

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR RAIOS GAMA

Carlos Manoel Pedro Vaz
João de Mendonça Naime
Álvaro Macedo da Silva
Sebastião Mello



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP

Telefone: (016) 274 2477 - Fax: (016) 272 5958

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR RAIOS GAMA

Carlos Manoel Pedro Vaz¹
João de Mendonça Naime²
Álvaro Macedo da Silva³
Sebastião Mello⁴

RESUMO

Através do princípio da atenuação da radiação gama por um dado material, é possível determinar a densidade e a umidade do meio. Além disso, é possível também determinar a distribuição do tamanho de partículas através da atenuação de um feixe radioativo pelas partículas em sedimentação num meio líquido. Baseado neste princípio, foi desenvolvido um equipamento para determinação da distribuição do tamanho de partículas e da textura de solos. Neste trabalho é apresentado o equipamento, automatizado e controlado via computador pessoal, onde o resultado de uma análise completa, em forma de gráfico e arquivo de dados formato texto, pode ser obtido em cerca de 15 minutos. Além de apresentar o equipamento, o objetivo deste boletim de pesquisa é apresentar as recomendações e procedimentos experimentais para utilização da técnica de raios gama em análises granulométricas de solos.

¹Físico, PhD, EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

²Eng. Eletrônico, MSc, EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

³Eng. Eletrotécnico, PhD, EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

⁴Técnico em eletrônica, EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

INTRODUÇÃO

As partículas do solo variam, enormemente, quanto à sua natureza e tamanho. Quanto à sua natureza, são formados por minerais de diversos tipos como quartzo, feldspato, calcita, mica, hematita, gipsita, goetita, caulinita, ilita, montmorilonita, etc. Quanto ao tamanho, exibem uma grande variação, sendo encontrados com diâmetros entre alguns milímetros até menos de 1 micrometro. Segundo a classificação do Departamento de Agricultura dos EUA, elas são divididas em argilas (< 2 m), limo (entre 2 e 50 m) e areia (entre 50 e 2000 m).

A distribuição do tamanho das partículas ou granulometria do solo define a sua textura, que é um importante parâmetro para a caracterização dos solos e portanto para a aplicação adequada de insumos e do seu manejo .

A determinação da granulometria por raios gama foi introduzida por Vaz et al (1992) e modificada por Oliveira et al (1997). Dentre as vantagens desta técnica, comparada com os métodos tradicionais da Pipeta e Densímetro de Bouyoucos (Gee e Bauder, 1986), podem-se destacar:

- não interfere na sedimentação das partículas;
- mede todas as frações (areia, silte e argila) pela sedimentação;
- fornece uma curva completa da distribuição dos tamanhos das partículas;
- realiza uma análise completa em cerca de 15 minutos.

O objetivo deste boletim de pesquisa é de apresentar as recomendações e procedimentos experimentais para utilização da técnica de raios gama em análises granulométricas de solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Princípio de funcionamento do método

O funcionamento do método de raios gama é baseado em 2 princípios básicos, que são:

- 1) A radiação gama é uma onda eletromagnética que, ao penetrar

em um meio material, interage de forma que parte da radiação é absorvida ou espalhada e parte atravessa-o sem sofrer absorção. Através deste princípio, é possível determinar algumas características do material com o qual a radiação está interagindo, como a densidade (e umidade quando tratar-se de um meio poroso) ou concentração (no caso de solutos numa solução). A equação física que rege este fenômeno é conhecida como Lei de Lambert-Beer e que estabelece que a atenuação de um feixe de raios gama, de uma determinada energia, depende da espessura do material, da densidade do meio e do coeficiente de atenuação do material.

2) A velocidade de queda de uma partícula em um meio líquido, estabelecida pela Lei de Stokes, é dependente da viscosidade e da densidade do líquido, do diâmetro e da densidade da partícula e da aceleração da gravidade.

A Figura 1 mostra a foto do equipamento utilizado para determinação da granulometria de solos por atenuação de raios gama, que é composto das seguintes partes:

- Fonte de raios gama do Amerício-241 (energia = 59,5 KeV e atividade = 300 mCi);
- Colimadores em forma de fenda (1 mm de espessura, 15 mm de largura e 20 mm de profundidade);
- Sistema de detecção e contagem da radiação gama, composto de detector de NaI (TI), fonte de alta tensão, pré-amplificador, amplificador, discriminador e contador;
- Sistema eletrônico microprocessado programado para controle do posicionamento da amostra, contagem de fótons, temporização e comunicação, via interface serial padrão RS 232, com computador pessoal;



Figura 1. Foto do equipamento utilizado nas determinações das distribuições dos tamanhos das partículas.

- Programa de computador para ambiente Windows 95™, responsável pela interface homem-máquina, comunicação com sistema eletrônico, execução das rotinas de análise, cálculos, apresentação dos resultados em forma de gráfico e gravação de arquivos de dados e resultados e
- Motor de passo para a movimentação da amostra verticalmente.

A porcentagem (P) de partículas de um dado diâmetro é calculada através de uma modificação da lei de Lambert-Beer para a transmissão de um feixe de raios gama (Vaz et al. 1992 e Oliveira et al, 1997). A equação utilizada é descrita a seguir:

$$C(t, h) = \left[\text{Log}(I_0 / I(t, h)) \cdot 10^3 \right] / \left[x(\mu_p - \mu_a / D_p) \right] \quad (1)$$

onde I_0 é a contagem dos fótons (contagem por segundo-cps) que atravessam o recipiente apenas com o líquido e I a contagem com as partículas sedimentando no líquido em vários instantes e alturas no recipiente, x (cm) é a espessura interna do recipiente, μ_p e μ_a são os coeficientes de atenuação em massa (cm^2/g) para o solo e água respectivamente e D_p (g/cm^3) a densidade das partículas do solo.

O instante (t) e a altura em que a medida de I é feita, correlaciona-se com o diâmetro das partículas (m) através da lei de Stokes:

$$t = 18h\eta / d^2g(D_p - D) \quad (2)$$

onde h (cm) é a altura a partir da superfície da solução, (poise) a viscosidade do líquido, g (cm/s²) a aceleração da gravidade e D_p (g/cm³) a densidade do líquido.

Preparação das amostras e análise

A preparação e dispersão das amostras de solo são realizadas do modo tradicional, isto é, através de uma dispersão química com NaOH e física por agitação rápida. O procedimento experimental de preparo das amostras é apresentado abaixo:

- 1) Pesar 40 g de solo seco em estufa a 105 °C, por 24 h;
- 2) Adicionar 10 ml de NaOH (1N), 100 ml de água destilada, mexer e deixar em repouso por uma noite;
- 3) Agitar as partículas em agitador de alta rotação, por 10 ou 15 minutos, quando o solo possuir alto teor de argila;
- 4) Transferir a amostra dispersa para um recipiente retangular de acrílico (5 x 5 x 20 cm) e completar com água destilada até a altura de 16 cm. Nessas condições, a concentração de partículas na solução será de 100 g/L;
- 5) Em outro recipiente, idêntico ao anterior, deve ser adicionado 10 ml de NaOH (1N) e completado o volume com água destilada até a altura de 16 cm.

O software desenvolvido possibilita a realização de medidas de atenuações da radiação, por intervalos de tempo previamente definidos, em diferentes alturas do recipiente contendo as partículas em sedimentação e em diferentes instantes da sedimentação.

A análise inicia-se com a medida, em várias alturas no recipiente, da atenuação da radiação na amostra contendo água e dispersante. Após esta medida é solicitado, pelo software, a colocação do recipiente contendo as partículas do solo dispersas. Neste instante o usuário deve medir a temperatura da solução e

introduzir o valor obtido no programa via teclado. Posteriormente o usuário realiza a homogeneização das partículas por meio de uma haste com um disco de acrílico na extremidade contendo alguns orifícios e dá início a medida através de um toque na tecla do microcomputador. Como resultado final, obtém-se um gráfico da porcentagem acumulada em função do tamanho das partículas, o qual fornece as porcentagens de argila, silte e areia da amostra de solo.

A Figura 2 mostra a tela do computador durante a análise. Pode-se observar também, na tela, os parâmetros de entrada necessários (coeficiente de atenuação do solo e da água, espessura interna do recipiente, massa do solo e temperatura da solução, dentre outros).

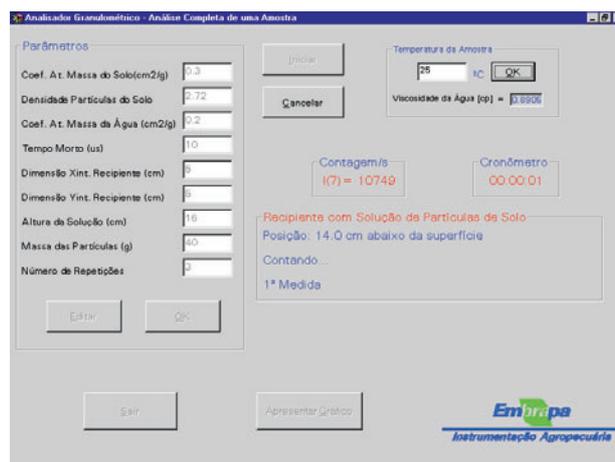


Figura 2. Tela do computador durante a análise granulométrica

Coeficiente de atenuação em massa e densidade das partículas dos solos

A coeficiente de atenuação em massa dos solos, para a energia do Amerício-241, deve ser determinado para todas as amostras a serem analisadas. Para tanto utiliza-se uma sub-rotina

do programa, cuja tela pode ser visualizada na Figura 3. O procedimento de preparo da amostra para determinação do coeficiente de atenuação em massa do solo é o seguinte:

- 1) Secar em estufa cerca de 300 g do solo a ser analisado. Destorroar, passar em peneira de malha de 2 mm e colocar numa bandeja;
- 2) Preencher um recipiente retangular de acrílico (5 x 5 x 8 cm) com o solo seco e reservar um outro recipiente idêntico;
- 3) Pesar o recipiente preenchido com o solo. O peso deste recipiente vazio deve ser também conhecido para poder-se determinar o peso do solo.

O cálculo é feito através da medida da atenuação do feixe de radiação, inicialmente no recipiente vazio (em várias posições) e posteriormente no recipiente com solo. A Tabela 1 apresenta valores típicos de coeficientes de atenuação determinados da forma descrita acima para diversos solos.

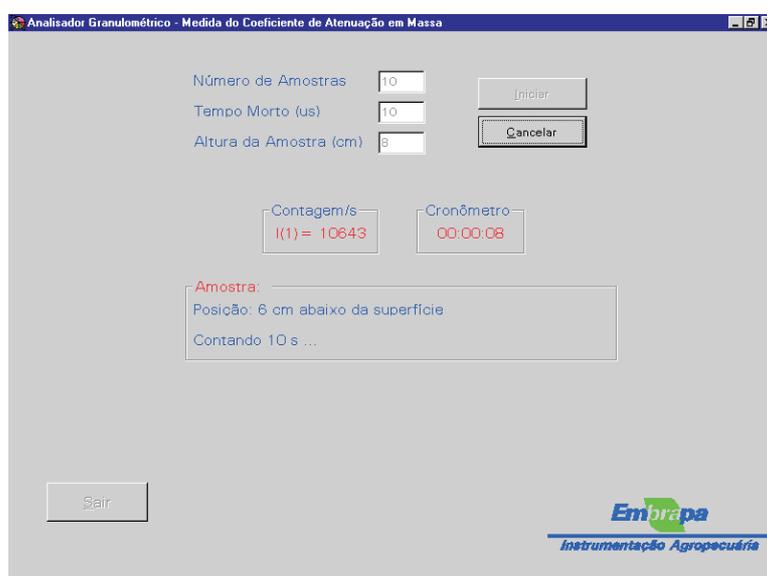


Figura 3. Tela do computador durante a determinação do coeficiente de atenuação em massa.

Tabela 1. Coeficientes de atenuação em massa (μ) de diversos solos.

SOLO	LOCAL	$\mu^{(1)}$ (cm^2/g)	DP
Podzólico Amarelo (0-15 cm)	São João da Barra - RJ	0,263	0,004
Podzólico Amarelo (150-180 cm)	São João da Barra - RJ	0,273	0,001
Podzólico Verm. Amarelo (0-30 cm)	Sta Bárbara d'Oeste -SP	0,284	0,003
Latossolo Roxo Eutrófico (0-30 cm)	Sta Bárbara d'Oeste -SP	0,409	0,004
Latossolo Roxo Distrófico (0-30 cm)	Sta Bárbara d'Oeste -SP	0,391	0,002
Latossolo Verm. Amarelo (0-30 cm)	Sta Bárbara d'Oeste -SP	0,312	0,001
Podzólico Verm. Amarelo (0-30 cm)	Sta Bárbara d'Oeste -SP	0,275	0,002
Terra Roxa Estruturada (0-30 cm)	Sta Bárbara d'Oeste -SP	0,310	0,001
Latossolo Amarelo Álico (0-13 cm)	Garrafão do Norte - PA	0,259	0,001
Latossolo Amar. Álico (130-240 cm)	Garrafão do Norte - PA	0,267	0,002
Latossolo Verm. Amarelo (0-15 cm)	São Carlos - SP	0,285	0,001
Latossolo Verm. Escuro (0-15 cm)	São Carlos - SP	0,363	0,004
Latossolo Verm. Escuro (0-20 cm)	Barretos - SP	0,291	0,002
Solo orgânico Álico (0-32 cm)	Boa Vista - RO	0,251	0,001
Solo orgânico Álico (64-134 cm)	Boa Vista - RO	0,254	0,002

Outro parâmetro importante a ser conhecido para utilização do método da atenuação de raios gama é a densidade das partículas (equações 1 e 2). Tal parâmetro é comumente determinado por picnometria (EMBRAPA, 1997). Da mesma forma que o coeficiente de atenuação, a densidade das partículas depende da composição química e mineralógica das partículas dos solos. A Figura 4 apresenta uma correlação experimental obtida entre esses 2 parâmetros. Observa-se uma proporcionalidade direta entre os mesmos. Esta correlação está inserida no software do equipamento e pode ser utilizada como uma estimativa da densidade das partículas, quando não se tem a determinação experimental do mesmo.

¹ valor médio de 3 repetições. DP = desvio padrão

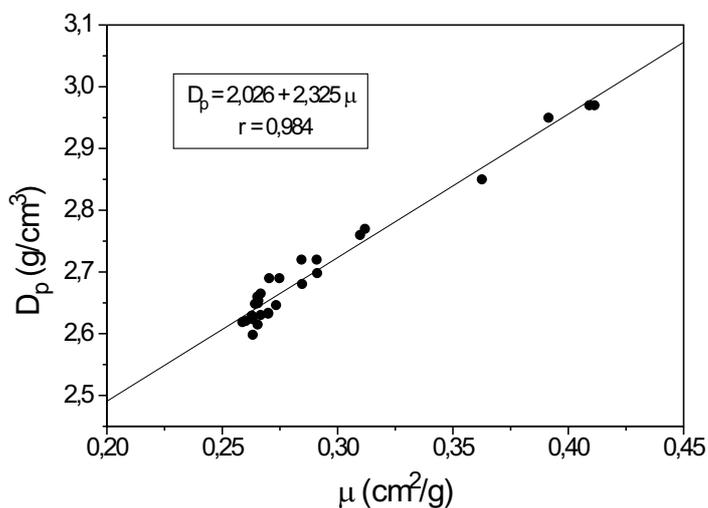


Figura 4. Correlação experimental entre o coeficiente de atenuação e a densidade das partículas de alguns solos.

RESULTADOS

A Figura 5 mostra um exemplo de um resultado final da granulometria de um solo apresentado pelo software de visualização do equipamento. Os dados são apresentados na forma de um gráfico da porcentagem acumulada versus o logaritmo do diâmetro das partículas (curva em azul), juntamente com a sua derivada (curva em vermelho), que evidencia os diâmetros mais freqüentes. A partir deste resultado são calculados os teores de areia, silte e argila, que são visualizados por um gráfico tipo torta.

O método da atenuação da radiação gama foi comparado com o da Pipeta (EMBRAPA, 1997) para um conjunto de 14 amostras de solos de diferentes texturas (arenosa a argilosa). O resultado dessa comparação é apresentado na forma de gráfico na Figura 6. São apresentadas todas as frações conjuntamente. Observa-se uma boa correlação entre os 2 métodos. A Tabela 2 mostra as correlações obtidas para cada fração (areia, silte e argila) individualmente. Observa-se que as melhores correlações

foram obtidas, em ordem decrescente, para as frações de argila, areia e silte.

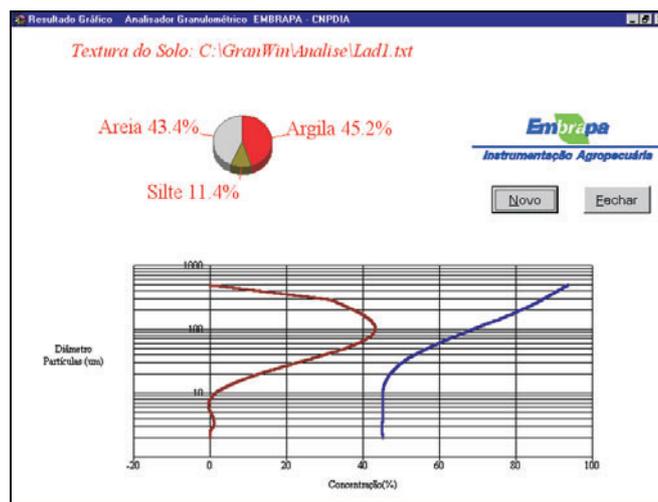


Figura 5. Tela de apresentação dos resultados de granulometria dos solos.

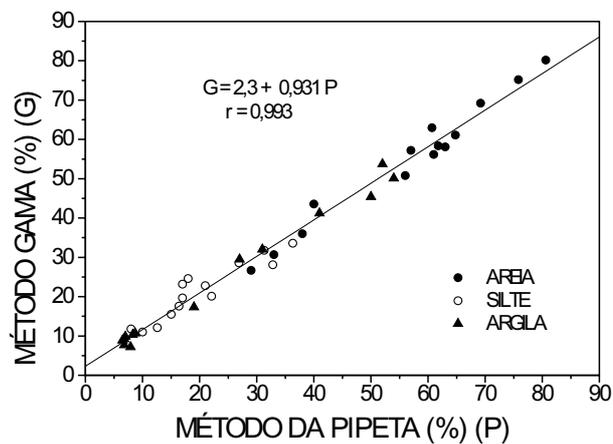


Figura 6. Comparação entre o método de atenuação da radiação gama e da Pipeta.

Tabela 2. Correlações lineares para cada fração e total entre os métodos de atenuação de raios gama e da Pipeta.

	REGRESSÃO LINEAR	COEFICIENTE CORRELAÇÃO
AREIA	$G = -1,36 + 0,994 P$	0,986
ARGILA	$G = 2,28 + 0,924 P$	0,994
SILTE	$G = 5,20 + 0,801 P$	0,935
TOTAL	$G = 2,3 + 0,931 P$	0,993

Outras informações e detalhes sobre a técnica, o equipamento e aplicações podem ser encontradas em Oliveira et al. (1997), Vaz et al. (1997a,b,c), Vaz et al. (1996a,b), Vaz et al. (1995) e Vaz et al. (1992) ou pelo endereço eletrônico vaz@cnpdia.embrapa.br.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EMBRAPA, Manual de Métodos de Análise de Solos, 2ª edição, CNPS-Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle size analysis. In: METHODS of Soil Analysis: part I, 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.383-411. (Agronomy 9).
- OLIVEIRA, J.C.M.; VAZ, C.M.P.; REICHARDT, K.; SWARTZENDRUBER, D. Improved soil particle-size analysis through gamma-ray attenuation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.7, p.23-26, 1997.
- VAZ, C.M.P.; MACEDO, A.; INAMASU, R.Y.; MONTAGNOLI, A.N. Analisador granulométrico de solos por atenuação de raios gama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa-MG, jul. 1995. **Resumos Expandidos ...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.98-100. Ref.136.

- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Análise da textura de solos por atenuação de raios gama. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, 1996, São Carlos-SP. **Anais do I SIAGRO...** São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1997a. p.515-518.
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Determinação da distribuição do tamanho de partículas por atenuação de raios gama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 24 (XXIV ENEMP), Uberlândia-MG, out. 1996. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1997b. v.1, p.35-38.
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Equipamento para a determinação da granulometria de solos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia-SP, ago. 1996. **Solo suelo 96**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996a. 4p. CD-ROM.
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Equipamento para determinação da textura, densidade e umidade de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro-RJ, jul. 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997c. 4p. CD-ROM.
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Analisador granulométrico de solos. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1996b. 5p. (EMBRAPA-CNPDIA, **Comunicado Técnico nº5**).
- VAZ, C.M.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; BACCHI, O.O.S. Soil mechanical analysis through gamma ray attenuation. **Soil Technology**, Cremlingen, v.5, p.319-325, 1992.