

Análise Comparativa entre o Granulômetro a Laser e o Método Convencional de Granulometria por Sedimentação

Talita Gantus de Oliveira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, tgantus@gmail.com

Guilherme da Cruz Mendes

Instituto Geotécnico, Ouro Preto, Brasil, guilherme-cruzmenes@hotmail.com

Eleonardo Lucas Pereira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, eleonardopereira@gmail.com

Lucas Deleon Ferreira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, ldfdeleon@gmail.com

RESUMO: A análise granulométrica – quantificação da distribuição do tamanho das partículas em fase sólida dos solos, e suas respectivas porcentagens – é um aspecto fundamental no estudo dos solos. Para a caracterização granulométrica, os métodos tradicionais utilizados são os ensaios laboratoriais por peneiramento e por sedimentação, preconizados por normas técnicas da ABNT. Porém, tais ensaios apresentam algumas limitações, fragilizando, assim, a confiabilidade dos resultados dos ensaios por sedimentação. Todavia, utiliza-se, também, o granulômetro a laser para a determinação da granulometria do solo, e, apesar da inexistência de procedimentos normativos para esse ensaio, a realização das análises granulométricas ocorre segundo a orientação dos manuais de operação do equipamento. Os dados gerados nesse ensaio são analisados para se calcular a distribuição do tamanho das partículas obtidas a partir do padrão de espalhamento gerado. A comparação de diferentes métodos de preparação de amostras de sedimento para granulometria a laser mostra que os resultados por esse processo são superiores aos métodos tradicionais, em termos de confiabilidade, precisão, reprodutibilidade e rapidez de análise. Entretanto, pouco se encontra sobre técnicas de preparação de amostras para granulometria a laser e sobre as limitações do equipamento. Nesse contexto, são abordados, no presente trabalho, métodos de preparação de diferentes amostras e suas interferências nas classificações granulométricas. Para o estudo, foram selecionadas sete amostras de solos. Após analisados os resultados, percebe-se que os dados gerados pelo equipamento produzem resultados eficazes, visto que este atinge leituras em faixas granulométricas mais estendidas; enquanto o método convencional limita-se até 1 micrômetro, o granulômetro a laser atinge 0,01 micrômetro, fornecendo uma maior segurança nos resultados, a qual se dá, também, pela repetibilidade, visto que ele gera três resultados e a média entre eles a cada amostra ensaiada. Os resultados também demonstraram que, para alguns materiais analisados, as curvas obtidas pela análise realizada no granulômetro aproximam-se mais daquelas construídas pelo método convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Granulometria, Granulometria a laser, Sedimentação.

1 INTRODUÇÃO

Toda campanha de investigação geotécnica em laboratório pressupõe o conhecimento inicial das características do material em análise. Neste sentido, é muito comum a realização da análise granulométrica por meio do método convencional – peneiramento e sedimentação – preconizado segundo a NBR 7181 (ABNT, 1984).

A análise granulométrica – quantificação da distribuição do tamanho das partículas em fase sólida dos solos, e suas respectivas porcentagens – é um aspecto fundamental no estudo dos solos, pois a forma e o tipo de composição mineral podem influenciar nos parâmetros físicos do solo, como: resistência, permeabilidade e densidade do material. Sendo assim, a distribuição do tamanho das partículas é uma característica de grande relevância para aplicação em obras de infraestrutura (Farias *et al.*, 2010).

Porém, a execução de alguns ensaios pelo método convencional apresenta algumas limitações por considerarem que as partículas do solo possuem densidade real similar, além de separarem as partículas em diferentes frações, entendendo-se que não há interação das mesmas durante o processo de sedimentação.

Ainda no que concernem as limitações do método convencional de laboratório, avalia-se que ele utiliza como parâmetro a densidade real dos grãos, que é dada por um valor médio. Sabendo-se que os solos naturais são formados por partículas com diferentes minerais e que, portanto, são diferentes os valores de densidade, pode-se destacar que muitas delas se encaminham para a subdivisão em fragmentos ainda menores, fragilizando a confiabilidade dos resultados dos ensaios por sedimentação, não devendo, então, descrever o tamanho e a velocidade da partícula.

Entretanto, não somente esses ensaios tradicionais podem ser aplicados para a determinação da granulometria do solo; utiliza-se, recentemente, o granulômetro a laser, e, apesar da inexistência de procedimentos normativos para esse ensaio, a realização das análises granulométricas ocorre segundo a orientação dos manuais de operação do equipamento (Malvern Instruments, 2007).

O analisador de tamanho de partícula por difração a laser Mastersizer 2000 (Figura 1) proporciona a obtenção de distribuições rápidas e precisas do tamanho das partículas para dispersões secas e úmidas, ampliando a capacidade de medida dos grãos menores – até 0,0001 mm, em relação ao método convencional – mas restringindo o tamanho máximo dos grãos a aproximadamente 2 mm e, também, a representatividade da amostra (1 a 2 g).



Figura 1. Granulômetro a laser – Mastersizer 2000.

Apesar de já utilizado em algumas pesquisas, a utilização do equipamento não é ainda difundida no meio geotécnico.

Visando uma comparação entre os resultados obtidos pelo método convencional e o granulômetro a laser, o presente trabalho aborda métodos de preparação para diferentes amostras de solos e rejeitos e suas interferências nas classificações granulométricas.

2 METODOLOGIA

2.1 Seleção das Amostras de Solo

Para o estudo, foram selecionadas sete amostras (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Representação das amostras segundo o tipo de material.

Amostra	Tipo de material
A	Solo residual de calco-mica xisto
B	Solo saprolítico
C	Solo laterítico
D	Solo residual de xisto manganífero
E	Rejeito de minério de ferro
F	Solo residual de milonito
G	Solo coluvionar

Tabela 2. Representação das amostras segundo a caracterização granulométrica macroscópica.

Amostra	Caracterização granulométrica macroscópica
A	Granulação fina
B	Granulação média
C	Granulação fina a média com pedregulhos
D	Granulação fina
E	Granulação fina a média
F	Granulação fina a média
G	Fragmentos na fração pedregulho

Em tais amostras – de diferentes tipos de materiais, composições mineralógicas, texturas e granulometrias, desde solos naturais até rejeitos de mineração – a apresentação se faz segundo o tipo de material e a caracterização granulométrica macroscópica, respectivamente.

2.2 Preparação das Amostras de Solo

O hexametáfosfato de sódio é indicado pela norma técnica NBR 7181 (ABNT, 1984) como o defloculante a ser utilizado. Com a função de desagregar grãos maiores, seu uso faz-se necessário para que as partículas tenham uma boa dispersão. Segundo Manso (1999), podem ocorrer resultados de solos mais ou menos argilosos baseados no uso ou não do defloculante. Algumas pesquisas recentes com materiais argilosos também utilizam outros dispersantes como, por exemplo, o carbonato de sódio. Neste trabalho, utilizou-se apenas o hexametáfosfato de sódio como dispersante químico.

As amostras, representadas por material passante na peneira de 2,0 mm, foram preparadas segundo três critérios: 1) 60 a 120 g de amostra imersa por 24 horas em 125 cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio, para ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação; 2) aproximadamente 1 g de amostra para ensaio de granulometria a laser (sem dispersante químico); 3) aproximadamente 1 g de amostra para ensaio de granulometria a laser com a aplicação do sonar por um intervalo de 10 segundos; 4) 60 a 120 g de amostra imersa por 24 horas em 125 cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio, para ensaio de granulometria a laser, fazendo-se o uso de 1 g dessa amostra para o ensaio; 5) 60 a 120 g de amostra imersa por 24 horas em 125 cm³ de

solução de hexametáfosfato de sódio, para ensaio de granulometria a laser com a aplicação do sonar por um intervalo de 10 segundos, fazendo-se o uso de 1,0 g dessa amostra para o ensaio.

Todos os ensaios foram realizados no CTGA-NUGEO – Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas/UFOP.

2.3 Execução dos Ensaios

O ensaio de granulometria convencional por peneiramento e sedimentação tem sua metodologia baseada na norma técnica NBR 7181 (ABNT, 1984). Tem como objetivo a obtenção da curva de distribuição granulométrica de um solo, em termos de porcentagem de toda uma gama de diâmetros dos grãos do material em estudo. Por meio dessa curva, algumas características dos solos podem ser obtidas.

Já o granulômetro a laser age medindo a intensidade da luz espalhada na medida em que um feixe de laser – emitido pelo sonar – interage com as partículas dispersas da amostra. Esses dados são utilizados para o cálculo da distribuição do tamanho das partículas obtidas a partir do padrão de espalhamento gerado. O funcionamento do equipamento é detalhado na Figura 2.

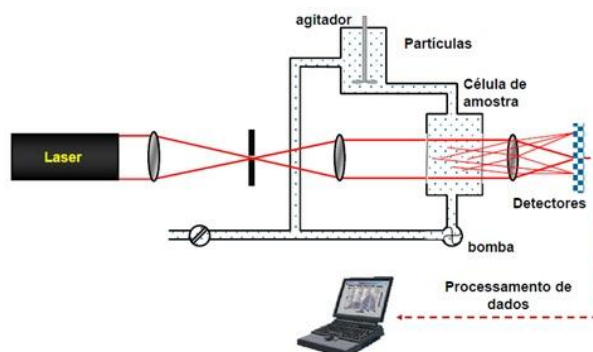


Figura 2. Figura esquemática representando o funcionamento do granulômetro a laser. (modificado de Allen T., 1981).

Segundo Lima *et al.* (2009), o programa do granulômetro determina a quantidade correta da concentração pela medição da quantidade de luz do laser que foi perdida ao passar pela amostra. Tal efeito é conhecido como “obscurcimento”, e é dado em porcentagem. A faixa de

obscurecimento aceitável para o ensaio deve estar contida no intervalo de 10 a 30%. A amostra deve ser acrescentada ao sistema até que se enquadre nesse intervalo, tudo monitorado por *software* específico. Nos ensaios realizados, 1 g de amostra foi o suficiente para atingir essa faixa de “obscurecimento”.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos gráficos representados abaixo, nas Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9, encontram-se as curvas granulométricas obtidas como resultados dos ensaios das amostras A, B, C, D, E, F e G, respectivamente. Nesses gráficos, apresentam-se as curvas do método convencional e do granulômetro a laser. Como especificado anteriormente, para todas as amostras do ensaio de peneiramento e sedimentação utilizou-se o hexametáfosfato de sódio dispersante químico.

Os ensaios realizados com a utilização do granulômetro a laser foram executadas com e sem o uso de defloculante e com e sem a aplicação do sonar.

As análises dos resultados (Figuras 3 a 9) demonstraram que as amostras sem nenhum tipo de pré-tratamento, defloculante ou sonar, ensaiadas pelo método do granulômetro a laser, distanciam-se dos valores granulométricos esperados para uma amostra de granulometria predominantemente fina, como pode ser observado analisando-se as curvas vermelhas. O comportamento está associado a uma falsa análise do diâmetro de grãos agregados. Desta forma, observa-se como fundamental o uso de métodos de desagregação de grãos, seja ele físico ou químico.

Em contrapartida, as amostras que tiveram seus grãos dispersos com defloculante e sonar apontaram valores bem mais altos de grãos na fração argila, distanciando-se, por esse motivo, da granulometria real, como pode ser observado analisando-se as curvas amarelas. Tal fato é corroborado por Sperazza *et al.* (2004), onde foi verificado em algumas amostras que a utilização do sonar pode resultar na quebra de partículas.

Verifica-se que o sonar agiu desagregando partículas maiores, gerando resultados com uma maior concentração de grãos finos, como pode ser observado comparando-se as curvas azul

claro e vermelho. Entretanto, esse fato foi observado apenas quando a amostra não foi tratada previamente com essa solução.

A afirmação é refutada ao analisar-se os resultados das amostras sob a ação do hexametáfosfato de sódio, representados pelas curvas amarela e verde, com e sem a aplicação do sonar, respectivamente; observa-se que elas mantiveram uma dispersão muito próxima na maioria das amostras, mostrando que principalmente para os solos naturais, a dispersão química é predominante.

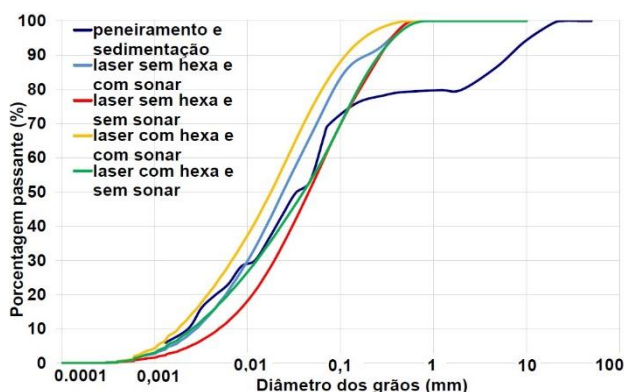


Figura 3. Curvas granulométricas da amostra A – solo residual de calco-mica xisto.

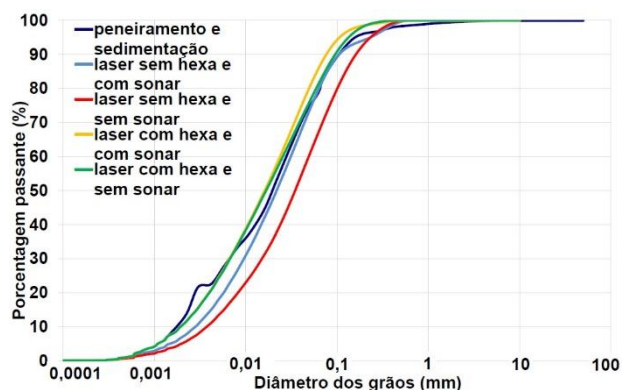


Figura 4. Curvas granulométricas da amostra B – solo saprolítico.

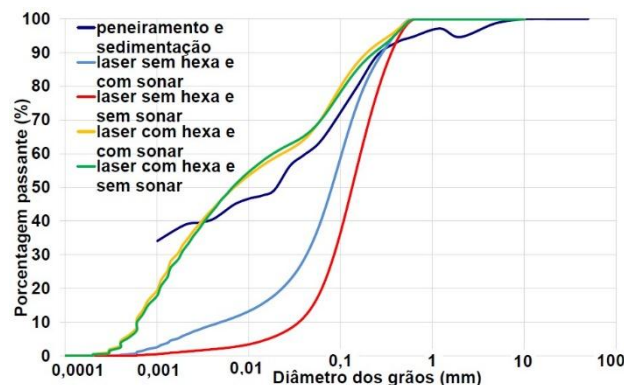


Figura 5. Curvas granulométricas da amostra C – solo laterítico.

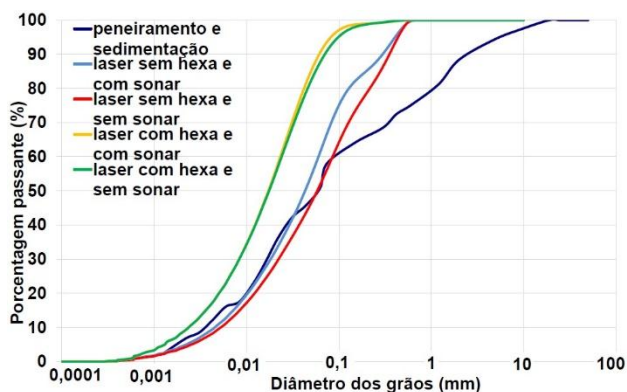


Figura 6. Curvas granulométricas da amostra D – solo residual de xisto manganífero.

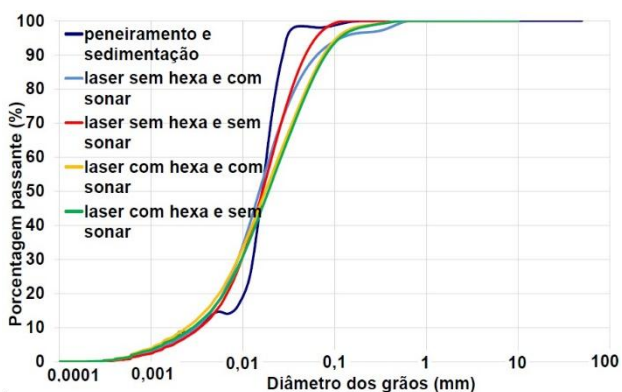


Figura 7. Curvas granulométricas da amostra E – rejeito de minério de ferro.

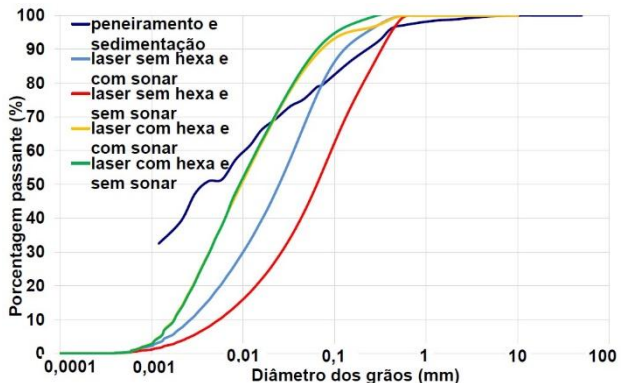


Figura 8. Curvas granulométricas da amostra F – solo residual de milonito.

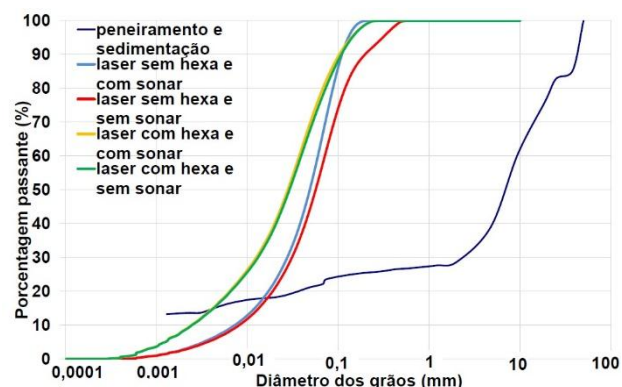


Figura 9. Curvas granulométricas da amostra G – solo coluvionar.

Desse modo, apesar do sonar agir de maneira similar ao defloculante, não é indicada sua substituição.

De todos os materiais analisados, o que apresentou menor dispersão foi o rejeito de minério de ferro. Isso pode ser explicado pelo fato do rejeito ser um material “artificial”. A sua fração mais fina é granular, formada principalmente pelas partículas de ferro, não apresentando as propriedades de um material argiloso.

Por outro lado, a amostra que apresentou a maior discrepância foi o solo coluvionar, quando comparados o método convencional e o granulômetro a laser. Neste solo, percebe-se que, durante o processo de sedimentação, as amostras apresentaram grãos bem maiores que a dimensão real. Provavelmente, durante a queda das partículas, o hexametáfosfato de sódio agiu de maneira inversa, aglutinando os grãos.

Destaca-se que pH do meio é de grande importância na dispersão de argilas que apresentam cargas dependentes de pH. A repulsão das partículas será maior para valores de pH elevados e superiores ao ponto de carga zero (PCZ) do solo.

O solo em questão, que possui textura areno-argilosa, extremamente laterizado, de cor vermelha e com pedregulhos finos de óxido de manganês, pode apresentar PCZ elevado, dificultando a dispersão das partículas. Neste caso, recomenda-se avaliá-lo também sob outra solução defloculante.

4 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostraram similaridade entre o método convencional e o granulômetro a laser, apresentando-se, esse último, como um método satisfatório para a análise granulométrica para a maioria das amostras.

Entretanto, alguns cuidados devem ser observados, como em relação à aplicação do sonar, onde observou-se que, apesar de atuar num processo mecânico de destruição das agregações – agindo de maneira similar ao defloculante – e de ter apresentado ótima eficiência no processo, a similaridade foi refutada quando analisados os resultados para os

ensaios em que as amostras estiverem sob a ação do defloculante. Ou seja, apesar de serem propostas bibliografias que atentem para a substituição do defloculante pelo laser, dependendo das propriedades no material fino, não é indicada sua substituição. Segundo Ribeiro (2014), para as partículas com dimensões menores, tal fato pode ser justificado pela ligação de união, a qual não deve ser apenas de natureza cimentícia, mas também de natureza eletroquímica ou eletrônica.

Os resultados por fracionamento a laser são satisfatórios quando comparados aos métodos convencionais, em termos de confiabilidade, precisão, reprodutibilidade e rapidez de análise. Konert & Vandenberghe (1997) também destacaram a efetividade do método, pelo fato deste atingir leituras em faixas granulométricas mais estendidas, fornecendo uma maior segurança nos resultados, a qual se dá, também, pela repetibilidade, já que este método gera três resultados e a média entre eles a cada amostra ensaiada. Além disso, o tempo de realização do ensaio pelo método convencional se estende por 24 horas, enquanto pelo método do granulômetro a laser o ensaio é realizado em cerca de 10 minutos.

REFERÊNCIAS

- Allen, T. (1981). *Particle Size Measurement*, v. 1. Powder Sampling and Particle Size Measurement (ed. Chapman, 1997).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1995). NBR 6502: Rochas e Solos. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). NBR 7181: Grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.
- Farias, W. M.; Rolim, J. A.; Carvalho, J. C.; Boaventura, G. R. & Neto, P. M. S. (2010). *Proposição de Metodologia para Granulômetro a Laser em Solos Tropicais*. In: Cobramseg, RS. 6 p.
- Konert, M.; Vandenberghe, J. 1997. Comparison of Layer Grain Size Analysis with Pipette and Sieve Analysis: a Solution for the Underestimation of the Clay Fraction. *Sedimentology*, 44, 523-535.
- Lima, M. C.; Souza, N. M.; Carvalho, J. C. & Santos, P. M. N. (2009). *Obtenção da Curva Granulométrica Utilizando o Granulômetro a Laser*. In: Cobramseg, SP. 1: 457-465.
- Malvern Instruments. Disponível em: http://www.malvern.com/en/technology/images/masterizer_submic. Acesso em: Julho. 2015.
- Manso, E. (1999). *Análise Granulométrica dos solos de Brasília pelo Granulômetro a Laser*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. UnB. Brasília. 113 p.
- Ribeiro, I. (2014). *Análise Granulométrica de Solos Tropicais com Granulômetro a Laser*. Monografia de Conclusão de Curso. ENC/UEG. 59 p.
- Sperazza, M.; Moore, J. N.; Hendrix, M.S. 2004. High Resolution Particle Size Analysis of Naturally Occurring Fine-grained Sediment through Laser Diffractometry. *Journal of Sedimentary Research*, v. 74, n. 5, p. 736-743.