

# A análise mecânica das terras pelo método do areómetro

PELO

PROF. J. V. BOTELHO DA COSTA, Ph. D.

e pelo aluno FRANCISCO TEIXEIRA BOAVENTURA

Do Instituto Superior de Agronomia

Com excepção do método foto-eléctrico de Richardson (4), que se encontra ainda na fase experimental, o método do areómetro, devido a Bouyoucos (2), é o menos trabalhoso de todos os métodos a que se pode recorrer para a análise mecânica das terras. Sucede porém que a técnica recomendada por este investigador não permite obter resultados suficientemente exactos\*.

Numa conferência realizada na Sociedade das Ciências Agronómicas (1) referiu-se o primeiro autor a um estudo que se estava realizando no Laboratório de Física Agrícola do Instituto Superior de Agronomia, com o fim de conseguir um sistema que permitisse obter, recorrendo ao areómetro, resultados suficientemente rigorosos. Esse estudo foi de-facto conduzido a bom termo pelos dois autores que foram porém antecipados pelos investigadores\*\* do Bureau of Public Roads dos E. U. A. (3). Por isso o presente trabalho tem apenas carácter de divulgação, sem quaisquer pretensões de prioridade. Os dados experimentais em que se baseia, a especificação do grau de rigor obtível, bem como a indicação de certos pormenores de técnica, farão parte do Relatório Final de Curso que o segundo autor está elaborando.

---

\* O método de Bouyoucos difere dos outros métodos de análise mecânica em dois aspectos: *a*) processo de dispersão; *b*) sistema seguido para a determinação dos lotes. No presente trabalho discute-se apenas este segundo aspecto.

\*\* Dr. Arthur Casagrande, Professor Glennon Gilboy, Dr. Leo Casagrande e Dr. L. Jürgenson.

A técnica mais recente recomendada por Bouyoucos é a seguinte:

« Submetem-se à dispersão 50 gramas (solos de textura fina) ou 100 gramas (solos arenosos) de « terra fina », lançando-se depois na proveta especial. Usando 50 gramas, junta-se água destilada até à marca inferior da proveta, com o areómetro mergulhado; usando 100 gramas, enche-se a proveta até à marca superior, também com o areómetro mergulhado. Retira-se o areómetro e agita-se a proveta tal como se procede no método da pipeta.

« Coloca-se a proveta rapidamente sobre uma mesa e toma-se nota da hora (ou põe-se um cronómetro a trabalhar).

« O areómetro introduz-se cuidadosamente na suspensão um pouco antes do tempo correspondente a cada leitura, feita a qual se retira o areómetro e se limpa. Determina-se a temperatura da suspensão no momento da leitura.

« Por cada 1° acima de 67° F junta-se 0,2 à leitura feita, subtraindo-se o mesmo valor por cada 1° F abaixo de 67° F.

« Para obter as percentagens de partículas de diâmetro compreendido entre 1,0 e 0,05 mm. (« combined sand »); 0,05 e 0,005 mm. (« silt »); 0,005 e 0,002 mm. (« clay »); 0,002 e 0,000 (« finer clay »), procede-se da seguinte maneira:

« A leitura corrigida feita no fim de 40 segundos divide-se pelo peso de solo seco usado e multiplica-se por 100. A diferença entre a percentagem obtida e 100 dá a percentagem de « combined sand » (1,0 — 0,05 mm.). A leitura corrigida feita no fim de 1 hora divide-se também pelo peso de terra seca usado e multiplica-se por 100. O resultado é a percentagem de « clay » (< 0,005 mm.). A percentagem de « silt » (0,05 — 0,005 mm.) obtém-se subtraindo de 100 as percentagens de « clay » e de « combined sand ». Para obter a percentagem de « finer clay » (< 0,002 mm.) basta dividir a leitura corrigida feita no fim de 2 horas pelo peso da terra seca e multiplicar por 100.

« Quando se pretende subdividir o lote denominado « combined sand » recorre-se à crivagem depois de feitas as leituras acima referidas. »

É fora de dúvida que segundo a técnica acima indicada não é possível obter resultados dignos de confiança. Este facto não é devido à pouca exactidão do areómetro como tal, mas sobretudo à preocupação dominante de Bouyoucos, a qual é que o seu método permita determinar a composição mecânica de uma terra num espaço de tempo muito curto, o que leva a seguir uma técnica desnecessariamente defeituosa.

Ora a verdade é que a rapidez de um método, assim compreendida, não tem grande interesse. Um método A pode permitir chegar ao resultado final em 2 horas e ser, praticamente, « menos rápido » que um método B que só no fim de 20 horas conduz ao mesmo resultado; de-facto este último poderá exigir apenas 10 minutos de trabalho e o primeiro, por exemplo, 1 hora. Por outras palavras, o método mais rápido não é o que conduz ao resultado final em menos tempo, mas o que exige menos tempo de trabalho para o obter. Com efeito um só analista poderia, adoptando o segundo método, executar em um ou dois dias mais análises do que seguindo o primeiro.

Bouyoucos admite que o areómetro mede a densidade média de toda a suspensão, desde a superfície livre até ao plano em que começa a encontrar-se material já sedimentado. Ora é mais razoável partir do principio de que a profundidade a que se encontra o areómetro, e que varia durante a sedimentação, não depende da densidade de toda a suspensão, mas sim da que corresponde à zona em que o bolbo do areómetro se encontra. A densidade que este regista é afinal a densidade média da suspensão nessa zona, a qual se ha-de aproximar bastante da densidade da parte média desta, caso o bolbo do areómetro tenha forma simétrica em relação a um plano horizontal. Quando esta última circunstância se não verifique, pode admitir-se que o areómetro mede a densidade da suspensão à profundidade a que se encontra o plano que divide o bolbo em duas porções de igual volume, plano que designaremos por *p.i.v.* A maior ou menor aproximação com que esta hipótese se ajusta à realidade depende do tipo da « curva de distribuição » da terra; por outro lado, como é evidente, o rigor da medição é tanto maior quanto menor fôr o gradiente da densidade. Por consequência o grau de exactidão que se consegue, varia com a terra analisada e em cada terra com a duração do periodo de sedimentação. Porém, as numerosas comparações que temos feito com os valores da concentração obtidos por pipetagem, permitem-nos afirmar que, desde que se recorra a areómetros suficientemente sensíveis, os valores obtidos pelos dois métodos são normalmente muito aproximados.

Como se sabe, as amostras colhidas com uma pipeta de uma suspensão de terra em água, permitem determinar a concentração (ou a densidade) da suspensão nas profundidades a que se colhem.

A fórmula de Stokes permite calcular o limite superior do diâmetro das partículas colhidas em cada amostra, que é igual ao diâmetro das partículas que percorrem o espaço que vai da superfície livre até à

profundidade à qual a amostra é colhida, no tempo que medeia entre o momento em que se põe a proveta em repouso e a colheita da amostra. Assim, por exemplo, a 25° C uma amostra colhida a 10 cm. de profundidade no fim de 8 horas de sedimentação, contém só partículas de diâmetro  $\leq 0,002$  mm. \*

Determinado o peso dessas partículas e atendendo à concentração inicial da suspensão, à capacidade da pipeta e ao peso da terra usado na análise, é fácil calcular a percentagem em que existem na terra analisada.

Quere dizer, para a mesma temperatura, e seja qual fôr a natureza das terras analisadas, a percentagem de partículas de diâmetro igual ou inferior a um certo valor pode obter-se determinando (por meio de uma amostra colhida com uma pipeta) a concentração da suspensão de terra em água, a uma certa profundidade e no fim de um certo tempo de sedimentação.

Repare-se agora que Bouyoucos recomenda fazer as leituras com o areómetro, para determinar a percentagem de partículas de diâmetro igual ou inferior a um certo valor, sempre no fim do mesmo tempo de sedimentação (por exemplo, 40 segundos para as partículas de diâmetro  $< 0,05$  mm.); porém, a profundidade a que se encontra o p.i.v. do areómetro no fim desse tempo varia conforme a terra que se está analisando. Por consequência, o limite superior do diâmetro das partículas cuja concentração o areómetro mede, há-de variar de terra para terra.

O erro que daqui resulta é análogo ao que se cometeria se, usando a pipeta com o fim de determinar a proporção de partículas de diâmetro igual ou inferior a um certo valor, se colhessem amostras sempre no fim do mesmo tempo de sedimentação mas mergulhando a pipeta a profundidades diferentes consoante as terras que se analisassem.

Este erro agrava-se quando se trabalha, como normalmente sucede, a temperaturas diferentes daquela a que o areómetro foi calibrado. Com efeito, a temperatura faz variar: a) a velocidade de queda das partículas; b) o « zero » do areómetro, i.e., a leitura em água destilada, que é zero só à temperatura a que o areómetro foi calibrado (67° F).

$$* v = 10 \text{ cm.} / 28800 \text{ s}$$

$$= 0.000347 \text{ cm./s}$$

$$k = 34700$$

$$v = kr^2$$

$$r = \sqrt{\frac{v}{k}} = \sqrt{\frac{0.000347}{34700}} = 0.0001 \text{ cm.}$$

$$\therefore d = 0.002 \text{ mm.}$$

Para atender ao efeito da temperatura propõe Bouyoucos uma correcção que consiste em juntar ou subtrair 0,2 por cada 1° F acima ou abaixo de 67° F. É fácil demonstrar que, para a mesma terra, a correcção a juntar ou subtrair por cada 1° F acima ou abaixo de 67° F não pode ser sempre 0,2, devendo variar com a diferença entre 67° F e a temperatura a que se opera; por outro lado, para cada terra, as correcções serão forçosamente diferentes. Esta solução deve, por isso, pôr-se de parte.

Consideremos agora um outro pormenor a que há que atender, e ao qual ainda não aludimos: quando se introduz uma pipeta numa suspensão, a subida de nível desta é muito pequena e não vale a pena considerá-la. Já não sucede assim no caso do areómetro cujo bolbo tem cerca de 70 cc. de volume. O areómetro, tal como a pipeta, deve introduzir-se na suspensão momentos antes de findar o tempo de sedimentação requerido. Por consequência, para o calculo das dimensões das partículas cuja concentração ele mede, não deve considerar-se exactamente a profundidade do *p.i.v.* nesse momento, mas sim a profundidade a que as partículas que aí se encontram estariam se não se introduzisse o areómetro na suspensão.

Segundo Casagrande (3) esta profundidade obtém-se subtraindo à profundidade do *p.i.v.* no momento da leitura o cociente do volume do areómetro pelo dôbro da área da secção da proveta.

Além desta correcção é necessário atender à variação do « zero » do areómetro devida a variações de temperatura.

Resumindo as considerações que veem de fazer-se, pode-se afirmar: o areómetro mede com bastante aproximação a densidade duma suspensão de terra em água à profundidade a que se encontra, no momento da leitura, o plano horizontal que divide o seu bolbo em duas porções de igual volume, devidamente corrigida para atender à subida de nível que resulta da introdução do areómetro.

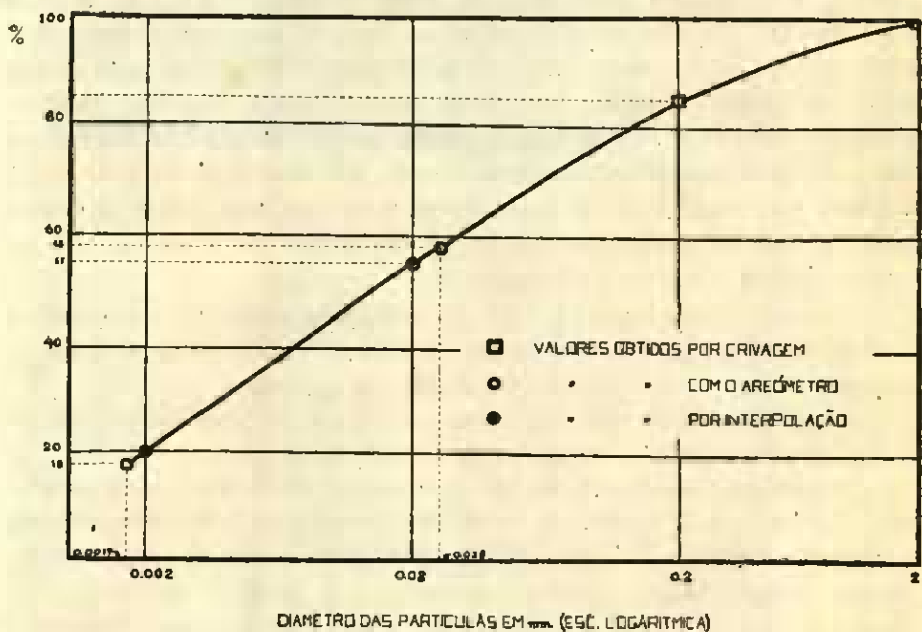
Pode portanto usar-se em vez da pipeta para medir concentrações a profundidades conhecidas. A diferença fundamental que há entre os dois métodos é que com a pipeta se podem medir as concentrações a profundidades predeterminadas, o que não é possível fazer com o areómetro. Esta dificuldade pode resolver-se recorrendo ao sistema que a seguir se descreve:

Suponhamos que se pretendia, por meio do areómetro, efectuar uma análise seguindo a escala de Atterberg. A fracção 2 — 0,2 mm. obter-se-ia por crivagem. O areómetro utilizar-se-ia, substituindo a pipeta, para determinar as fracções constituídas por partículas de diâ-

metro compreendido entre 0,02 mm. e 0,002 mm. (limo), e inferior a 0,002 mm (argila). Sendo a temperatura 20° C, se se recorresse à pipetagem poder-se-ia, por exemplo, colher amostras a 10 cm. de profundidade no fim de 4' 48" e 8 h. de sedimentação, que dariam, respectivamente, as percentagens somadas de limo e argila e a de argila.

Utilizando o areómetro far-se-iam duas leituras no fim de tempos de sedimentação escolhidos de maneira que correspondessem à concentração de partículas tendo um diâmetro máximo ligeiramente superior a 0,02 mm. num caso, e noutro ligeiramente inferior a 0,002 mm. \*.

Suponhamos que a primeira leitura correspondia a 58 % e que, par-



tindo da profundidade do *p.i.v.* (depois de corrigida) e do tempo de sedimentação, se calculava que esta percentagem correspondia a partículas de diâmetro  $\leq 0,025$  mm. Admitamos que a segunda leitura correspondia a 18 % de partículas de diâmetro  $\leq 0,0017$  mm. Marquemos segundo OX e em escala logarítmica estes valores dos diâmetros e segundo OY as percentagens de partículas de diâmetro igual ou inferior a esses valores.

\* A escolha faz-se, como é evidente, considerando as profundidades máxima e mínima a que pode encontrar-se, quando das leituras, o *p.i.v.*

Os dois pontos com estas coordenadas e os dois que correspondem a determinações por crivagem (85 % de partículas de diâmetro  $\leq 0,2$  mm. e 100 % de diâmetro  $\geq 2$  mm.) permitem traçar a curva representada na figura. As ordenadas dos pontos da curva de abscissas iguais respectivamente a 0,02 mm. e 0,002 mm. são as percentagens 55 e 20 de partículas de diâmetros iguais ou menores que 0,02 mm. e 0,002 mm. respectivamente.

A composição da terra analisada seria pois :

Lotes (mm.)	Percentagens
2 — 0,2.....	15
0,2 — 0,02.....	30
0,02 — 0,002.....	35
$\leq 0,002$ .....	20

A determinação das percentagens e dos diâmetros das partículas a partir das leituras feitas com o areómetro pode simplificar-se muito recorrendo a nomogramas apropriados.

#### OBRAS CITADAS

- (1) Botelho da Costa, J. V., *Dejeitos do Método Oficial Português para a Análise Mecânica das Terras*. Revista Agronómica, 1937, XXV, 72-74.
- (2) Bouyoucos, G. J., *The Hydrometer as a New Method for the Mechanical Analysis of Soils*, Soil Sc., 1927, 23, 343-350.
- (3) Casagrande, Arthur, *Die Aräometer-Methode zur Bestimmung der Kornverteilung von Böden und anderen Materialien*. Berlin, 1934.
- (4) Richardson, E. G., *A Photoelectric Method for Mechanical Analysis*. Trans. Third Cong. Int. Soc. Soil Sc. 1935, I, 40-41.

