho.

Os princípios da análise granulométrica são: ruptura dos agregados do solo por desagregação mecânica e dispersão química para individualizar as partículas minerais e separação dessas partículas por tamanho por meio de peneiramento e sedimentação em meio aquoso.

O sucesso da análise granulométrica depende, sobretudo, de dois fatores: (a) a preparação da amostra para assegurar perfeita dispersão de todos os seus agregados em partículas individuais, sem quebrá-las, e (b) um fracionamento adequado da amostra e seus separados (*Baver et al., 1972*).

#### 7.1. PREPARO DA AMOSTRA NO LABORATÓRIO

A amostra para a análise granulométrica quando chega ao laboratório é seca a 40°C em estufa com circulação de ar ou seca apenas ao ar. Após a secagem, toda a amostra é passada na peneira com

malha de 2mm de abertura, quebrando-se os agregados manualmente, sem uso de martelos e moinhos.

Distribuir a amostra sobre uma bandeja e destorroar com a mão os torrões existentes. Passar rolo de madeira para desfazer os torrões maiores. Se não for possível destorroar toda a amostra com esse procedimento, colocá-la sobre o tapete de borracha (macio) coberto com uma folha de papel grosso, utilizando o rolo de madeira para desfazer os torrões maiores (Figura 2).



**Figura 2.** Preparo da amostra para análise granulométrica: apoio de borracha, rolo de madeira e peneira 2mm com tampa para agitar a amostra.

Passar a amostra de solo destorroada pela peneira de dimensões de 2"x5" e malha de 2,00 mm de abertura com leves batidas na lateral da peneira. As partículas individuais maiores que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões), que não se desfazem manualmente e ficam retidas na peneira de 2,00 mm, não são utilizadas na análise granulométrica. Essas partículas são pesadas à parte e expressas em porcentagem da amostra original, conforme item 6.2.

A fração que passa pela peneira, portanto menor que 2 mm, é a terra fina seca ao ar (TFSA) que é utilizada na análise granulométrica.

### **7.2. DETERMINAÇÃO DE FRAÇÕES MAIORES QUE 2MM**

Para a determinação do teor de partículas maiores que 2 mm presente no solo (cascalhos, calhaus e matacões - Quadro 1), as partículas individuais que ficaram retidas da peneira de 2mm são transferidas para o conjunto de peneiras montadas na ordem crescente de tamanho de abertura das malhas das peneiras: fundo, 20 mm e 200 mm.

A fração retida em cada peneira é lavada com água e dispersante, colocada para secar em estufa 110°C e pesada. É calculada a proporção dessas frações em relação à massa total inicial da amostra descontada a umidade do solo, ou proporção da terra fina seca em estufa (TFSE).

### 7.3. PRÉ-TRATAMENTOS

O pré-tratamento das amostras tem por finalidade eliminar os agentes cimentantes (p.ex. matéria orgânica), os íons flocculantes (p.ex. carbonatos) e sais solúveis que podem afetar a dispersão (ou ação do dispersante) e estabilização da suspensão do solo.

A necessidade de pré-tratamento pode ser identificada na fase de preparo da amostra, mas muitas vezes é identificada apenas nas etapas de dispersão e preparo da suspensão ou na análise de resultados.

Algumas situações indicam a necessidade de pré-tratamento: informações sobre o local de coleta (p.ex. solos encharcados ou em clima frio), presença de grande quantidade de material orgânico pouco decomposto e cor escurecida da amostra indicando teores de matéria orgânica elevados, agregados maciços ou muito consolidados, volume de amostra acima do usual em relação à massa de 10 ou 20 g, decantação imediata da amostra após a dispersão, presença de grande quantidade de espuma na superfície da suspensão, teores de silte acima do usual, especialmente em amostras escurecidas e da camada superficial do solo.

Se a necessidade de pré-tratamento for identificada, a análise deve ser refeita com o pré-tratamento correspondente.

#### 7.3.1. SOLOS CALCÁRIOS

Colocar 50 g de solo em copo de vidro e adicionar porções de 20 a 30 mL de solução de ácido clorídrico a 10 %, agitando a amostra com bastão de vidro. Aguardar 10 minutos entre as adições. Suspende a adição do ácido quando já não se observar a efervescência, cobrir com vidro de relógio e deixar em repouso uma noite. 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 100 mL de água por três vezes. Colocar o papel de filtro com a amostra numa bandeja para secar ao ar ou em estufa a 40°C. Homogeneizar a amostra e, em seguida, pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

O uso do dispersante hexametáfosfato de sódio é indicado para remover carbonatos. Por isso, o uso desse dispersante é recomendado para solos calcários.

#### 7.3.2. SOLOS SALINOS

Colocar 50 g de solo em funil de vidro contendo papel de filtro e adicionar álcool etílico a 60 % até preencher todo o funil. Adicionar novas quantidades depois de esgotada a adição anterior, sucessivamente, por 3 a 5 vezes. Lavar a amostra com 100 mL de água destilada. Colocar o papel de filtro com a amostra numa bandeja para secar ao ar ou em estufa a 40°C. Homogeneizar a amostra e, em seguida, pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

#### 7.3.3. SOLOS RICOS EM MATÉRIA ORGÂNICA

Colocar 50 g de solo em um copo de vidro e adicionar água destilada até cobrir o solo. Colocar 5 mL de água oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 30 volumes. Agitar com bastão de vidro e verificar a reação efervescente (Figura 3). Por 3 a 5 vezes, a cada hora, repetir a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e agitar. Cobrir a cápsula e deixar



em repouso durante uma noite. Nos dias seguintes, repetir a adição de  $H_2O_2$  até o desaparecimento de reação. Colocar a cápsula para secar em estufa entre  $50^{\circ}C$  e  $60^{\circ}C$ . Após secagem, acrescentar uma última porção de 5 mL de  $H_2O_2$ . Em seguida, colocar água para cobrir a amostra e agitar com bastão de vidro. Passar a amostra por um funil de vidro contendo papel de filtro qualitativo e lavar várias vezes com água destilada (3 a 5 vezes ou até a água sair mais clara). Colocar o papel de filtro com a amostra numa bandeja para secar ao ar ou em estufa a  $40^{\circ}C$ . Homogeneizar a amostra e, em seguida, pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.



**Figura 3.** Adição de água oxigenada e lavagem da amostra de solo.

### 7.4. UMIDADE DA AMOSTRA

Transferir para lata de alumínio entre 4 e 6 g da TFSA preparada nos itens 6.1 ou 6.3. Usando balança semi-analítica, pesar e anotar o peso da amostra úmida ( $M_u$ ). Secar em estufa a  $110^{\circ}C$  por no mínimo 8 horas. Pesquisar e anotar o peso da amostra seca ( $M_s$ ). Calcular umidade da amostra ( $U$ ) e fator de correção ( $F_c$ ), conforme equações 1 e 2.

O valor da umidade da TFSA em geral é de 1 a 3%.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (1)$$

$$F_c = \frac{M_s}{M_u} \quad (2)$$

### 7.5. DISPERSÃO DAS PARTÍCULAS

A dispersão é a mais crítica etapa da análise. Para se obter a dispersão completa das partículas da amostra de solo há necessidade de se combinar métodos mecânicos e químicos.

Os métodos mecânicos mais frequentemente usados são: agitação suave e delongada ou agitação violenta por um período mais curto. O método mais indicado é agitação lenta por 16 horas.

Dentre os compostos químicos mais empregados para dispersar as partículas destacam-se os contendo sódio. A solução dispersante utilizada é uma solução de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio.

### 7.5.1. SOLUÇÃO DISPERSANTE

Solução de hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e hexametáfosfato de sódio  $0,016 \text{ mol L}^{-1}$ . Para o preparo da solução: em balança semi-analítica pesar 4 g de hidróxido de sódio PA e 10 g de hexametáfosfato de sódio PA. Dissolvê-los em 200 mL de água destilada. Agitar e transferir para balão volumétrico de um litro com auxílio de funil. Completar com água destilada e homogeneizar. Identificar o frasco com data de preparo, responsável, data de validade e os elementos da solução.

Sobre uso de outros dispersantes ver item 8.1.

### 7.5.2. AGITADOR E FRASCO PARA DISPERSÃO

Utiliza-se agitação lenta e recíproca, em agitador rotatório de Wagner a 30 rpm por 16 horas, utilizando garrafa de Stohmann de 500 mL (Figura 4).

Sobre uso de outros agitadores e frascos ver item 8.2.

## 7.6. PROCEDIMENTO

Transferir para garrafa de Stohmann 10 g da amostra mais 50 mL de solução dispersante (método da pipeta) ou 20 g de solo mais 100 mL da solução dispersante (método do densímetro). Para adicionar a solução dispersante usar proveta do tipo “bico de papagaio” (Figura 4). Vedar as garrafas com rolhas de borracha e colocá-las para agitação no agitador rotatório de Wagner a 30 rpm, durante dezesseis horas (Figura 4).



**Figura 4.** Dosagem do dispersante e agitador de amostras com garrafas de Stohmann

Observação: Utiliza-se 10 g para o método da pipeta e 20 g para o do densímetro, quando a proveta de 500 mL for usada no preparo da suspensão (item 6.7). Quando for usada proveta de 1 L, a massa de solo deve ser 20 g e 40 g, respectivamente.

### 7.6.1. SEPARAÇÃO DA FRAÇÃO AREIA

Após as 16 horas, transferir a solução para um copo de vidro de 400 mL passando pela peneira com malha de 0,053 mm usando uma pisseta com água destilada para lavar a rolha e a boca da garrafa de Stohmann sobre a peneira de 0,053 mm. Se houver espuma, eliminá-la com álcool 70° usando um borrifador.



**Figura 5.** Separação da fração areia utilizando a peneira de abertura de malha 0,053 mm.

Com auxílio da pisseta lavar o material retido na peneira de 0,053 mm e transferi-lo para outro copo de vidro (Figura 5). Secar a 105-110°C por no mínimo 8 (oito) horas. Deixar esfriar e pesar. O material retido na peneira de 0,053 mm é a massa da fração areia total ( $M_{\text{areia}}$ ).

A areia total pode ser fracionada em duas frações (areia grossa e areia fina - Quadro 2) ou em cinco frações (areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina - Quadro 3).

Para a determinação das duas frações da areia, transferir a areia total seca para a peneira de 0,210 mm, com fundo e tampa. Agitar o conjunto mecanicamente, por cerca de 10 minutos no agitador de peneiras, na amplitude 1 (Figura 6). O conjunto de peneiras também pode ser agitado manualmente por alguns minutos, com leves batidas na lateral do conjunto. Ao término, retirar a tampa do conjunto, limpando-a com o pincel sobre a peneira.

Usando o pincel, transferir o material retido na peneira para recipiente previamente tarado para pesagem, agitando cuidadosamente até observar que não há mais material passando pela peneira. Anotar a massa retida na peneira, zerar a balança e pesar a fração contida no fundo.

Para determinação das cinco frações da areia o procedimento é o mesmo, transferindo a areia total seca para conjunto de peneiras com fundo, montadas na ordem crescente do tamanho de abertura das malhas das peneiras: fundo, 0,106 (ou 0,105 mm, pois ambas têm o mesmo número ABNT 140 e Tyler 150), 0,210, 0,50 e 1,00 mm (Apêndice 2).





**Figura 6.** Agitador para separação das frações de areia e conjunto de peneiras para separação em 5 frações.

### 7.6.2. PREPARO DA SUSPENSÃO

Transferir a solução do solo do copo para a proveta e completar o volume da proveta com água. Utiliza-se para a suspensão uma proveta de 500 mL. Alguns laboratórios utilizam a proveta de 1000 mL.

Preparar uma proveta com suspensão da prova em branco: colocar 50 ou 100 mL do dispersante, para pipeta ou densímetro respectivamente, e completar o volume com água.

Agitar a suspensão por trinta segundos com um bastão contendo na extremidade inferior um êmbolo de borracha com diâmetro um pouco menor que o do cilindro, com movimento da boca para o fundo e vice-versa. Iniciar o tempo de repouso, marcando o tempo zero ( $T_0$ ) do início da sedimentação (Figura 6). Medir a temperatura na proveta da prova em branco.



**Figura 6.** Suspensão com frações silte e argila aguardando o tempo de sedimentação.

### 7.6.3. ARGILA PELO MÉTODO DA PIPETA

O tempo para amostragem das frações argila+silte e da fração argila é determinado pela lei de Stokes (Anexo 1).

Caso o laboratório determine a fração silte, imediatamente após a agitação com o bastão inserir a pipeta no cilindro na profundidade de 10 cm e pipetar 10 mL da suspensão de silte+argila. Fazer uma sucção contínua para evitar turbilhamento. Se a areia não for separada antes do preparo da suspensão, é preciso aguardar o tempo para sedimentação das partículas maiores que 0,053 mm e iniciar a pipetagem logo após o tempo indicado (Quadro 3). Após a coleta da alíquota de argila+silte, a suspensão deve agitada novamente, por 30 segundos e marcando novamente tempo para amostragem da fração argila.

Para a determinação da fração argila, transcorrido o tempo necessário para estabilização da suspensão e sedimentação das partículas maiores que 0,002 mm (Quadro 4), introduzir a pipeta de 10 mL a uma profundidade de 5 cm para coleta da alíquota com a fração argila. Fazer uma sucção contínua para evitar turbilhamento.

Transferir a alíquota para cápsulas de porcelana. Repetir o procedimento com a prova em branco, contendo a solução dispersante e água. Secar a 105-110°C por no mínimo oito horas.



Figura 7. Alíquotas da fração argila e do dispersante para secagem em estufa.

Retirar as cápsulas da estufa, deixar esfriar em dessecador contendo cloreto de cálcio anidro e pesar rapidamente em balança com precisão de 0,0001g, para obter a massa da suspensão argila + silte + dispersante ( $M_{\text{ARG+SILT+D}}$ ), argila + dispersante ( $M_{\text{ARG+D}}$ ) e dispersante ( $M_{\text{D}}$ ).

**Quadro 3.** Tempo de sedimentação de partículas de solo com peso específico de 2,60 g cm<sup>3</sup> e diâmetro maior que 0,053 mm em função da temperatura para coleta da fração silte+argila a 10 cm de profundidade a partir do nível superior da suspensão.

Temperatura, °C	Minutos	Segundos	Temperatura, °C	Minutos	Segundos
10	5	27			
11	5	18	21	4	10
12	5	10	22	4	5
13	5	2	23	4	0
14	4	55	24	3	55
15	4	48	25	3	50
16	4	41	26	5	27
17	4	34	27	5	18
18	4	28	28	5	10
19	4	22	29	5	2
20	4	16	30	4	55

**Quadro 4.** Tempo de sedimentação de partículas de solo com peso específico de 2,60 g cm<sup>3</sup> e diâmetro maior que 0,002 mm em função da temperatura para coleta da fração argila a 5 cm de profundidade a partir do nível superior da suspensão.

Temperatura, °C	Horas	Minutos	Temperatura, °C	Horas	Minutos
10	5	13			
11	5	5	21	3	55
12	4	55	22	3	50
13	4	48	23	3	43
14	4	40	24	3	38
15	4	33	25	3	33
16	4	25	26	3	28
17	4	18	27	3	23
18	4	13	28	3	20
19	4	5	29	3	15
20	4	0	30	3	11

Os resultados são expressos em fração da terra fina seca ao ar, em g kg<sup>-1</sup>.

#### Cálculos

$$ARG = \frac{(M_{ARG+D} - M_D)}{M_{TFSA} * \frac{V_{aliq}}{V_{prov}}} * Fc \quad (4)$$

ARG = Fração argila, g kg<sup>-1</sup>

M<sub>ARG+D</sub> = massa de 10 mL da suspensão de argila + dispersante, g

M<sub>D</sub> = massa de 10 mL da suspensão com dispersante, g

M<sub>TFSA</sub> = massa inicial de terra fina seca ao ar (10g)

V<sub>aliq</sub> = volume da alíquota da suspensão (10 mL)

V<sub>prov</sub> = volume da proveta utilizada (500 mL)

Fc = fator de correção da umidade (Equação 2).

$$SILTE = \left[ \frac{(M_{SILT+ARG+D} - M_D)}{M_{TFSA} * \frac{V_{aliq}}{V_{prov}}} * F_C \right] - ARG \quad (5)$$

SILTE = Fração Silte, g kg<sup>-1</sup>

M<sub>ARG+SILT+D</sub> = massa de 10 mL da suspensão de argila + silte + dispersante

$$AREIA = \frac{M_{areia}}{M_{TFSA}} * F_C \quad (6)$$

AREIA = Fração areia, g kg<sup>-1</sup>

M<sub>areia</sub> = massa de areia seca em estufa, g

Caso a areia seja fracionada em duas ou cinco frações, a areia total será a soma das frações, calculadas pela equação 6.

Se a fração silte não for determinada, é calculada por diferença de acordo com a equação (7).

$$SILTE = 1 - (ARG + AREIA) \quad (7)$$

Se as três frações (Areia, Silte e Argila) forem determinadas, ajustar os valores das frações de acordo com *Ruiz et al. (2005)*.

#### 7.6.4. ARGILA PELO MÉTODO DO DENSÍMETRO

O densímetro utilizado é um Hidrômetro (ASTM Soil hydrometer 152H, -5 a 60g L<sup>-1</sup>), calibrado a 20°C, com leituras correspondentes a 1g L<sup>-1</sup> (*Gee & Or, 2002*)

Após agitar a suspensão por 30 segundos, aguardar mais 30 segundos, introduzir o densímetro e proceder a sua leitura (L<sub>A+S</sub>), equivalente a argila+silte. Agitar novamente a suspensão na proveta por 30 segundos. Para a leitura equivalente à fração argila, aguardar o tempo de sedimentação de quatro horas. Após esse tempo, introduzir o densímetro novamente na suspensão e proceder à leitura da argila (L<sub>arg</sub>). Proceder a leitura da prova em branco (L<sub>d</sub>) e a medida da temperatura da suspensão.

Se houver bolhas que atralhem a leitura do densímetro, borrifar álcool 70°.

#### Cálculos

Na preparação da suspensão são adicionadas 20g de solo em 500 mL, ou 40g em 1000 mL. Com 100% do material em suspensão, o valor da leitura do hidrômetro é 40. Dessa forma, para converter a leitura (em g L<sup>-1</sup>) obtida após o tempo de sedimentação para em g kg<sup>-1</sup> da fração argila, multiplica-se o valor da leitura por 25.

$$ARG = (L_{arg} - L_d \pm F_t) * 25 * F_c \quad (8)$$

ARG = Fração argila, em g kg<sup>-1</sup>

L<sub>arg</sub> = Leitura do densímetro para a fração argila

L<sub>d</sub> = Leitura do densímetro para o dispersante

F<sub>t</sub> = Fator de correção da temperatura (Quadro 5)

F<sub>c</sub> = fator de correção da umidade (Equação 2).

$$SILTE = ((L_{A+S} - L_d \pm F_t) * 25 * F_c) - ARG \quad (9)$$

SILTE = Fração silte, em g kg<sup>-1</sup>

L<sub>A+S</sub> = Leitura do densímetro para a fração argila+silte

Se a fração silte não for determinada, é calculada por diferença de acordo com a equação (7). Quando as três frações (Areia, Silte e Argila) forem determinadas, ajustar os valores das frações de acordo com *Ruiz et al. (2005)*.

**Quadro 5.** Tabela do fator de correção da temperatura. Correção da leitura do densímetro de acordo com a temperatura da suspensão

°C	Fator	°C	Fator
18,0	- 0,72	22,5	+ 0,90
18,5	- 0,54	23,0	+ 1,08
19,0	- 0,36	23,5	+ 1,26
19,5	- 0,18	24,0	+ 1,44
20,0	- 0,00	24,5	+ 1,62
20,5	+ 0,18	25,0	+ 1,80
21,0	+ 0,36	25,5	+ 1,98
21,5	+ 0,54	26,0	+ 2,16
22,0	+ 0,72	26,5	+ 2,34

#### 7.6.5. ARGILA DISPERSA EM ÁGUA E GRAU DE FLOCULAÇÃO

O grau de floculação é um parâmetro que indica quanto da fração argila se encontra floculada naturalmente. A argila dispersa em água permite avaliar o grau de floculação. A argila dispersa em água é mais comumente baixa ou mesmo nula em solos bem intemperizados, como os Latossolos, nos horizontes de subsuperfície, com baixos teores de matéria orgânica.

Dependendo do balanço de cargas das partículas do solo, se negativo ou positivo (dispersas) ou se perto do ponto de carga zero (floculadas), na ausência de eletrólitos as argilas podem estar naturalmente dispersas ou não, num meio aquoso.

Procedimento: pesar 10 g de TFSA e transferir para garrafa de Stohmann com 100 mL de água destilada. Agitar durante dezesseis horas a 30 rpm em agitador rotativo de Wagner. Transferir a suspensão para proveta de 500 mL e completar o volume com água destilada. Determinar o tempo de sedimentação e pipetar 10 mL a uma profundidade de 5 cm. Seguir o procedimento de 7.6.3.



A porcentagem de argila dispersa em água possibilita estimar o grau de floculação e de dispersão de cada amostra, conforme as expressões seguintes:

Grau de floculação =  $100 (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / (\text{argila total})$

Grau de dispersão =  $100 - \text{grau de floculação}$ .

## 8. OUTROS PROCEDIMENTOS

### 8.1. USO DE OUTROS DISPERSANTES

O dispersante utilizado é uma solução com hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio. Há na literatura artigos que indicam o uso de outras soluções dispersantes em função do tipo de solo. Na rotina do laboratório, entretanto, nem sempre é possível saber, antecipadamente, o tipo de solo que será analisado, por isso indica-se a solução de hidróxido de sódio + hexametáfosfato de sódio que apresenta bons resultados para todos os tipos de solo.

*Cunha et al. (2014)* analisando 26 solos do estado de Pernambuco, verificaram que o NaOH foi o dispersante mais efetivo na análise granulométrica. *Almeida et al. (2012)* indicam três soluções dispersantes: solução de hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , ou solução de hexametáfosfato de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  tamponada com carbonato de sódio, solução de hexametáfosfato de sódio  $0,038 \text{ mol L}^{-1}$  + hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . De acordo com *Teixeira et al. (2017)*, Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos e Flúvicos deve ser utilizado como dispersante o NaOH. E, caso esses solos apresentem elevados teores de cálcio, magnésio e potássio, utilizar hexametáfosfato de sódio + hidróxido de sódio. Para solos salinos, solos sódicos, carbonáticos e solos com argila de atividade alta (argilominerais 2:1), como Luvisolos, Chernossolos e Vertissolos, a indicação é utilizar o hexametáfosfato de sódio como dispersante. *Rodrigues et al. (2011)* verificaram que o hexametáfosfato de sódio foi mais eficiente que outros dispersantes em amostras provenientes de horizonte B de solos com predominância de cargas negativas.

A adição de 25 g de areia, com diâmetro entre 1,0 e 0,5 mm, na fase de dispersão (utilizando 10 mL de NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) foi eficiente para promover efetiva dispersão das partículas primárias do solo de solos argilosos com altos teores de óxidos de Fe e com dificuldades de dispersão no trabalho realizado por *Corá et al. (2009)*.

*Oliveira et al. (2002)*, trabalhando com Latossolos muito argilosos, e *Tavares Filho & Magalhães (2008)*, trabalhando com um Latossolo férrico argiloso, utilizaram 30 g de areia grossa ( $>1,00\text{mm}$ ) para obter dispersão mais efetiva. *Rodrigues et al. (2011)* também verificaram que areia grossa como abrasivo aumentou os níveis de argila, mas que a utilização de areia grossa não tem eficácia igual em todas as classes de solo. *Klein (2012)* cita a utilização de esferas de vidro, que são eficientes em curtos períodos de agitação, mas que em tempos mais longos há quebra de partículas de areia, resultando em aumento do teor de silte.

Outros autores citam a necessidade dos pré-tratamentos. *Donagemma et al. (2003)* identificaram a presença de pseudo-silte (microagregados) em amostras com dispersão feita utilizando agitação rápida, a 12.000 rpm, durante 30 min e NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  como dispersante. Os autores recomendam, nesse caso, a utilização de pré-tratamentos para remoção de óxidos de ferro mal cristalizados dos solos muito intemperizados. *Ferreira (2016)* comenta que, além da remoção de

matéria orgânica, carbonatos e sais solúveis, pode ser realizada também a remoção de óxidos de ferro e alumínio. Mas que, embora sejam agentes cimentantes, os óxidos de ferro e alumínio integram a composição mineralógica da fração argila, não justificando sua eliminação. *Souza Neto et al. (2009)* verificaram que HCl 1 mol L<sup>-1</sup> como pré-tratamento antes da adição do dispersante NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> foi eficiente em dispersar a argila presente em amostras de solo com elevado teor de carbonato de cálcio. *Jorge & Lepsch (1982)* e *Tavares Filho & Magalhães (2008)* verificaram maior dispersão das amostras, independente do teor de matéria orgânica, quando se fez o pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30%, resultado oposto ao encontrado por *Miyazawa & Barbosa (2011)*.

### 8.2. USO DE OUTROS AGITADORES

O uso de outros agitadores para a dispersão das amostras tem como principal objetivo aumentar a capacidade de processamento de amostras com custo mais baixo. Estudos realizados sobre diferentes tipos de agitadores variam tipo de movimento, velocidade ou frequência e tempo de agitação, e alguns incluem utilização de abrasivos, em geral areia.

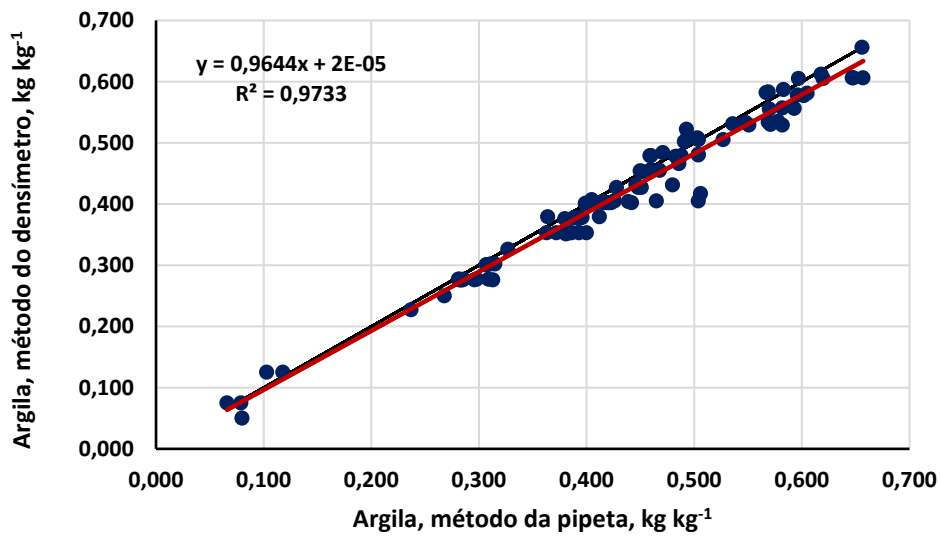
*Tavares Filho & Magalhães (2008)* compararam diversos métodos para dispersão do solo e obtiveram bons resultados com um agitador orbital de mesa com 30 rpm, associado à agitação lenta com por 16 h e usando areia grossa com abrasivo. *Miyazawa & Barbosa (2011)* obtiveram boa dispersão utilizando um agitador com movimento recíprocante, com 180 rpm e adição de areia grossa, partículas entre 0,5 a 1,0 mm, para reduzir o tempo de agitação e recipientes com 47 e 67 mm de diâmetro, sendo a relação entre largura do recipiente e amplitude do agitador de 1,25 a 1,75. *Dourado et al. (2012)* obtiveram desempenho satisfatório da mesa agitadora recíprocante de baixa rotação, 130 rpm por 14-16 h, para dispersão mecânica de 66 amostras de solo de diferentes classes texturais. *Klein (2012)* utiliza recipientes de vidro cilíndricos de 600 mL e agitador com curso de 10cm e frequência de 120 ciclos por minuto, com tempo de agitação de 16 horas. *Oliveira et al. (2002)* utilizaram agitação horizontal com movimento helicoidal por 3 horas com bom resultado, entretanto, observa-se que as amostras ficaram por 12 horas em contato com 10 mL de NaOH 1 M +250 mL de água destilada e que foi adicionada areia grossa antes da agitação. *Rodrigues et al (2009)* avaliaram agitação horizontal com três tempos de agitação e não obtiveram diferença em relação à agitação rápida com coqueteleira.

Os trabalhos de *Vitorino et al. (2001)* e *Oliveira et al (2002)* descrevem o uso de ultrassom para dispersão das amostras e indicam que essa forma de agitação resultou em maiores teores da fração argila em comparação com outros métodos, como o método da coqueteleira por 20 minutos numa rotação de 10.000 rpm. Não foi feita, entretanto a comparação com o método de agitação lenta.

### 8.3. ESCOLHA DO MÉTODO

O método da pipeta é uma determinação direta, por isso considerado como referência e adequado para uma faixa de teores das frações mais ampla que o método do densímetro. Entretanto, no método da pipeta há uma etapa a mais, exigindo a secagem em estufa das alíquotas de argila, resultando em custo mais elevado e, pelo menos, mais um dia para a emissão dos resultados.

Comparação feita entre os dois métodos aplicados nas amostras do ensaio de proficiência pelo mesmo laboratório (Figura 8) indica que os métodos são equivalentes. Entretanto, na análise do desempenho dos laboratórios, verificou-se maior presença de laboratórios que utilizam o método da pipeta entre aqueles com nota A.



**Figura 8.** Valores de argila determinados pelo método da pipeta e pelo método do densímetro no mesmo laboratório em amostras do ensaio de proficiência do IAC.

A rotina e a demanda do laboratório são decisivas na escolha do método:

- a) O método do densímetro é rápido e pode ser usado para análises de rotina. Entretanto, o tempo de espera para a leitura da fração silte e da fração argila e a separação da fração da areia devem ser seguidos com rigor.
- b) O método da pipeta tem maior êxito na análise granulométrica. Entretanto é necessária precisão considerando a profundidade da pipetagem na proveta, constância na sucção das pipetagens e calibração das pipetas.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método mais adequado para a análise granulométrica em laboratórios de rotina é o que utiliza agitação recíproca lenta e hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio como dispersantes. As adaptações feitas nos laboratórios devem seguir a recomendação completa dos métodos adotados. Dessa forma, por exemplo, para redução no tempo de agitação ou modificação na forma de agitação é preciso modificar também os dispersantes utilizados. Qualquer adaptação feita deve ser verificada por comparação com resultados obtidos pelo método padrão e resultados de ensaio de proficiência.

Embora seja possível determinar a fração areia por diferença, esse procedimento não é recomendado. A determinação da fração areia tem menos fatores de erro do que a determinação da fração silte (ou da obtenção da alíquota de argila mais silte), seja pelo método da pipeta, seja pelo método do densímetro.

### 10. REFERÊNCIAS

- 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. (2012). Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 11 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 66).
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. 1986. Métodos de análise química e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico (AC). 94 p. (Boletim técnico, 106)
- CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; BERALDO, J. M. G.; MARCELO, A. V. (2009). Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(2), 255-262.
- CUNHA, J. C., FREIRE, M. B. G. dos S., RUIZ, H. A., FERNANDES, R. B. A.; ALVAREZ V. H. (2014). Comparação de dispersantes químicos na análise granulométrica de solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18 (8), 783-789.
- GEE, G.W.; OR, D. (2002) Particle-Size Analysis. In: Dane, J.H; Topp, G.C (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*. Soil Science Society of America Book Series 5. Madison, WI: Soil Science Society of America. Cap. 2.4. p.255-293
- DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; FONTES, M. P. F.; KER, J. C; SCHAFFER, C. E. G. R. (2003). Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 765-772.
- DOURADO, T. A.; SILVA, L. F. S. da; MARINHO, M. de A. (2012). Performance of a reciprocal shaker in mechanical dispersion of soil samples for particle-size analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (4), p. 1131-1148.
- EUA. (1975). Department of Agriculture. Soil Conservation Service. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Washington, D.C.: Government Printing Office, 5. 754 p. (Agricultural Handbook, 18)
- FERREIRA, M. M. (2010) Caracterização Física do Solo. In: van Lier, Q. (Ed.), *Física do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 1-12.
- GROHMANN, F.; RAIJ, B.van. (1977). Dispersão mecânica e pré-tratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1, 52-53.
- JORGE, J.A.; LEPSCH, I.F. (1982). Matéria orgânica das alíquotas das frações de argila e silte e sua influência na análise granulométrica pelo método da pipeta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17, 1777-1781.
- JORGE, J.A.; PAULA, J.L.; MENK, R.F. (1985). Comparação de dois métodos de análise granulométrica de solos utilizados pelo SNLCS/EMBRAPA e IAC. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 20, 865-871, 1985.
- KLEIN, V.A. (2012). *Física do Solo*. 2 ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo. 240p.
- MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. de C. (2011). Efeitos da agitação mecânica e matéria orgânica na análise granulométrica do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7), 680-685.
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; SÁ, M.A.C.; LIMA, J.M. (2002). Agitador horizontal de movimento helicoidal na dispersão mecânica de amostras de três Latossolos do sul e campos das vertentes de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, 26, 881-887.

RODRIGUES, C.; OLIVEIRA, V. A. de; SILVEIRA, P. M. da; SANTOS, G. G. (2011). Dispersantes químicos e pré-tratamentos na avaliação do teor de argila de solos de diferentes mineralogias. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 1589-1596.

RODRIGUES, W. S.; LACERDA, N. B. de; OLIVEIRA, T. S. de (2009). Análise granulométrica em solos de diferentes classes por agitação horizontal. *Revista Ciência Agronômica*, 40, 474-485.

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

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. (2013). Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. revista e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 100 p.

SOUSA NETO, E. L. DE; FIGUEIREDO, L. H. A.; BEUTLER, A. N. (2009). Dispersão da fração argila de um latossolo sob diferentes sistemas de uso e dispersantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 273-278.

TAVARES-FILHO, J.; MAGALHÃES, F. S. de. (2008). Dispersão de amostras de latossolo vermelho eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4), 1429-1435.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (2017). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa. 573 p.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; CAROLINO DE SÁ, M. A.; LIMA, J. M. (2001). Níveis de energia ultra-sônica na dispersão de argila em solos da região de Lavras (MG). *Ciência e Agrotecnologia*, 25, 1330-1336.

ANEXO 1. Equação de Stokes:

Equação de Stokes:

$$v = \frac{2}{9} * g * r^2 * \frac{(Dp - Dsg)}{\eta}$$

$$t = \frac{9 * \eta * h}{2 * g * r^2 * (Dp - Dsg)}$$

t = s

g = aceleração da gravidade (980,7 cm/s<sup>2</sup>);

r = raio da partícula (0,0053 cm)

Dp = peso específico da partícula (2,60 g cm<sup>-3</sup>);

Dsol = peso específico da suspensão (1,0 g cm<sup>-3</sup>, a 20°C);

η = viscosidade da água à temperatura de 20°C = 0,008007 g cm<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> ou 0,01 poise

h = altura de queda 10 cm

ANEXO 2. Relação entre diferentes expressões de abertura de malha de peneiras:

	ASTM ABNT	TYLER MESH	ABERTURA EM MILÍMETRO	ABERTURA EM POLEGADAS
<b>S</b>	10	10	<b>2.00</b>	0.0787
<b>É</b>	12	12	1.65	0.0661
<b>R</b>	14	14	1.41	0.0555
<b>I</b>	16	16	1.19	0.0469
<b>E</b>	18	18	<b>1.00</b>	0.0394
	20	20	0.84	0.0331
	25	25	0.71	0.0280
<b>F</b>	30	30	0.59	0.0232
<b>I</b>	35	35	<b>0.50</b>	0.0197
<b>N</b>	40	40	0.42	0.0165
<b>A</b>	45	45	0.35	0.0135
	60	60	0.250	0.0092
	70	70	<b>0.210</b>	0.0083
	80	80	0.177	0.0070
	100	100	0.149	0.0059
	120	120	0.125	0.0049
	140	140	<b>0.105</b>	0.0041
	170	170	0.088	0.0035
	200	200	0.074	0.0029
	230	230	0.062	0.0024
	270	270	<b>0.053</b>	0.0021

## MÉTODO SIMPLIFICADO

MÉTODOS DE ANÁLISE FÍSICA DE SOLOS DO INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS  
BOLETIM TÉCNICO ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - SIMPLIFICADO

## 1. TAMANHO DAS PARTÍCULAS MINERAIS

**Quadro 1.** Frações granulométricas dos solos.

Fração/Classe	Tamanho da partícula
Matacão	> 200 mm
Calhau	20 mm-200 mm
Cascalho	2 mm-20 mm
Areia	2 mm-0,053 mm
Silte	0,053 mm-0,002 mm
Argila	< 0,002 mm

Fonte: Santos et al. (2013)

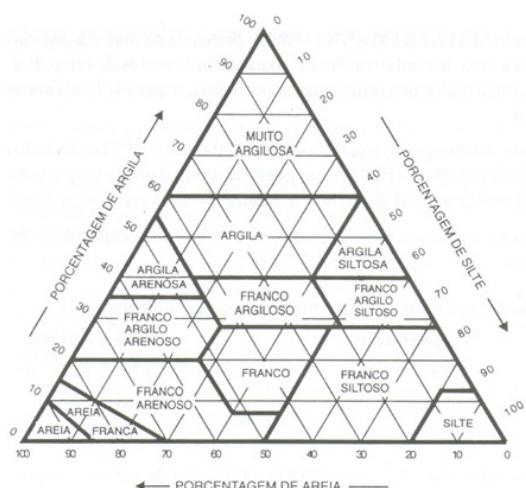
**Quadro 2.** Frações de areia em duas e em cinco classes de tamanho.

Frações de areia	Tamanho da partícula
Duas classes	
Areia Grossa	2,00-0,210 mm
Areia Fina	0,210-0,053 mm
Cinco classes	
Areia Muito Grossa	2-1 mm
Areia Grossa	1-0,50 mm
Areia Média	0,50-0,25 mm
Areia Fina	0,25-0,105mm
Areia Muito Fina	0,105-0,053 mm

Fonte: Santos et al. (2013)

## 2. TEXTURA DO SOLO E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL

Adota-se a classificação textural apresentada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SANTOS et al., 2013) (Figura 1).

**Figura 1.** Triângulo para determinação das classes de textura dos horizontes dos solos.  
Fonte: SANTOS et al., 2013.



### 3. MATERIAL PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

#### **3.1. PARA OS DOIS MÉTODOS:**

- Agitador recíprocante (ou agitador rotatório de Wagner)
- Balança analítica (para pesagem das frações granulométricas)
- Balança semi-analítica (para pesagem do solo na determinação da umidade)
- Balão volumétrico de um litro para preparo do dispersante
- Bandejas plásticas para secagem das amostras ao ar ou bandejas de metal para secagem das amostras em estufa
- Bastão de vidro com êmbolo de borracha, mais longo que a proveta (>35 cm), para agitação da suspensão.
- Copo de vidro de 400 mL, para reter a suspensão durante a separação da fração areia
- Copo plástico, boca larga, capacidade para 300 mL para pesagem das frações de areia
- Cronômetro
- Dessecador
- Estufa com temperatura constante de 110°C para secagem da amostra para determinação da umidade, secagem das frações areia e, no método da pipeta, secagem da fração argila
- Espátula
- Latas de alumínio para determinação da umidade da amostra
- Recipientes de vidro para agitação da amostra (ou Garrafa de Stohmann) de 500 mL
- Tampas para vedação dos recipientes de vidro para agitação (ou rolhas de borracha para fechamento das Garrafa de Stohmann)
- Peneira com 2,00 mm de abertura para separação da TFSA
- Peneiras com dimensões de 2" de altura e 3" de diâmetro e malhas de 0,053, 0,105, 0,106, 0,125, 0,210, 0,500 e 1,000 mm de abertura para separação das frações areia
- Pinça (tenaz para colocar e retirar o material da estufa)
- Pisseta
- Pipetas de 50 ou 100 mL para dosagem do dispersante para método da pipeta e método do densímetro, respectivamente (ou pipeta Kipp - bico de papagaio)
- Proveta de 500 mL, com 5 cm de diâmetro e altura máxima de 35 cm
- Termômetro digital (-50 a 150°C)

### 3.1.1. PARA O MÉTODO DA PIPETA:

- Pipetador automático ou Micropipeta para coletar alíquota de 10 mL
- Cápsula de porcelana: 5 cm de diâmetro e capacidade volumétrica para 60 mL, para receber as alíquotas com a fração argila

### 3.1.2. PARA O MÉTODO DO DENSÍMETRO:

- Hidrômetro (ASTM Soil hydrometer 152H, -5 a 60g L<sup>-1</sup>), calibrado a 20°C, com leituras de 1g L<sup>-1</sup>

### 3.1.3. PARA OS PRÉ-TRATAMENTOS

- Funil de vidro e recipiente de apoio para pré-tratamentos
- Copos de vidro de 300 ou 400 mL para proceder pré-tratamentos

## 4. REAGENTES PARA A ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

- hidróxido de sódio PA (NaOH, 4g L<sup>-1</sup>)
- hexametáfosfato de sódio ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, 10g L<sup>-1</sup>)
- ácido clorídrico a 10% para pré-tratamento
- álcool etílico a 60% para pré-tratamento
- água oxigenada 30 volumes para pré-tratamento

## 5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os princípios da análise granulométrica são: ruptura dos agregados do solo por desagregação mecânica, dispersão química para individualizar as partículas minerais e separação dessas partículas por tamanho por meio de peneiramento e sedimentação em meio aquoso.

### **5.1. PREPARO DA AMOSTRA NO LABORATÓRIO**

A amostra para a análise granulométrica quando chega ao laboratório é seca a 40°C em estufa com circulação de ar ou seca apenas ao ar.

Após a secagem, toda a amostra deve ser passada na peneira com malha de 2mm de abertura, quebrando-se os agregados manualmente, sem uso de martelos e moinhos.

Os grãos maiores que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões), que não se desfazem manualmente, não são utilizados na análise granulométrica.

### **5.2. DETERMINAÇÃO DE FRAÇÕES MAIORES QUE 2MM**

Utiliza-se as peneiras de diâmetros 200 e 20 mm para separar essas frações. A fração retida em cada peneira é lavada com água e dispersante, colocada para secar em estufa 110°C e pesada. É feita a proporção dessas frações em relação à massa seca de solo.

### **5.3. PRÉ-TRATAMENTOS**

O pré-tratamento das amostras tem por finalidade eliminar os agentes cimentantes (p.ex. matéria orgânica), os íons flocculantes (p.ex. carbonatos) e sais solúveis que podem afetar a dispersão (ou ação do dispersante) e estabilização da suspensão do solo.

A necessidade de pré-tratamento pode ser identificada na fase de preparo da amostra, na fase de dispersão e preparo da suspensão ou na análise de resultados.

#### **5.3.1. SOLOS CALCÁRIOS**

Colocar 50 g de solo em cápsula de porcelana e adicionar porções sucessivas (20-30 mL) de solução de ácido clorídrico a 10 %, agitando a amostra com bastão de vidro. Aguardar 10 minutos entre as adições. Suspende a adição do ácido quando já não se observar a efervescência, cobrir com vidro de relógio e deixar em repouso uma noite. Adicionar mais um pouco do ácido e verificar ausência de efervescência. Transferir a amostra para funil de vidro contendo papel de filtro. Lavar a amostra com 100 mL de água por três vezes. Colocar o papel de filtro com a amostra numa bandeja para secar ao ar ou em estufa a 40°C. Homogeneizar a amostra e, em seguida, pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

#### **5.3.2. SOLOS SALINOS**

Colocar 50 g de solo em funil de vidro contendo papel de filtro e adicionar porções de álcool etílico a 60%. Lavar a amostra com 100 mL de água. Colocar o papel de filtro com a amostra numa bandeja para secar ao ar ou em estufa a 40°C. Homogeneizar a amostra e, em seguida, pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

#### **5.3.3. SOLOS RICOS EM MATÉRIA ORGÂNICA**

Colocar 50 g de solo em um copo de vidro, adicionar água destilada até cobrir o solo. Colocar 5 mL de água oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 30 volumes. Agitar com bastão de vidro e verificar a reação efervescente. Por 3 a 5 vezes, a cada hora, repetir a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e agitar. Cobrir a cápsula e deixar em repouso durante uma noite. Nos dias seguintes, repetir a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> até o desaparecimento de reação. Colocar a cápsula para secar em estufa entre 50°C e 60°C. Após secagem, acrescentar uma última porção de 5 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Em seguida colocar água para cobrir a amostra e agitar com bastão de vidro. Passar a amostra por um funil de vidro contendo papel de filtro qualitativo e lavar com 100 mL de água destilada (3 vezes ou até a água sair mais clara). Secar a amostra ao ar ou em estufa a 40°C, homogeneizar e pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

### 5.4. UMIDADE DA AMOSTRA

Transferir para lata de alumínio entre 4 e 6 g da TFSA. Usando balança semi-analítica, pesar e anotar o peso da amostra úmida ( $M_u$ ). Secar em estufa a 110°C por 8 horas. Pesar e anotar o peso da amostra seca ( $M_s$ ). Calcular umidade da amostra ( $U$ ) e fator de correção ( $F_c$ ), conforme equações 1 e 2.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (1)$$

$$F_c = \frac{M_s}{M_u} \quad (2)$$

O valor da umidade da TFSA, em geral, está entre de 1 e 2 %.

### 5.5. DISPERSÃO DAS PARTÍCULAS

#### 5.5.1 SOLUÇÃO DISPERSANTE

Solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup> e hexametáfosfato de sódio 0,016 mol L<sup>-1</sup>. Para o preparo da solução: em balança semi-analítica pesar 4 g de hidróxido de sódio PA e 10 g de hexametáfosfato de sódio PA. Dissolvê-los em 200 mL de água destilada. Agitar e transferir para balão volumétrico de um litro com auxílio de funil. Completar com água destilada e homogeneizar.

#### 5.5.2. AGITADOR E FRASCO PARA DISPERSÃO

Utiliza-se agitação lenta, em agitador rotatório de Wagner a 30 rpm por 16 horas, utilizando garrafa de Stohmann de 500 mL.

### 5.6. PROCEDIMENTO

Transferir para garrafa de Stohmann 10 g da amostra mais 50 mL de solução dispersante (método da pipeta) ou 20 g da amostra mais 100 mL da solução dispersante (método do densímetro). Para adicionar a solução dispersante usar proveta do tipo “bico de papagaio”. Vedar as garrafas com rolhas de borracha e colocá-las para agitação no agitador rotatório de Wagner a 30 rpm, durante dezesseis horas.

Observação: Utiliza-se 10 g da amostra no método da pipeta e 20 g no método do densímetro, quando a proveta de 500 mL for usada no preparo da suspensão. Quando for usada proveta de 1 L, a massa da amostra deve ser 20 g e 40 g, respectivamente.

#### 5.6.1. SEPARAÇÃO DA FRAÇÃO AREIA

Após as 16 horas, transferir a solução para um copo de vidro de 400 mL passando pela peneira com malha de 0,053 mm usando uma pisseta com água destilada para lavar a rolha e a boca da garrafa de Stohmann sobre a peneira de 0,053 mm. Se houver espuma, eliminá-la com álcool 70° usando

um borrifador. Com auxílio da pisseta lavar o material retido na peneira de 0,053 mm e transferi-lo para outro copo de vidro. Secar a 105-110°C por no mínimo 8 (oito) horas. Deixar esfriar e pesar. O material retido na peneira de 0,053 mm é a massa da fração areia total ( $M_{\text{areia}}$ ).

A areia total pode ser fracionada em duas frações (areia grossa e areia fina) ou em cinco frações (areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina) (Quadro 2).

Para a determinação das duas frações da areia, transferir a areia total seca para a peneira de 0,210 mm, com fundo e tampa. Agitar o conjunto mecanicamente, por cerca de 10 minutos no agitador de peneiras ou manualmente por alguns minutos, com leves batidas na lateral do conjunto. Ao término, retirar a tampa do conjunto, limpando-a com o pincel sobre a peneira.

Usando o pincel, transferir o material retido na peneira para recipiente previamente tarado para pesagem, agitando cuidadosamente até observar que não há mais material passando pela peneira. Anotar a massa da fração retida peneira, zerar a balança e pesar a fração contida no fundo.

Para determinação das cinco frações da areia o procedimento é o mesmo, transferindo a areia total seca para conjunto de peneiras com fundo, montadas na ordem crescente do tamanho de abertura das malhas das peneiras: fundo, 0,106 (ou 0,105 mm, pois ambas têm o mesmo número ABNT 140 e Tyler 150), 0,210, 0,50 e 1,00 mm.

### 5.6.2. PREPARO DA SUSPENSÃO

Utiliza-se para a suspensão uma proveta de 500 mL.

Preparar uma proveta com suspensão da prova em branco: colocar 50 ou 100 mL do dispersante, para pipeta ou densímetro respectivamente, e completar o volume com água.

Transferir a solução do solo para a proveta e completar o volume da proveta a 500 mL com água.

Agitar a suspensão por trinta segundos com um bastão contendo na extremidade inferior um êmbolo de borracha com diâmetro um pouco menor que o do cilindro, com movimento da boca para o fundo e vice-versa. Marcar o tempo zero de repouso da suspensão. Medir a temperatura na proveta da prova em branco.

### 5.7. ARGILA PELO MÉTODO DA PIPETA

O tempo para obtenção da fração argila é determinado pela lei de Stokes (Anexo 1) e varia com a temperatura da suspensão. Verifique o tempo para coleta da alíquota da fração argila de acordo com a temperatura inicial (Quadro 3).

Transcorrido o tempo necessário para estabilização da suspensão e sedimentação das partículas maiores que 0,002 mm, introduzir a pipeta a uma profundidade de 5 cm para coleta de 10 mL da suspensão contendo argila. Fazer uma sucção contínua para evitar turbilhonamento.

Transferir a alíquota para uma cápsula de porcelana. Fazer o mesmo procedimento com a prova em branco, contendo a solução dispersante e água. Levar as cápsulas para secar em estufa a 105-110°C por oito horas.

Retirar as cápsulas da estufa, deixar esfriar em dessecador contendo cloreto de cálcio anidro e pesar rapidamente em balança com precisão de 0,0001g, para obter a massa da argila + dispersante ( $M_{ARG+D}$ ) e a massa do dispersante ( $M_D$ ).

**Quadro 3.** Tempo de sedimentação de partículas de solo com peso específico de  $2,60 \text{ g cm}^{-3}$  e diâmetro maior que 0,002 mm em função da temperatura para coleta da fração argila a 5 cm de profundidade da suspensão.

Temperatura, °C	Horas	Minutos
15	4	32
16	4	25
17	4	18
18	4	12
19	4	6
20	4	0
21	3	53
22	3	48
23	3	42
24	3	38
25	3	33
26	3	28
27	3	24
28	3	19
29	3	15
30	3	11

### CÁLCULOS

$$ARG = \frac{(M_{ARG+D} - M_D)}{M_{TFSA} * \frac{V_{aliq}}{V_{prov}}} * Fc \quad (3)$$

ARG = Fração argila,  $\text{g kg}^{-1}$

$M_{ARG+D}$  = massa de 10 mL da suspensão de argila + dispersante, g

$M_D$  = massa de 10 mL da suspensão com dispersante, g

$M_{TFSA}$  = massa inicial de terra fina seca ao ar (10 g)

$V_{aliq}$  = volume da alíquota da suspensão (10 mL)

$V_{prov}$  = volume da proveta utilizada (500 mL)

Fc = fator de correção da umidade (Equação 2).

$$AREIA = \frac{M_{areia}}{M_{TFSA}} * Fc \quad (4)$$

AREIA = Fração areia,  $\text{g kg}^{-1}$

$M_{areia}$  = massa de areia seca em estufa, g

Caso a areia seja fracionada em duas ou cinco frações, a areia total será a soma das frações.

A fração silte é calculada por diferença de acordo com a equação (5).

$$SILTE = 1 - (ARG + AREIA) \quad (5)$$

Obs. Alguns laboratórios utilizam a proveta de 1000 mL. O uso da proveta de 1000 mL modifica a quantidade da amostra inicial e o cálculo da fração argila.

### 5.8. ARGILA PELO MÉTODO DO DENSÍMETRO

O densímetro utilizado é em Hidrômetro (ASTM Soil Hydrometer 152H, -5 a 60g L<sup>-1</sup>), calibrado a 20°C) com leituras correspondentes a 1g L<sup>-1</sup>.

Após agitar a suspensão por trinta segundos, inicie a contagem do tempo para a leitura da fração argila, que é de 4 (quatro) horas.

Decorrido o tempo de repouso da suspensão, introduzir o densímetro e proceder a leitura da argila (L<sub>arg</sub>). Proceder também a leitura da prova em branco (L<sub>d</sub>). Anotar a temperatura.

Se houver bolhas na superfície da suspensão que atrapalhem a leitura do densímetro, borrifar álcool 70°.

#### Cálculos

Na preparação da suspensão são adicionadas 20g de solo em 500 mL, ou 40 g em 1000 mL. Com 100% do material em suspensão, o valor da leitura do hidrômetro é 40. Dessa forma, para converter a leitura (em g L<sup>-1</sup>) obtida após o tempo de sedimentação para em g kg<sup>-1</sup> da fração argila.

$$ARG = (L_{arg} - L_d \pm F_t) * 25 * F_c \quad (6)$$

ARG = Fração argila, g kg<sup>-1</sup>

L<sub>arg</sub> = Leitura do densímetro para a fração argila

L<sub>d</sub> = Leitura do densímetro para o dispersante

F<sub>t</sub> = Fator de correção da temperatura (Quadro 5)

F<sub>c</sub> = fator de correção da umidade (Equação 2).

$$AREIA = \frac{M_{areia}}{M_{TFSA}} * F_c \quad (7)$$

AREIA = Fração areia, g kg<sup>-1</sup>

M<sub>areia</sub> = massa de areia seca em estufa, g

A fração silte é calculada por diferença de acordo com a equação (8).

$$SILTE = 1 - (ARG + AREIA) \quad (8)$$

**Quadro 5.** Tabela do fator de correção da temperatura. Correção da leitura do densímetro de acordo com a temperatura da suspensão.

°C	Fator	°C	Fator
18,0	- 0,72	22,5	+ 0,90
18,5	- 0,54	23,0	+ 1,08
19,0	- 0,36	23,5	+ 1,26
19,5	- 0,18	24,0	+ 1,44
20,0	- 0,00	24,5	+ 1,62
20,5	+ 0,18	25,0	+ 1,80
21,0	+ 0,36	25,5	+ 1,98
21,5	+ 0,54	26,0	+ 2,16
22,0	+ 0,72	26,5	+ 2,34

### 5.9. ARGILA DISPERSA EM ÁGUA E GRAU DE FLOCULAÇÃO

O grau de floculação é um parâmetro que indica quanto da fração argila se encontra floculada naturalmente. Dependendo do balanço de cargas das partículas do solo, se negativo ou positivo (dispersas) ou se perto do ponto de carga zero (floculadas), na ausência de eletrólitos as argilas podem estar naturalmente dispersas ou não num meio aquoso.

Procedimento pelo método da pipeta: pesar 10 g de TFSA e transferir para uma garrafa de Stohmann com 100 mL de água destilada. Agitar durante dezesseis horas a 30 rpm em agitador rotativo de Wagner. Transferir a suspensão para proveta de 500 mL e completar o volume com água destilada. Determinar o tempo de sedimentação e pipetar 10 mL a uma profundidade de 5 cm.

A determinação do grau de floculação e dispersão do solo é determinado as expressões:

Grau de floculação =  $100 \text{ (argila total - argila dispersa em água) / (argila total)}$

Grau de dispersão =  $100 - \text{grau de floculação}$ .

## 6. REFERÊNCIAS

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

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, SP: IAC, 1986. 94 p. (B. técnico, 106)

GROHMANN & RAIJ, B. van. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, 1973. Anais. p. 123-132.



GROHMANN, F.; RAIJ, B.van. (1977). Dispersão mecânica e prétratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1, 52-53.

JORGE, J.A.; LEPSCH, I.F. (1982). Matéria orgânica das alíquotas das frações de argila e silte e sua influência na análise granulométrica pelo método da pipeta. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 17, 1777-1781.

JORGE, J.A.; PAULA, J.L. & MENK, R.F. (1985). Comparação de dois métodos de análise granulométrica de solos utilizados pelo SNLCS/EMBRAPA e IAC. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 20, 865-871, 1985.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. revista e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013, 100 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.) Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.