

Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo





Governador do Estado
João Raimundo Colombo

Vice-Governador do Estado
Eduardo Pinho Moreira

Secretário de Estado da Agricultura e da Pesca
João Rodrigues

Presidente da Epagri
Luiz Ademir Hessmann

Diretores

Ditmar Alfonso Zimath
Extensão Rural

Luiz Antonio Palladini
Ciência, Tecnologia e Inovação

Paulo Roberto Lisboa Arruda
Administração e Finanças

Eduardo Medeiros Piazero
Desenvolvimento Institucional



Patrocínio:



FAPESC

FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO
ESTADO DE SANTA CATARINA

ISSN 0100-7416
Dezembro/2011

BOLETIM TÉCNICO Nº 156

Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo

Milton da Veiga



**EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO
RURAL DE SANTA CATARINA
FLORIANÓPOLIS
2011**

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)
Rodovia Admar Gonzaga, 1.347, Itacorubi, Caixa Postal 502
88034-901 Florianópolis, SC, Brasil
Fone: (48) 3239-5500, fax: (48) 3239-5597
Site: www.epagri.sc.gov.br

Editado pela Epagri/Gerência de Marketing e Comunicação (GMC).

Assessoria científica deste trabalho:

Atsuo Suzuki
Everton Blainski
Francisco Olmar Gervini de Menezes Júnior
Tatiana da Silva Duarte

Primeira edição: dezembro de 2011

Tiragem: 500 exemplares

Impressão: Epagri

É permitida a reprodução deste trabalho desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica

VEIGA, Milton da. **Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo**. Florianópolis: Epagri, 2011. 52p. (Epagri. Boletim Técnico, 156).

Análises físicas de rotina; granulometria, densidade; porosidade; curva de retenção de água; condutividade hidráulica saturada; estabilidade de agregados.

ISSN 0100-7416



SUMÁRIO

1 Introdução	7
2 Coleta e preparo de amostras	8
2.1 Amostras com estrutura preservada	8
2.2 Amostras com estrutura alterada	9
3 Análises em amostras com estrutura preservada	10
3.1 Densidade, porosidade e resistência à penetração e ao cisalhamento	10
3.2 Curva de retenção de água no solo	12
3.3 Condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade.....	13
3.4 Distribuição de tamanho e estabilidade de agregados em água.....	14
4 Análises em amostras com estrutura alterada.....	17
4.1 Densidade de partículas.....	17
4.2 Granulometria	18
5 Procedimentos para coleta e preparo das amostras	22
5.1 Coleta de amostras com estrutura preservada	22
5.1.1 Materiais e equipamentos (Figura 11).....	22
5.1.2 Procedimento de coleta no campo (Figura 12).....	22
5.1.3 Preparo das amostras para realização das análises	23
5.2 Coleta de amostras com estrutura alterada	24
5.2.1 Materiais e equipamentos (Figura 14).....	24
5.2.2 Procedimento de coleta no campo	25
5.2.3. Preparo da terra fina e separação das frações grosseiras.....	26
5.2.3.1 Materiais e equipamentos.....	26
5.2.3.2. Preparo da terra fina seca ao ar (TFSA)	26
5.2.3.3 Determinação de calhaus e cascalhos	27

6 Rotinas de laboratório para análises físicas do solo.....	27
6.1 Densidade e porosidade	27
6.1.1 Materiais e equipamentos	27
6.1.2 Procedimento	27
6.1.3 Cálculos	28
6.2 Curva de retenção de água no solo	29
6.2.1 Materiais e equipamentos	29
6.2.2 Procedimento	29
6.2.3 Cálculos	30
6.3 Condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade.....	31
6.3.1 Materiais e equipamentos	31
6.3.2 Procedimento	31
6.3.3 Cálculos	32
6.4 Distribuição de tamanho de agregados e estabilidade em água.....	33
6.4.1 Materiais e equipamentos	33
6.4.2 Preparo das amostras	34
6.4.3 Distribuição de tamanho dos agregados secos ao ar.....	34
6.4.4 Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água	35
6.4.5 Estabilidade de uma classe de agregados	36
6.4.5.1 Cálculos	36
6.5 Densidade de partículas.....	37
6.5.1 Materiais e equipamentos	37
6.5.2 Procedimento	37
6.6 Granulometria	38
6.6.1 Método da pipeta	38
6.6.1.1 Materiais e equipamentos.....	38
6.6.1.2 Procedimento	39
6.6.1.3 Cálculos	40
6.6.2 Método do densímetro	41
6.6.2.1 Materiais e equipamentos.....	41
6.6.2.2 Procedimento	42
6.6.2.3 Cálculos	43

6.6.3 Granulometria de sedimentos.....	44
6.6.3.1. Materiais e equipamentos.....	44
6.6.2.2 Procedimento	44
7 Considerações finais	46
8 Agradecimentos.....	46
9 Referências.....	47
Apêndice 1 – Planilha para anotação dos dados para determinação da densidade e porosidade do solo	49
Apêndice 2 – Planilha para anotação dos dados para determinação da curva de retenção de água no solo.....	49
Apêndice 3 – Planilha para anotação dos dados para determinação da condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade do solo.....	50
Apêndice 4 – Planilha para anotação dos dados para determinação da distribuição de tamanho dos agregados secos ao ar e estáveis em água	50
Apêndice 5 – Planilha para anotação dos dados para determinação da granulometria do solo pelo método da pipeta	51
Apêndice 6 – Planilha para anotação dos dados para determinação da granulometria do solo pelo método do densímetro	52

Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo¹

Milton da Veiga²

1 Introdução

O desenvolvimento de metodologias para caracterização física do solo não evoluiu da mesma forma que para sua caracterização química, principalmente no que diz respeito à padronização entre os laboratórios. Uma das iniciativas consolidadas de padronização de métodos é a da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (Rolas), que utiliza a metodologia descrita no Boletim Técnico nº 5, publicado pelo Departamento de Solos UFRGS em 1985 e reeditado em 1995 (Tedesco et al., 1995). Esses métodos são utilizados há muitos anos para caracterizar, principalmente, os atributos químicos relacionados com a fertilidade do solo ou o estado nutricional de plantas para fins de recomendação de calagem e adubação com o uso do *Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Comissão..., 2004).

Os métodos mais utilizados para a realização de análises físicas do solo no Brasil são aqueles descritos no *Manual de métodos de análise do solo*, publicado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da Embrapa em 1979, com sua segunda edição publicada em 1997 (Embrapa, 1997). Esse manual descreve um grande número de análises químicas, físicas e mineralógicas do solo de forma sucinta, não apresentando a descrição detalhada do procedimento, necessária para a reprodução da marcha analítica entre os laboratórios. Para algumas análises físicas do solo são mais utilizados os métodos descritos na publicação "Methods of Soil Analysis", da Sociedade Americana de Ciência do Solo, em cuja última edição os métodos para análise física foram publicados em um livro específico (Dane & Topp, 2002). Nessa publicação, todos os métodos possuem um referencial teórico que embasa sua origem e aplicação, mas muitas vezes sua execução depende de equipamentos não disponíveis em laboratórios que realizam análises físicas do solo, ou não são aplicáveis para uso em rotinas por demandarem muito tempo para sua execução.

Os métodos para análise física do solo descritos nessas duas publicações são objeto de frequentes adaptações, algumas vezes sendo publicados como um novo método, mesmo que as alterações nos procedimentos sejam mínimas. Um

¹ Boletim Técnico impresso com recursos da Fapesc.

² Eng.-agr., Dr., Epagri/Estação Experimental de Campos Novos, C.P. 116, 89620-000 Campos Novos, SC, e-mail: milveiga@epagri.sc.gov.br.

dos métodos que tem sofrido mais adaptações é a determinação da estabilidade dos agregados através do peneiramento em água, descrita originalmente por Yoder (1936) e adaptada por Kemper & Chepil (1965), sem deixar de adotar os procedimentos básicos daquela. Esses procedimentos são a coleta de um bloco de solo, sua fragmentação em agregados ou torrões com diâmetro menor do que um determinado valor (geralmente 8mm), secagem dos agregados ao ar, peneiramento de uma amostra desses agregados em água com um conjunto de peneiras com variadas aberturas de malha, determinação da massa de agregados retida em cada peneira e cálculo do diâmetro médio ponderado desses agregados. As principais variações em relação a esses procedimentos são o pré-umedecimento ou não das amostras por capilaridade ou a vácuo, a aplicação ou não de energia adicional de desagregação, o cálculo do diâmetro médio ponderado em base aritmética ou geométrica, entre outras.

Para atender a necessidade de métodos para análises físicas do solo que sejam de fácil aplicação e reprodução entre laboratórios, procurou-se adaptar metodologias descritas nas duas publicações supracitadas para as condições de realização, como rotina em laboratórios, sem negligenciar a necessidade de obtenção de resultados com precisão. Os procedimentos para realização dessas análises serão descritos de forma detalhada, utilizando-se materiais e equipamentos disponíveis ou que possam ser confeccionados com facilidade, para viabilizar sua reprodução em qualquer laboratório de análises físicas do solo. Busca-se, com isso, o uso de metodologias que sejam de fácil execução e reprodução para viabilizar, em curto prazo, o estabelecimento de um sistema de controle de qualidade para essas análises.

2 Coleta e preparo de amostras

A estratégia de coleta de amostras para a realização de análises físicas do solo deve ser muito bem planejada, tanto em experimentos como em lavouras, em função da quantidade de equipamentos e materiais necessários para essa coleta e do tempo demandado para realização das análises no laboratório. Nesse planejamento deve-se definir a intensidade de amostragem, que corresponde ao número de parcelas ou lavouras que serão amostradas na respectiva jornada, bem como ao número de camadas ou de subamostras que serão coletadas em cada parcela ou lavoura. Também é necessário definir, previamente, quais análises serão realizadas, tanto em amostras com estrutura preservada como alterada, para providenciar os materiais e equipamentos específicos para a coleta de cada uma delas.

2.1 Amostras com estrutura preservada

Para coleta de amostras de solo com estrutura preservada, geralmente são utilizados anéis de aço inox com dimensões específicas para cada determinação

ou grupo de determinações. Anéis com dimensões internas de aproximadamente 10cm de diâmetro e 5cm de altura são utilizados para a coleta de amostras para determinação da condutividade hidráulica saturada, porosidade (macro, micro e porosidade total) e densidade do solo. Após o destorroamento dessas amostras, pode-se determinar a estabilidade dos agregados, a granulometria e a densidade de partículas de solo, entre outros atributos.

Em anéis com dimensões internas de aproximadamente 6cm de diâmetro e 5cm de altura podem ser determinadas a porosidade (porosidade total, macro, meso e microporosidade) e a densidade do solo. Com menor precisão, em função do menor diâmetro da amostra, também se pode determinar a condutividade hidráulica saturada do solo. Havendo disponibilidade de equipamentos, pode-se determinar, na mesma amostra, a resistência à penetração e ao cisalhamento (coesão) do solo. Após a fragmentação, também é possível determinar a estabilidade de agregados, a granulometria e a densidade de partículas do solo.

Em anéis com dimensões internas de aproximadamente 6cm de diâmetro e 2,5cm de altura, determina-se a curva de retenção de água. Com menor precisão, podem-se determinar, na mesma amostra, as classes de poros e a densidade do solo e, havendo disponibilidade de equipamento, os parâmetros relacionados à compressibilidade do solo.

A coleta das amostras deve ser realizada, preferencialmente, quando o solo estiver com umidade próxima da capacidade de campo, o que ocorre entre 2 e 4 dias após uma chuva expressiva (> 30mm). Deve-se evitar a coleta com o solo muito seco em função de ele apresentar rachaduras e de ocorrer fragmentação da amostra, dificultando a coleta da amostra sem alterações e prejudicando as análises laboratoriais. Por outro lado, a coleta com solo muito úmido pode resultar na deformação plástica da amostra, principalmente em solos argilosos, alterando as relações massa/volume no cilindro de solo amostrado.

2.2 Amostras com estrutura alterada

A coleta de amostras com estrutura alterada pode ser realizada em uma faixa mais ampla de umidade do solo desde que haja disponibilidade de equipamentos adequados para cada condição. Geralmente as características físicas determinadas em amostras com estrutura alterada, principalmente granulometria e densidade de partículas, não apresentam variabilidade espacial tão expressiva quanto as características químicas do solo. Em função disso, a coleta em experimentos pode ser feita em apenas um ponto, geralmente abrindo-se uma minitrincheira (cova) até a máxima profundidade de coleta e coletando-se as amostras na lateral, em camadas previamente estabelecidas. Em lavouras, a coleta pode ser feita em metade a um terço do número de pontos estabelecidos para coleta de amostras para análise química do solo, obtendo-se boa representatividade.

3 Análises em amostras com estrutura preservada

As principais análises físicas, realizadas em amostras com estrutura preservada, visam determinar as relações massa/volume do solo, tais como densidade, porosidade e curva de retenção de água. Havendo disponibilidade de equipamentos no laboratório, podem ser determinadas, também, algumas características mecânicas, como a resistência à penetração, ao cisalhamento e à compactação.

3.1 Densidade, porosidade e resistência à penetração e ao cisalhamento

A densidade e a porosidade são atributos calculados a partir da relação entre a massa e o volume ocupado por uma fração de solo. Normalmente a densidade é determinada em um cilindro de solo coletado com o uso de um anel de volume conhecido, o qual é seco em estufa até a evaporação completa da água. A relação entre a massa do cilindro de solo seco, que corresponde à massa dos sólidos da amostra (g), com o volume interno do anel (cm^3) corresponde à densidade do solo (DS), que pode ser expressa em g/cm^3 ou em Mg/m^3 . A partir do valor da densidade do solo e da densidade das partículas (DP), determinadas na mesma amostra de solo (item 4.2), pode-se calcular a porosidade total da amostra em questão pela fórmula $PT (\text{cm}^3/\text{cm}^3 \text{ ou } \text{m}^3/\text{m}^3) = 1 - DS/DP$.

Normalmente são determinadas, na mesma amostra, a macro e a microporosidade do solo, utilizando-se o método descrito em Embrapa (1997). Nesse método, amostras saturadas são colocadas sobre a mesa de tensão com vertedouro regulado a 60cm da superfície, que corresponde à aplicação de uma tensão de 6kPa na base da amostra, por um período de 24 horas. De acordo com a fórmula da capilaridade, essa tensão drena os poros com diâmetro $\geq 0,05\text{mm}$ ($50\mu\text{m}$), que são denominados de macroporos. A água que permanece na amostra após a aplicação dessa tensão está retida nos microporos, cujo volume corresponde à diferença entre a massa da amostra antes e depois de secá-la em estufa. O volume de microporos (MI, cm^3/cm^3 ou m^3/m^3) é calculado dividindo-se a massa de água (g) pelo volume interno do anel no qual está acondicionada a amostra (cm^3). A macroporosidade, por sua vez, pode ser determinada diretamente pela divisão da massa de água retida nos macroporos (diferença de massa entre a amostra saturada e após a drenagem dos macroporos) pelo volume interno do anel, ou indiretamente, subtraindo-se o volume de microporos do volume total de poros.

Essa determinação, no entanto, não informa sobre uma característica importante do espaço poroso do solo, que é o volume de poros que retêm água numa faixa de fácil absorção pelos vegetais. Isso porque na classe “microporos” está incluído, também, o volume de poros residuais e de poros de ligação (Greenland, 1979), além da água contida nos filmes que revestem as partículas do solo, cuja

energia de retenção (tensão) está situada numa faixa de difícil absorção pelos vegetais (Taiz & Zaiger, 1998). Para determinar o volume de poros que retêm água na faixa de tensão de fácil absorção pelos vegetais, acrescentou-se ao método da Embrapa (1997) a aplicação, no extrator de Richards, da tensão de 600kPa nas amostras, a qual drena os poros com diâmetro equivalente de 0,5 μ m. Assim, após a saturação da amostra, são aplicadas sequencialmente as tensões de 6kPa em mesa de tensão ou box de areia (Figura 1) e de 600kPa no extrator de Richard (Figura 2), o que permite determinar o volume de três classes de poros, as quais são denominadas de macroporos ($\phi > 50\mu$ m), mesoporos (ϕ 50 a 0,5 μ m) e microporos ($\phi < 0,5 \mu$ m). Havendo disponibilidade de equipamentos, após essa rotina é possível determinar, na amostra ainda intacta, a resistência à penetração e ao cisalhamento do solo, utilizando-se, respectivamente, o penetrômetro e o *vane tester* (Figura 3).

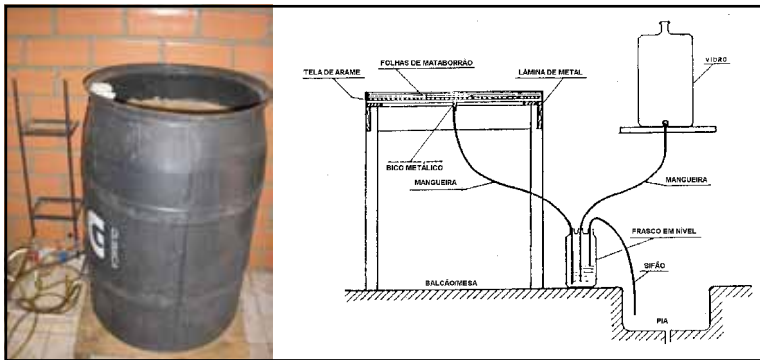


Figura 1. Croqui da mesa de tensão e box de areia, equipamentos utilizados para determinação da retenção de água em amostras de solo em baixas tensões (0 a 6kPa)



Figura 2. Extrator de Richards, equipamento utilizado para determinação da retenção de água em amostras de solo em médias e altas tensões (10 a 1.500kPa)



Figura 3. Penetrômetro de bancada e *vane tester*, equipamentos utilizados respectivamente para determinar a resistência à penetração e ao cisalhamento do solo

3.2 Curva de retenção de água no solo

A determinação da curva de retenção de água no solo é similar à da porosidade, diferindo apenas na determinação da massa da amostra em um maior número de tensões aplicadas. Para melhor distribuição dos pontos na curva, recomenda-se a determinação da massa após a saturação e da aplicação das tensões de 0,2, 0,6, 2 e 6kPa (2, 6, 20 e 60cm) na mesa de tensão ou box de areia e de 20, 60, 200, 600 e 1.500kPa (0,2, 0,6, 2, 6 e 15 bar) no extrator de Richards. Com os pares de valores de tensão de água no solo, plotados em escala logarítmica, e da umidade volumétrica, elabora-se a curva de retenção de água da respectiva amostra, como exemplificado na Figura 4.

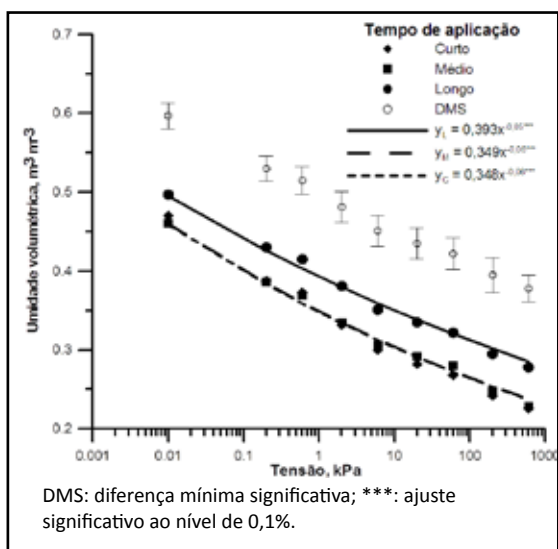


Figura 4. Curva característica de retenção de água no solo em amostras coletadas em glebas com três intervalos de aplicação de dejetos líquidos de suínos

Na mesma rotina é possível determinar, com menor precisão, a densidade e as classes de poros do solo. Havendo disponibilidade de um consolidômetro (Figura 5), é possível realizar, na amostra ainda intacta, o ensaio de compressibilidade do solo, determinando-se os parâmetros relacionados com a suscetibilidade do solo à compactação (tensão de pré-consolidação e coeficiente de compressibilidade).



Fonte: ELE International (catálogo).

Figura 5.
Consolidômetro,
equipamento utilizado
para realizar o ensaio de
compressibilidade em
amostras de solo

3.3 Condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade

A condutividade hidráulica saturada, que corresponde à taxa máxima de percolação de água através do solo, é determinada no permeâmetro de carga constante (Figura 6), equipamento de fácil confecção e composto basicamente por um sistema para fornecimento de água com lâmina constante, recipiente para acondicionamento da amostra de solo imersa em água e dispositivo para aplicação de lâmina de água acima da amostra.



Figura 6. Permeâmetro de carga constante, equipamento utilizado para determinar a condutividade hidráulica saturada em amostras de solo. A: sistema para fornecimento de água com lâmina constante; B: recipiente para acondicionamento da amostra de solo imersa em água; e C: dispositivo para aplicação de lâmina de água acima da amostra

Na mesma rotina, pode-se determinar a porosidade total, a macroporosidade e a meso + microporosidade. Após essas determinações, a amostra pode ser fragmentada, para determinação dos atributos relacionados à agregação e estabilidade dos agregados, ou seca ao ar e moída, para a realização de análises em amostras com a estrutura alterada (granulometria e densidade de partículas, entre outras).

3.4 Distribuição de tamanho e estabilidade de agregados em água

A distribuição de tamanho dos agregados secos ao ar e a estabilidade desses em água são determinações que estimam, respectivamente, o grau de agregação e a estabilidade da estrutura do solo em face dos agentes externos que podem promover sua desestruturação, tais como o preparo do solo e a erosão hídrica ou eólica.

Inúmeros métodos foram testados para essa caracterização do solo, mas os mais utilizados são os descritos por Kemper & Chepil (1965) e por Kemper (1965). No primeiro se utilizam agregados obtidos a partir de uma amostra de solo coletada com estrutura preservada, destorroada cuidadosamente até que todo o material passe por uma peneira com abertura de malha de 8mm, enquanto no segundo se utilizam agregados com diâmetro entre 1 e 2mm. Esses dois métodos são fundamentados nos princípios descritos por Yoder (1936), que descreveu um método direto de análise de agregados do solo para aplicação em estudos de física do solo e perdas por erosão, baseado no peneiramento de amostras em um conjunto de peneiras dentro de um recipiente com água.

A maioria dos métodos descritos, a partir de então, apresenta pequenas variações em relação a esses, exceto aqueles que testaram o efeito do impacto das gotas individuais (McCalla, 1944) ou de chuva simulada (Young, 1984; Reichert et al., 1993). Carpenedo & Mielniczuk (1990), por sua vez, sugeriram a aplicação de energia de desagregação adicional às amostras, pela agitação destas, imersas em água em recipientes que são submetidos a movimentos rotatórios, previamente ao peneiramento em água, o que permitiu a determinação das frações de tamanho de silte e de argila dispersas em água. Veiga et al. (2004), testando diferentes condições de umidade das amostras (úmido, seco ao ar e seco ao ar com pré-umedecimento), com e sem a aplicação dessa energia adicional de desagregação, comprovaram a grande variação no grau de desagregação do solo com esses tratamentos. Sugeriram, então, que a aplicação de energia adicional de desagregação é recomendável para as amostras coletadas em solos com alta estabilidade de agregados e o pré-umedecimento para os solos com baixa estabilidade. Isso possibilitaria, por exemplo, o diagnóstico do efeito de sistemas de manejo do solo sobre a estabilidade de agregados que normalmente não são detectados quando se utiliza apenas o peneiramento das amostras em água. O pré-umedecimento das amostras por capilaridade ou a vácuo antes do peneiramento em água previne a excessiva desagregação que ocorre se a amostra seca for umedecida rapidamente (Truman et al., 1990).

A recomendação de separação das partículas de areia com diâmetro maior do que a abertura da malha da peneira na qual ela foi retida, com o argumento de que estas não se constituem em agregados, é um procedimento do método descrito por Kemper & Chepil (1965) que aumenta muito o tempo para realização da análise como uma rotina de laboratório. Essa separação, no entanto, é um procedimento que pode ser questionado, uma vez que partículas de areia retidas em uma peneira de menor diâmetro poderiam estar constituindo agregados de uma classe de diâmetro imediatamente superior, não se justificando sua separação da massa de solo. Em um estudo com sete solos do Rio Grande do Sul, Veiga et al. (1993) determinaram que o cálculo do índice de estabilidade da massa do solo como um todo, sem separação das partículas de areia, se relacionou melhor com a erodibilidade em entressulcos do solo do que quando o cálculo foi efetuado com essa separação. Esse resultado aponta para a possibilidade de se calcular o índice de estabilidade da massa de solo como um todo (agregados + partículas primárias), tornando mais ágil o procedimento de rotina para essa determinação.

Neste trabalho serão descritos os métodos de Kemper & Chepil (1965), utilizando-se toda a massa de solo, contudo sem a remoção das partículas de areia para cálculo dos índices de estabilidade dos agregados, e o método descrito por Kemper (1965), utilizando-se agregados de uma classe de diâmetro (entre 1 e 2mm). O primeiro método é indicado para caracterização geral do grau de agregação e da estabilidade da estrutura do solo, e o segundo para estudos mais aprofundados do efeito de sistemas de manejo do solo sobre a estabilidade dos agregados. Para a realização de ambos, pode-se utilizar o aparelho da figura 7A, mas a execução do método descrito por Kemper (1965) é mais fácil utilizando-se o aparelho de Yoder (Figura 7B).



Figura 7. Equipamento utilizado para determinar a estabilidade de agregados em água em amostras individualizadas (7A) e aparelho de Yoder (7B)

Procedimento para solos com estabilidade de agregados muito baixa

Pré-umedecer as amostras de agregados antes da realização do teste de estabilidade em água, acondicionando-as dentro de tubo ou anel com o fundo vedado por papel filtro qualitativo e colocando-as na mesa de tensão ou box de areia com o vertedouro de água regulado a 10cm da superfície (tensão de 1kPa), deixando-as durante uma noite nessa condição para umedecê-las por capilaridade. Alternativamente, pode-se promover o umedecimento por capilaridade dentro de filtros de café nº 2, acondicionados sobre leito de algodão úmido.

Procedimento para solos com estabilidade de agregados muito alta

Aplicar energia de desagregação adicional, que consiste na colocação das amostras em tubos de PVC com capacidade para 1L, preenchido com 0,5L de água de torneira, o qual é tampado e submetido a movimentos rotativos (16rpm) por 2 minutos, em um equipamento (Figura 8) semelhante ao descrito em Carpenedo & Mielniczuk (1990). Nesse caso, no peneiramento em água devem ser utilizados dispositivos individualizados para cada conjunto de peneiras e este deve ser esvaziado, pelo menos parcialmente, para permitir a transferência do material contido nos tubos para o conjunto de peneiras, dispensando-se o intervalo de 10 minutos entre a colocação das amostras e o início da agitação das peneiras.



Figura 8. Equipamento rotativo, utilizado para aplicar energia de desagregação adicional aos agregados antes do peneiramento em água para determinação de sua estabilidade

4 Análises em amostras com estrutura alterada

As análises mais demandadas nos laboratórios de solo, para caracterização de amostras coletadas com estrutura alterada, dizem respeito à determinação da granulometria (distribuição de tamanho) e da densidade das partículas com diâmetro menor do que 2mm, denominada de terra fina. Em trabalhos de levantamento de solos para fins de classificação e mapeamento, também é necessário determinar a participação percentual das frações grosseiras presentes na massa de solo e a argila natural. Por outro lado, em estudos de concentração de sedimentos em rios e barragens, necessita-se realizar a separação das partículas primárias em um maior número de classes de diâmetro para elaborar a curva de concentração de sedimentos em função do diâmetro das partículas, desde as partículas mais grossas (calhaus, cascalhos e areia) até as mais finas (silte e argila).

4.1 Densidade de partículas

A densidade de partículas (DP), também denominada de densidade real (Curi et al., 1993), representa uma média ponderada das densidades específicas dos constituintes da fase sólida do solo, tanto minerais como orgânicos. O intervalo de variação da densidade específica dos principais constituintes do solo é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de densidade específica dos constituintes mais frequentemente encontrados na fase sólida dos solos

Constituinte	Densidade específica (g/cm ³)
Feldspato potássico (K)	2,54 a 2,57
Feldspato sódico (Na) ou cálcico (Ca)	2,62 a 2,76
Muscovita	2,70 a 3,10
Biotita	2,80 a 3,20
Calcita	2,72
Dolomita	2,85
Quartzo	2,65 a 2,67
Ilita	2,60 a 2,86
Montmorilonita	2,74 a 2,78
Clorita	2,60 a 2,90
Caulinita	2,61 a 2,66
Hematita	5,26
Goethita	4,26
Material orgânico fresco	0,60 a 0,80
Húmus estável	1,40 a 1,60

Fonte: Leinz & Amaral (2003); Hillel (1998).

Na maioria dos solos, a massa média por unidade de volume de sólidos é de 2,6 a 2,7g/cm³, que é próxima da densidade específica do quartzo, geralmente o mineral predominante na fração areia do solo (Hillel, 1998). Contudo, a presença de teores altos de óxidos de ferro pode aumentar e a de matéria orgânica diminuir a DP. Quando não for possível a determinação da DP das amostras, utiliza-se o valor de 2,65g/cm³.

O método de referência para determinação da densidade de partículas utiliza água e um picnômetro com volume de 500 ou 1.000cm³ (ABNT, 1984). No entanto, o método mais usado em análises de rotina é baseado na determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico contendo uma amostra de solo seco em estufa, conhecido como método do balão volumétrico. O álcool é utilizado por apresentar menor tensão superficial do que a água e, por isso, não deixar ar aprisionado dentro dos pequenos agregados que constituem a amostra. Nesse método, as determinações e os cálculos podem ser efetuados em base de volume (Embrapa, 1997) ou em base de massa (Gubiani et al., 2006), sendo este de execução mais rápida do que aquele.

4.2 Granulometria

A determinação da granulometria corresponde à caracterização da distribuição de tamanho das partículas do solo com diâmetro < 2mm (terra fina), em classes que definem suas frações texturais. As três principais frações texturais são a argila ($\phi < 0,002\text{mm}$), o silte ($\phi 0,002$ a $0,05\text{mm}$) e a areia ($\phi 0,05$ a 2mm). Esta última fração pode ser dividida em areia grossa ($\phi 0,25$ a $2,0\text{mm}$) e areia fina ($\phi 0,25$ a $0,05\text{mm}$) ou, ainda, em areia muito grossa ($\phi 1,0$ a $2,0\text{mm}$), areia grossa ($\phi 0,5$ a 1mm), areia média ($\phi 0,25$ a $0,5\text{mm}$), areia fina ($\phi 0,1$ a $0,25\text{mm}$) e areia muito fina ($\phi 0,05$ a $0,1\text{mm}$).

Os métodos mais utilizados para determinação da granulometria do solo são o método da pipeta e o do densímetro. Eles recebem essas denominações em função do dispositivo usado para, respectivamente, coletar uma fração da solução (pipeta volumétrica) ou determinar a densidade da solução (densímetro). O método da pipeta é o mais preciso, sendo utilizado para calibração de outros métodos, como o próprio método do densímetro. O método do densímetro, por sua vez, é de execução mais rápida, mas não apresenta a mesma precisão ou exatidão que o método da pipeta. No entanto, permite elaborar curvas de percentagem acumulada das frações em função do seu diâmetro (Figura 9), informação importante para os estudos de transporte de sedimentos pelos rios e deposição no seu leito ou em barragens.

Para determinação do teor de argila, ambos os métodos se baseiam na velocidade de queda das partículas que compõem o solo, a qual é definida pela densidade específica, pelo diâmetro da partícula e pela densidade e viscosidade da solução (Gee & Or, 2002). A viscosidade da solução, por sua vez, varia em função de sua temperatura, razão pela qual o momento da coleta, no método da pipeta,

e a concentração de sedimentos em suspensão em cada leitura, no método do densímetro, são definidos com base na temperatura da solução. Em função disso, é recomendado que a temperatura no ambiente de realização dos ensaios apresente pequena variação ao longo do dia. Em ambos os métodos a fração areia é separada por peneiramento e a fração silte é determinada por diferença em relação à massa total da amostra. No método do densímetro, é possível determinar a concentração de silte a partir do gráfico de porcentagem acumulada de partículas em função do seu diâmetro.

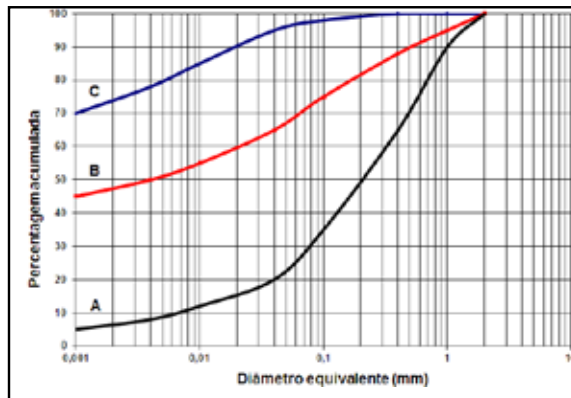


Figura 9. Porcentagem acumulada de partículas em função do seu diâmetro em um solo de textura (A) arenosa, (B) média e (C) argilosa, elaborados a partir de resultados obtidos no método do densímetro

Para a determinação da granulometria do solo é necessário individualizar as partículas primárias, o que é conseguido dispersando-se completamente a amostra por ação química (adição de hidróxido de sódio ou de calgon) e física (agitação intensa em *stirrer* por 15 minutos ou agitação lenta em movimentos recíprocos por um período mínimo de 4 horas). Esse procedimento não promove a dispersão completa das amostras de solos calcários, salinos ou ricos em matéria orgânica, para os quais é necessário realizar um pré-tratamento das amostras que, conforme Embrapa (1997), deve ser procedido como descrito a seguir.

Amostras de solo com alto teor de matéria orgânica (> 5%):

Empregar a mesma metodologia indicada para solos normais, dispersando com hidróxido de sódio a amostra depois do tratamento com água oxigenada, segundo técnica descrita a seguir:

- a) colocar 50g de terra fina seca ao ar (TFSA) em cápsula de porcelana ou béquer de vidro, adicionar um pouco de água oxigenada a 30 volumes (5 a 10ml);
- b) agitar com o bastão de vidro e verificar a reação efervescente;

- c) suspender a adição da água oxigenada, cobrir a cápsula com vidro de relógio e deixar em repouso durante uma noite;
- d) repetir a operação até o total desaparecimento da reação;
- e) colocar a cápsula para secar em estufa a 50 a 60°C e depois adicionar uma última quantidade de água oxigenada (5ml);
- f) passar a amostra para funil de vidro contendo papel-filtro e lavar várias vezes com água destilada (três a cinco vezes);
- g) secar a amostra ao ar, homogeneizar e pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

Amostras de solos calcários:

Utilizar o hexametáfosfato de sódio tamponado com o carbonato de sódio. No caso de utilizar o hidróxido de sódio, proceder ao tratamento prévio da amostra com ácido clorídrico, conforme técnica descrita a seguir:

- a) colocar 50g de TFSA em cápsula de porcelana e adicionar, pouco a pouco, solução de ácido clorídrico a 10%, agitando a amostra com um bastão de vidro;
- b) suspender a adição de ácido quando já não se observar a efervescência e cobrir com vidro relógio e deixar em repouso por uma noite;
- c) em seguida, adicionar mais um pouco de ácido e verificar a ausência de efervescência;
- d) transferir a amostra para funil de vidro contendo um papel-filtro;
- e) lavar a amostra com água destilada até que uma pequena porção do filtrado não apresente reação de cloretos pelo nitrato de prata;
- f) colocar o papel-filtro com a amostra em uma bandeja para secar ao ar;
- g) homogeneizar a amostra e, em seguida, pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

Amostras de solos salinos:

Proceder da mesma forma indicada para solos normais, empregando-se o hexametáfosfato de sódio. No caso de a quantidade e a natureza dos sais prejudicarem a ação do dispersante, efetuar o tratamento prévio da amostra conforme indicado a seguir:

- a) colocar 50g de TFSA em funil de vidro contendo papel-filtro e adicionar álcool etílico a 60%, só colocando nova quantidade depois de esgotada a anterior;
- b) continuar a lavagem até que uma pequena porção do filtrado não apresente reação de cloretos pelo nitrato de prata;
- c) colocar o papel-filtro com a amostra e deixar secar ao ar;
- d) homogeneizar a amostra e depois pesar a quantidade necessária para a análise granulométrica.

Preparo de soluções:

- a) solução de NaOH 1N: pesar 80g de NaOH e dissolver em água destilada, completando o volume para 2 litros;
- b) solução de hexametáfosfato de sódio: pesar 35,7g do hexametáfosfato ou calgon, dissolver em água contida em balão de 1 litro, adicionar 7,94g de carbonato de sódio anidro e completar o volume;
- c) álcool a 60%: diluir 600ml de álcool etílico a 98 graus GL em água destilada até completar 1 litro; aferir a solução com um alcoômetro;
- d) água oxigenada a 30 volumes: obtida diretamente no comércio;
- e) solução de HCl a 10%: dissolver 100ml de HCl concentrado em água destilada e completar o volume para 1 litro.

Neste trabalho serão descritos o método da pipeta e o do densímetro, com pequenas alterações em relação aos descritos em Embrapa (1997), principalmente no que diz respeito ao momento do peneiramento da fração areia, que é realizado depois – e não antes – do início do ensaio. Em uma rotina, cada laboratorista pode executar, com qualidade, o ensaio em até 30 amostras de solo concomitantemente, tanto no método da pipeta como no do densímetro. Para isso, as amostras devem ser dispostas sequencialmente, em ordem crescente do número do protocolo (Figura 10), observando-se um intervalo de 1 ou 2 minutos para coleta ou leitura entre elas.



Figura 10. Conjunto de amostras para determinação da granulometria por um operador, em rotina de laboratório

5 Procedimentos para coleta e preparo das amostras

5.1 Coleta de amostras com estrutura preservada

5.1.1 Materiais e equipamentos (Figura 11)

- a) anéis volumétricos numerados, revestidos com vaselina sólida;
- b) cursor, para introdução do anel volumétrico no solo;
- c) cápsula de alumínio com tampa, com dimensões maiores do que o anel volumétrico;
- d) engradados plásticos para acondicionar as cápsulas e transportar os equipamentos;
- e) fita-crepe;
- f) pá de pedreiro (trincha), espátula ou pá de jardineiro;
- g) estilete ou faca bem afiada;
- h) pano sintético (*voil*) e papel-filtro com diâmetro maior do que o anel;
- i) atilhos de borracha;
- j) enxadão ou pá de corte;
- k) régua com comprimento até a profundidade de coleta;
- l) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- m) prancheta e planilhas para anotação das informações.



Figura 11. Materiais e equipamentos utilizados para coleta de amostras de solo com estrutura preservada

5.1.2 Procedimento de coleta no campo (Figura 12)

- a) limpar e nivelar cuidadosamente a superfície do local de coleta da amostra, retirando-se a vegetação e outros materiais que não solo;

b) introduzir o anel volumétrico perpendicularmente à superfície do solo, com o auxílio do cursor, até que a amostra ultrapasse em 1 a 2mm a borda superior do anel;

c) remover o anel volumétrico cheio de solo, escavando-se em sua volta com a faca ou pá de jardineiro e introduzindo a trincha ou espátula abaixo do anel para sua remoção, tomando-se o cuidado para não perder parte da amostra ou provocar rachaduras; em caso de perda de material ou danos à amostra, repetir a coleta;

d) retirar grosseiramente os excessos de solo das bordas do anel com o auxílio da faca ou do estilete, cuidando-se para não danificar a amostra contida no anel;

e) colocar em uma extremidade do anel (superior), ou em ambas, um pano amarrado com atilho de borracha, para evitar perdas de solo no transporte para o laboratório;

f) colocar o anel com a amostra na lata, tampá-la e lacrá-la, para evitar a evaporação de água;

g) acondicionar as latas em engradado plástico, tomando-se o cuidado de não permitir muita movimentação das latas nas caixas;

h) transportar as amostras para o laboratório sem provocar batidas e solavancos que venham a prejudicar sua qualidade.



Figura 12. Procedimento de coleta de amostras de solo com estrutura preservada.

5.1.3 Preparo das amostras para realização das análises

a) fazer a limpeza final da amostra com o auxílio de um estilete e pedaços de pano (Figura 13), nivelando-se as extremidades com a borda do anel, bem como removendo o solo aderido externamente a ele; caso a amostra esteja com baixa umidade, promover previamente seu umedecimento por capilaridade;

b) colocar papel-filtro ou pano (dependendo da determinação) na extremidade inferior do anel e prender com atilho, ambos com massa conhecida; proceder da mesma forma com um anel sem solo, para determinar a massa da água retida na tara em cada tensão aplicada;

c) anotar, em planilha específica para cada conjunto de análises, o número do protocolo da amostra no laboratório, a identificação da amostra, o número do anel e a massa do atilho de borracha e do papel-filtro ou pano.



Figura 13. Preparo das amostras coletadas com estrutura preservada para a realização das análises

5.2 Coleta de amostras com estrutura alterada

5.2.1 Materiais e equipamentos (Figura 14)

- a) pá de pedreiro (trincha), espátula ou pá de jardineiro;
- b) enxadão ou pá de corte;
- c) trado calador, holandês ou fatiador;
- d) régua com comprimento até a profundidade de coleta;
- e) baldes ou outros recipientes plásticos para colocar as subamostras e misturá-las, quando a coleta for realizada em lavours;
- f) embalagens plásticas resistentes, com volume definido em função da necessidade de amostra para as análises, previamente identificadas com o número da parcela e da camada amostrada;
- g) engradados plásticos para acondicionar as amostras e transportar os equipamentos;
- h) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- i) prancheta e planilhas para anotação das informações.



Figura 14. Materiais e equipamentos utilizados para coleta de amostras com estrutura alterada

5.2.2 Procedimento de coleta no campo

Em experimentos:

- a) limpar cuidadosamente a superfície do local de coleta da amostra, retirando a vegetação e outros materiais que não solo;
- b) abrir uma cova de aproximadamente 40 x 40cm de lado, com profundidade um pouco maior do que o limite inferior da última camada a ser amostrada, procurando não alterar a lateral utilizada para a coleta;
- c) coletar as amostras nas camadas estabelecidas e acondicioná-las nas embalagens plásticas previamente identificadas;
- d) acondicionar as embalagens em um engradado plástico e transportá-las para o laboratório.

Em lavouras:

- a) limpar cuidadosamente a superfície do local de coleta da amostra, retirando a vegetação e outros materiais que não solo;
- b) coletar subamostras na(s) camada(s) estabelecida(s) em quatro a seis pontos por lavoura, utilizando trado calador ou holandês;
- c) acondicionar as amostras em embalagens plásticas resistentes, identificadas com o número ou nome da lavoura, nome do agricultor, localidade e outras informações necessárias para identificação no laboratório;
- d) acondicionar as embalagens em engradados plásticos ou caixas de papelão e enviar para o laboratório.

5.2.3 Preparo da terra fina e separação das frações grosseiras

5.2.3.1 Materiais e equipamentos

- a) amostra de solo com estrutura alterada ou preservada, seca ao ar;
- b) peneiras de 20cm de diâmetro e abertura de malha de 20 e 2mm;
- c) rolo de madeira;
- d) tapete de borracha com 60 x 60cm de lado e 4 a 5mm de diâmetro;
- e) recipientes de plástico ou metal (bandeja ou bacia), com dimensões adequadas ao volume de solo;
- f) balança com precisão de 0,1g;
- g) escova de náilon;
- h) espanador ou pincel;
- i) cápsulas de alumínio;
- j) sacos plásticos;
- k) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- l) prancheta e planilha para anotação das informações.

5.2.3.2 Preparo da terra fina seca ao ar (TFSA)

- a) identificar a amostra e colocá-la dentro do recipiente plástico ou metálico;
- b) destorroar com as mãos e espalhar bem a amostra;
- c) deixar em local ventilado e seco até a estabilização da umidade;
- d) pesar e anotar a massa da amostra que vai ser preparada (MT_A);
- e) proceder ao destorroamento mecânico, colocando a amostra sobre o tapete de borracha, separando para um lado a fração grosseira e aplicando, com pressão das duas mãos, o rolo de madeira até desfazer os torrões maiores; cuidar para não quebrar os fragmentos de rocha ou concreções;
- f) passar a parte destorroada através da peneira de 2mm de abertura de malha, com auxílio do agitador de peneiras (no caso da ausência deste, efetuar agitação manual);
- g) repetir as operações de destorroamento e peneiramento até que toda a amostra seja processada;
- h) separar a fração retida na peneira de 2mm de abertura de malha para determinação de calhaus e cascalhos;
- i) determinar a massa da amostra que passou pela peneira de 2mm de abertura de malha, denominada de terra fina seca ao ar ($MTFSA_A$), e acondicioná-la em embalagem plástica resistente identificada com o número de protocolo;
- j) calcular a porcentagem de terra fina seca ao ar pela expressão:
$$TFSA (\%) = (MTFSA_A / MT_A) * 100.$$

5.2.3.3 Determinação de calhaus e cascalhos

- a) Colocar a fração grosseira, proveniente da determinação anterior, sobre a peneira de 2mm de abertura de malha;
- b) lavar com água corrente até eliminar os coloides agregados ou aderidos às partículas grosseiras; utilizar um dispersante quando essa fração for utilizada para análise mineralógica;
- c) colocar para secar ao ar e determinar a massa; essa massa corresponde à soma dos calhaus + cascalhos (MCC_A);
- d) passar o material por peneira de 20mm de malha e determinar a massa da fração que ficou retida, que corresponde aos calhaus (MCL_A)
- e) calcular a percentagem de calhaus e cascalhos pelas expressões:
$$\text{Calhaus (\%)} = (MCL_A / MT_A) * 100$$
$$\text{Cascalhos (\%)} = ((MCC_A - MCL_A) / MT_A) * 100, \text{ em que:}$$
$$MCL_A = \text{massa de calhaus, em gramas; } MT_A = \text{massa total da amostra, em gramas; e } MCC_A = \text{massa de calhaus + cascalhos, em gramas.}$$

6 Rotinas de laboratório para análises físicas do solo

6.1 Densidade e porosidade

6.1.1 Materiais e equipamentos

- a) bandejas de plástico com 10 a 15cm de altura;
- b) paquímetro;
- c) dessecador;
- d) estufa a 105°C;
- e) balança digital com precisão de 0,01g;
- f) mesa de tensão ou box de areia com sistema de drenagem em altura regulável;
- g) extrator de Richards;
- h) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- i) prancheta e planilha para anotação das informações (Apêndice 1).

6.1.2 Procedimento

- a) colocar as amostras em uma forma de plástico e adicionar gradativamente água de torneira, em intervalos de alguns minutos, até que o nível dela fique próximo da borda do anel;

b) preparar um conjunto composto por anel + atilho + papel + pano para determinar a retenção de água na superfície do anel e do atilho, e no interior do pano e do papel em cada tensão;

c) deixar nessas condições durante uma noite ou até que todas as amostras apresentem sua superfície brilhante, que corresponde à saturação da amostra; caso não seja obtida a saturação por capilaridade, deve-se aplicar vácuo às amostras ou adicionar água lentamente na superfície a partir de uma lateral (sem cobrir toda a amostra), para permitir a expulsão do ar aprisionado no seu interior;

d) determinar a massa dos conjuntos composto por anel + solo saturado + tara úmida (anel + atilho + pano + papel úmidos), com ($MU_{A_{sat}}$) e sem solo ($MU_{T_{sat}}$);

e) colocar as amostras na mesa de tensão ou no box de areia previamente saturado e equilibrado com lâmina de água a 60cm da superfície, que corresponde à aplicação de uma tensão de 6kPa, pressionando-os levemente;

f) deixar a amostra nessa condição por 24 horas para que a água retida em tensão menor do que a aplicada seja removida da amostra e determinar a massa úmida dos conjuntos com (MU_{A_6}) e sem solo e (MU_{T_6});

g) colocar a amostra no extrator de Richards, aplicar a tensão de 600kPa (6 bar) até a estabilização da umidade nas amostras e determinar a massa úmida dos conjuntos com ($MU_{A_{600}}$) e sem solo e ($MU_{T_{600}}$);

h) quando houver disponibilidade de equipamentos, determinar a resistência à penetração no penetrômetro de bancada ou ao cisalhamento no *vane tester*;

i) coletar uma amostra de aproximadamente 20g para determinar o fator de correção da umidade gravimétrica na tensão de 600kPa para solo seco: colocar a amostra dentro de uma cápsula de massa conhecida (MC_A); determinar a massa do conjunto cápsula + solo úmido - $MCSU_A$; secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa do conjunto cápsula + solo seco - $MCSS_A$;

j) no caso de utilizar a amostra para outras determinações, destorroar o solo remanescente e colocar para secar ao ar;

k) determinar a massa, o diâmetro interno e a altura do anel.

6.1.3 Cálculos

a) Volume do anel volumétrico utilizado para coleta da amostra (VA_A):

$$VA_A \text{ (cm}^3\text{)} = (\pi D_A^2 h_A)/4, \text{ em que } D = \text{diâmetro interno e } h = \text{altura do anel}$$

b) Fator de correção da umidade da amostra na tensão de 600kPa para solo seco (FUC_A):

$$FUC_A = (MCSS_A - MC_A)/(MCSU_A - MC_A)$$

c) Massa de água retida na tara em qualquer tensão ($MA_{T_{ten}}$):

$$MA_{T_{ten}} \text{ (g)} = MU_{T_{ten}} - MS_T, \text{ em que:}$$

$$MS_T = M_{anel_T} + M_{atilho_T} + M_{papel_T} + M_{pano_T}$$

- d) Massa de solo seco na amostra (MSS_A):
 $MSS_A (g) = (MU_{600} - MTS_A - MA_{T600}) * FCU_A$, em que:
 $MTS_A = Manel_A + Matilho_A + Mpapel_A + Mpano_A$
- e) Massa de água retida na amostra de solo em qualquer tensão (MA_{Aten}):
 $MA_{Aten} (g) = MU_{Aten} - MTS_A - MSS_A - MA_{Tten}$
- f) Densidade do solo da amostra (DS_A):
 $DS_A (g/cm^3) = MSS_A / VA_A$
- g) Umidade volumétrica da amostra em qualquer tensão (UV_{Aten}):
 $UV_{Aten} (cm^3/cm^3) = MA_{Aten} / VA_A$
- h) Volume de poros por classe de diâmetro equivalente:
 Porosidade total, $PT_A (cm^3/cm^3 \text{ ou } m^3/m^3) = UV_{Asat}$
 Macroporos, $MA_A (cm^3/cm^3 \text{ ou } m^3/m^3) = UV_{Asat} - UV_{A6}$
 Mesoporos, $ME_A (cm^3/cm^3 \text{ ou } m^3/m^3) = UV_{A6} - UV_{A600}$
 Microporos, $MI_A (cm^3/cm^3 \text{ ou } m^3/m^3) = UV_{A600}$

6.2 Curva de retenção de água no solo

6.2.1 Materiais e equipamentos

- bandejas de plástico com 10 a 15cm de altura;
- paquímetro;
- dessecador;
- estufa a 105°C;
- balança digital com precisão de 0,01g;
- mesa de tensão ou box de areia com sistema de drenagem em altura regulável;
- extrator de Richards;
- caneta colorida com tinta à base de álcool;
- prancheta e planilha para anotação das informações (Apêndice 2).

6.2.2 Procedimento

- Colocar as amostras em uma forma de plástico e adicionar gradativamente água de torneira, em intervalos de alguns minutos, até que o nível dela fique próximo da borda do anel;
- preparar um conjunto composto por anel + atilho + papel + pano para determinar a retenção de água na superfície do anel e do atilho, e no interior do pano e do papel em cada tensão;

c) deixar nessas condições durante uma noite ou até que todas as amostras apresentem sua superfície brilhante, que corresponde à saturação da amostra; caso não seja obtida a saturação por capilaridade, deve-se aplicar vácuo ou adicionar lentamente água na superfície das amostras, a partir de uma lateral (sem cobrir toda a amostra), para permitir a expulsão do ar aprisionado no seu interior;

d) determinar a massa dos conjuntos compostos por anel + solo saturado + tara úmida (anel + atilho + pano + papel úmido), com (MU_{Asat}) e sem solo (MU_{Tsat});

e) colocar a amostra na mesa de tensão ou no box de areia e aplicar, sequencialmente, as tensões de 0,2, 0,6, 2 e 6kPa (2, 6, 20 e 60cm), deixando as amostras nessa condição por, respectivamente, 6, 12, 18 e 24 horas;

f) determinar a massa úmida dos conjuntos com (MU_{Aten}) e sem solo (MU_{Tten}) após a aplicação de cada tensão;

g) colocar a amostra no extrator de Richards e aplicar, sequencialmente, as tensões de 20, 60, 200, 600 e 1.500kPa (0,2, 0,6, 2, 6 e 15 bar) até a estabilização da umidade nas amostras em cada tensão;

h) determinar a massa úmida dos conjuntos com (MU_{Aten}) e sem solo (MU_{Tten}) após a aplicação de cada tensão;

i) quando houver disponibilidade de equipamento, executar sequencialmente o ensaio de compressibilidade na amostra, reumedecendo-a e equilibrando a umidade na tensão de água estabelecida para esse ensaio;

j) retirar o atilho e o pano; colocar a amostra em uma cápsula de alumínio de massa conhecida (MC_A); determinar a massa do conjunto cápsula + solo úmido + anel na tensão aplicada ($MCSU_{Aten}$); secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa do conjunto cápsula + solo seco + anel ($MCSS_A$);

k) determinar a massa, o diâmetro interno e a altura do anel.

6.2.3 Cálculos

a) Volume do anel volumétrico utilizado para coleta da amostra (VA_A):

$$VA_A \text{ (cm}^3\text{)} = (\pi D_A^2 h_A)/4, \text{ em que:}$$

D = diâmetro interno e h = altura do anel

b) Massa de solo seco na amostra (MSS_A):

$$MSS_A \text{ (g)} = MCSS_A - MC_A - M_{anel_A} - M_{papel_A}$$

c) Massa de água retida na tara em qualquer tensão (MA_{Tten}):

$$MA_{Tten} \text{ (g)} = MU_{Tten} - MS_{T'} \text{ em que:}$$

$$MS_{T'} = M_{anel_T} + M_{atilho_T} + M_{papel_T} + M_{pano_T}$$

d) Massa de água retida na amostra de solo em qualquer tensão (MA_{Aten}):

$$MA_{Aten} \text{ (g)} = MU_{Aten} - MTS_A - MSS_A - MA_{Tten}, \text{ em que:}$$

$$MTS_A = M_{anel_A} + M_{atilho_A} + M_{papel_A} + M_{pano_A}$$

e) Densidade do solo da amostra (Ds):

$$DS \text{ (g/cm}^3\text{)} = MSS_A/VA_A$$

f) Umidade volumétrica da amostra em qualquer tensão (UV_{Aten});
$$UV_{Aten} (cm^3/cm^3) = MA_{Aten} / VA_A$$

g) Construir a curva de retenção de água, plotando os valores de tensões aplicados em escala logarítmica na abscissa e os valores de unidade volumétrica na ordenada.

6.3 Condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade

6.3.1 Materiais e equipamentos

- a) fita adesiva com largura de 2cm;
- b) formas de plástico com 10 a 15cm de altura;
- c) béqueres e provetas de polipropileno com capacidade variada;
- d) paquímetro;
- e) dessecador;
- f) estufa a 105°C;
- g) balança digital com precisão de 0,1g;
- h) permeâmetro de carga constante;
- i) box de areia;
- j) prancheta e planilha para anotação das informações (Apêndice 3);
- k) caneta colorida com tinta à base de álcool.

6.3.2 Procedimento

a) Encaixar o sobreanel de plástico na extremidade superior do anel e vedar o encaixe com fita adesiva;

b) colocar as amostras em uma forma de plástico e adicionar gradativamente água de torneira, em intervalos de alguns minutos, até que o nível dela fique próximo da borda do anel;

c) preparar um conjunto composto por anel + atilho + papel + pano para determinar a retenção de água na superfície do anel e do atilho, e no interior do pano e do papel em cada tensão;

d) deixar nessas condições durante uma noite ou até que todas as amostras apresentem sua superfície brilhante, que corresponde à saturação da amostra; caso não seja obtida a saturação por capilaridade, deve-se aplicar vácuo às amostras ou adicionar água lentamente na superfície a partir de uma lateral (sem cobrir toda a amostra), para permitir a expulsão do ar aprisionado no seu interior;

e) determinar a massa dos conjuntos anel + solo saturado + tara úmida (anel + atilho + pano + papel úmido), com (MU_{Asat}) e sem solo (MU_{Tsat});

f) colocar as amostras dentro de cada box no permeâmetro e encaixar os tubos para fornecimento de água;

g) abrir uma torneira, que fornece água para cada conjunto de dois boxes, e esperar até a estabilização da lâmina de água sobre o solo antes de abrir a torneira

para mais dois boxes; continuar até completar o set de amostras;

h) se for observada vazão muito alta em alguma(s) amostra(s), fechar a(s) torneira(s) correspondente(s) para determinar posteriormente a permeabilidade de forma individualizada, ou para um pequeno número de amostras; a alta vazão em uma ou mais amostras pode impedir a formação da lâmina constante de água sobre as outras, bem como dificultar a determinação da vazão no tempo estabelecido para as demais;

i) permitir a percolação de água pela amostra por um período de duas horas;

j) determinar o volume de água percolada em um determinado intervalo de tempo (5 ou 10 minutos); repetir esta determinação três vezes;

k) fechar as torneiras, desconectar a mangueira e remover cuidadosamente a amostra;

l) remover o sobreanel de plástico e colocar as amostras na mesa de tensão ou no box de areia com tensão de 6kPa (60cm) e deixar nessa condição por 48 horas, para que a água retida em tensão menor do que a aplicada seja removida da amostra;

m) determinar a massa úmida dos conjuntos com (MU_{A6}) e sem solo (MU_{T6});

n) coletar uma amostra de aproximadamente 20g para determinar o fator de correção de solo úmido para solo seco: colocar a amostra dentro de uma cápsula de massa conhecida (MC_A); determinar a massa do conjunto cápsula + solo úmido – $MCSU_A$; secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa do conjunto cápsula + solo seco – $MCSS_A$);

o) determinar a massa, o diâmetro interno e a altura do anel.

6.3.3 Cálculos

a) Volume do anel volumétrico utilizado para coleta da amostra (VA_A):

$VA_A \text{ (cm}^3\text{)} = (\pi D_A^2 h_A)/4$, em que: D = diâmetro interno e h = altura do anel

b) Condutividade hidráulica do solo saturado ($K\theta S_A$):

$K\theta S_A \text{ (cm/h}^1\text{)} = V * L / (A * \Delta t * h)$, em que:

V representa o volume de água, em cm^3 , amostrado em um intervalo de tempo Δt (h); A a área da superfície da amostra, em cm^2 , L o comprimento da amostra, em cm; e h a lâmina de água sobre o topo da amostra, em cm.

c) Fator de correção da umidade da amostra na tensão de 6kPa para solo seco (FCU_A):

$FCU_A = (MCSS_A - MC_A) / (MCDU_A - MC_A)$

d) Massa de água retida na tara em qualquer tensão (MA_{Tten}):

$MA_{Tten} \text{ (g)} = MU_{Tten} - MTS_A$, em que:

$MTS_A = Manel_T + Matilho_T + Mpapel_T + Mpano_T$

e) Massa de solo seco da amostra (MSS_A):

$$MSS_A (g) = (MU_{A6} - MTS_A - MA_{Tten}) * FCU_{A'}$$
 em que:

$$MTS_A = Manel_A + Matilho_A + Mpano_A$$

f) Massa de água retida na amostra de solo em qualquer tensão (MA_{Aten}):

$$MA_{Aten} (g) = MU_{Aten} - MTS_A - MSS_A - MA_{Tten}$$

g) Densidade do solo (DS_A):

$$DS_A (g/cm^3) = MSS_A / Va_A$$

h) Porosidade total (PT_A), micro (MI_A) e macroporos (MA_A);

$$PT_A (g/cm^3) = MA_{Asat} / Va_A$$

$$MI_A (g/cm^3) = MA_{A6} / Va_A$$

$$MA_A (g/cm^3) = PT_A - MI_A$$

6.4 Distribuição de tamanho de agregados e estabilidade em água

6.4.1 Materiais e equipamentos

a) jogo de peneiras de 20cm de diâmetro e 5cm de altura, com abertura de malha de 8, 4, 2, 1 e 0,5mm, e fundo;

b) jogos de peneiras de 13cm de diâmetro e 5cm de altura, com abertura de malha de 4, 2, 1 e 0,5mm;

c) oscilador mecânico, com amplitude de oscilação de aproximadamente 4cm e frequência de oscilação de aproximadamente 30 ciclos por minuto;

d) recipiente com água, dentro do qual oscilará o jogo de peneiras, que pode ser individual para cada jogo de peneiras ou único para todos os jogos, semelhante ao aparelho de Yoder;

e) recipiente de plástico com diâmetro maior do que o das peneiras, para recolher os agregados retidos em cada uma delas;

f) piseta de 500ml;

g) torneira com esguicho;

h) estufa a 105°C;

i) dessecadores;

j) balança com precisão de 0,01g;

k) cápsulas de alumínio numeradas;

- l) bandejas de alumínio para acondicionar as cápsulas;
- m) anéis ou tubos com 4 a 5cm de altura e 5 a 6cm de diâmetro, com papel-filtro fixado em uma extremidade;
- n) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- o) prancheta e planilha para anotação das informações (Apêndice 4).

6.4.2 Preparo das amostras

- a) Destorroar cuidadosamente a amostra contida no anel volumétrico (ou bloco de solo) sobre a peneira de 8mm de abertura de malha, separando-se cuidadosamente os agregados nos planos de fraqueza, até que toda a amostra passe pela peneira; não forçar os agregados através da malha da peneira e evitar sua agitação brusca;
- b) secar as amostras ao ar livre e à sombra por pelo menos uma semana, ou até a umidade se estabilizar;
- c) acondicionar as amostras em sacos plásticos ou recipientes com tampa até a data da realização da análise; não armazenar as amostras por mais de 6 meses.

6.4.3 Distribuição de tamanho dos agregados secos ao ar

- a) Distribuir cuidadosamente os agregados sobre uma bandeja de plástico de fundo plano, em movimentos de ida e vinda, para evitar a segregação deles;
- b) coletar amostra(s) de 25 a 30g de agregados secos ao ar transversalmente, em toda a extensão da faixa onde os agregados foram distribuídos, utilizando um recipiente retangular; determinar a massa total de agregados da amostra;
- c) colocar a amostra sobre o conjunto de peneiras de 20cm de diâmetro e 5cm de altura, com aberturas de malha, sequencialmente de cima para baixo, de 4, 2, 1, e 0,5mm, e fundo;
- d) agitar as peneiras cuidadosamente em 12 movimentos de vaivém em uma direção; girar as peneiras 90° e repetir os 12 movimentos;
- e) determinar a massa dos agregados retida em cada peneira e no fundo;
- f) recompor a amostra, juntando os agregados retidos em todas as peneiras (não incluir a amostra retida no fundo) para determinação da estabilidade dos agregados em água;
- g) calcular o diâmetro médio ponderado aritmético (DMA_{SA}) ou geométrico ($DMGsa$) dos agregados secos ao ar, utilizando as seguintes fórmulas:

$$DMA_{SA} = \sum_{i=1}^n (p_i * d_i)$$

$$DMGsa = \exp \left[\sum_{i=1}^n (p_i * \ln d_i) \right], \text{ em que:}$$

i representa a classe de agregados (8 a 4, 4 a 2, 2 a 1, 1 a 0,5 e < 0,5mm); pi é a proporção de agregados presentes na respectiva classe em relação à massa total de agregados; e d é o diâmetro médio da classe (respectivamente 6, 3, 1,5, 0,75 e 0,25mm).

6.4.4 Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água

a) Coletar uma amostra de 10 a 20g de agregados secos ao ar para determinar a umidade residual e corrigir a massa total úmida para massa total seca de agregados: colocar a amostra dentro de uma cápsula de massa conhecida (MC_N); determinar a massa do conjunto cápsula + solo úmido – $MCSU_A$; secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa do conjunto cápsula + solo seco – $MCSS_A$;

b) montar o conjunto de peneiras pequenas no local específico (tubo individual ou recipiente coletivo), posicionar o equipamento no ponto mais alto do cursor e colocar água até um nível que toque no fundo da peneira superior;

c) colocar a amostra obtida conforme descrito na letra “f” do item 6.4.3 no fundo da peneira após o pré-umedecimento ou desagregação adicional, quando for o caso;

d) deixar nessa condição por 10 minutos;

e) ligar o aparelho durante 10 minutos;

f) remover o conjunto de peneiras e repassar os agregados retidos em cada uma para uma lata numerada, secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa dos agregados de cada classe; a massa de agregados com diâmetro menor que 0,25mm corresponde à diferença entre a massa seca total da amostra de agregados e a soma das massas dos agregados retidas nas outras peneiras; no caso de utilizar recipiente individual para cada conjunto de peneiras, também é possível fracionar em outras classes de agregados (0,25; 0,10 e 0,05mm, por exemplo);

g) calcular o diâmetro médio ponderado aritmético (DMAea) ou geométrico (DMGea) dos agregados estáveis em água, utilizando as seguintes fórmulas:

$$DMAea = \sum_{i=1}^n (pi * di)$$

$$DMGea = \exp \left[\sum_{i=1}^n (pi * \ln di) \right], \text{ em que:}$$

i representa a classe de agregados (8 a 4; 4 a 2; 2 a 1; 1 a 0,5; e < 0,5mm); pi é a proporção de agregados presentes na respectiva classe em relação à massa total de agregados; e d é o diâmetro médio da classe (respectivamente 6; 3; 1,5; 0,75 e 0,25mm);

h) calcular o índice de estabilidade dos agregados em água da amostra IEA_A ,

utilizando a fórmula:

$$IEA_{ADMA} = DMA_{Ae}/DMA_{As}$$

$$IEA_{ADMG} = DMGe/DMGs$$

6.4.5 Estabilidade de uma classe de agregados

a) Selecionar uma ou mais classes de agregados obtidas no peneiramento seco (item 6.4.2), geralmente agregados com diâmetro entre 2 e 1mm;

b) coletar uma amostra de 10 a 20g desses agregados para determinar a umidade residual e corrigir a massa úmida para massa seca de agregados utilizados no ensaio: colocar a amostra dentro de uma cápsula de massa conhecida (MC_N); determinar a massa do conjunto lata + solo úmido – $MCSU_A$; secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa do conjunto lata + solo seco – $MCSS_A$;

c) montar o aparelho colocando a peneira com menor abertura de malha da classe no local específico (tubo individual ou recipiente coletivo), posicionar o equipamento no ponto mais alto do cursor e colocar água até um nível que toque no fundo da peneira;

d) colocar aproximadamente 4g de agregados + partículas primárias (MTU_A) no fundo da peneira;

e) deixar nessa condição por 10 minutos;

f) ligar o aparelho com aproximadamente 42 oscilações por minuto durante 5 minutos;

g) remover a peneira e repassar os agregados e partículas de areia retidos nela para uma cápsula de alumínio numerada e com massa conhecida (MC_N);

h) secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa dos agregados + partículas de areia ($MCAA_A$);

i) adicionar solução dispersante na cápsula (hidróxido de sódio ou calgon) e deixar nessa condição por pelo menos 4 horas;

j) colocar a amostra sobre a peneira de menor abertura de malha e lavar o material com jato de água, desmanchando, com o auxílio de um bastão de borracha, os agregados que não se tiverem desestruturado, até que permaneçam sobre a peneira apenas as partículas de areia;

k) passar as partículas de areia retidas na peneira para a mesma cápsula utilizada anteriormente, secar em estufa a 105°C até massa constante e determinar a massa das partículas de areia (MCA_{RA}).

6.4.6 Cálculos

a) Fator de correção para umidade da amostra (FC):

$$FC = (MCSS_A - MC_N)/(MCSU_A - MC_N)$$

b) Massa seca dos agregados + areia da amostra (MTS_A):

$$MTS_A (g) = MTU_A \times FC$$

c) Massa de areia na amostra (MAR_A)

$$MAR_A = MCAR_A - MC_N$$

d) Massa total de agregados na amostra (MTA_A):

$$MTA_A = MTS_A - MAR_A$$

e) Massa dos agregados estáveis em água da amostra (MAE_A):

$$MAE_A = MCAA_A - MAR_A$$

f) Índice de estabilidade da classe de agregados ($IECA_A$):

$$IECA_A = MAE_A / MTA_A$$

6.5 Densidade de partículas

6.5.1 Materiais e equipamentos

- a) balões volumétricos de 50ml;
- b) funil;
- c) pincel de cabelo;
- d) álcool etílico 72 GL;
- e) bureta de 50ml;
- f) estufa para 105°C;
- g) cápsulas de alumínio;
- h) balança digital com precisão de 0,01g;
- i) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- j) prancheta e planilha para anotação das informações.

6.5.2 Procedimento

a) Aferição dos balões: anotar a massa do balão seco ao ar (MB_N); completar até o menisco com água fervida e resfriada a 20°C (ver especificação da temperatura no balão) e anotar a massa do balão + água ($MBAG_N$);

b) determinação da densidade do álcool: preencher a bureta até 50ml; colocar um copo de béquer sobre a balança e zerá-la; passar o álcool da bureta para o copo de béquer e determinar a massa de álcool (MAL_N); repetir a operação três vezes antes do início de cada conjunto de determinações, principalmente quando o álcool for reutilizado.

c) protocolar as informações em planilha específica, identificando a amostra com o número de protocolo;

d) colocar aproximadamente 20g de terra fina seca ao ar (TFSA) em uma cápsula de alumínio, levar à estufa a 105°C e deixar secar por pelo menos 12 horas;

e) transferir a amostra para o balão volumétrico de 50ml seco ao ar, utilizando o funil e o pincel;

- f) determinar a massa do conjunto balão + solo seco (MBS_A);
- g) adicionar vagarosamente álcool etílico no balão até aproximadamente metade do seu volume e agitar bem o material em movimentos circulares para eliminar as bolhas de ar aprisionadas nas partículas; se houver equipamento disponível, pode-se aplicar uma leve sucção na boca do balão para acelerar a eliminação das bolhas;
- h) completar o volume do balão até o nível de aferição (menisco) utilizando, no final, a bureta;
- i) secar externamente o balão (caso tenha umedecido no procedimento) e determinar a massa do conjunto balão + solo seco + álcool ($MBSAL_A$);
- j) calcular a densidade das partículas da amostra de solo (DP_A) utilizando as seguintes expressões:

$$\text{Volume do balão: } VB_N \text{ (cm}^3\text{)} = MBA_N - MB_N \text{ (D}_{\text{água}} = 1\text{g/m}^3\text{)}$$

$$\text{Densidade do álcool: } DAL \text{ (g/cm}^3\text{)} = MAL_N / 50$$

$$\text{Massa de solo seco: } MS_A \text{ (g)} = MBS_A - MB_N$$

$$\text{Volume de álcool gasto: } VAL_A \text{ (cm}^3\text{)} = (MBSAL_A - MBS_A) / DAL$$

$$\text{Densidade das partículas: } DP_A \text{ (g/cm}^3\text{)} = MS_A / (VB_N - VAL_A)$$

6.6 Granulometria

6.6.1 Método da pipeta

6.6.1.1 Materiais e equipamentos

- a) mesa agitadora com movimento horizontal recíprocante;
- b) vidro tipo *snap-cap* ou frasco de plástico com capacidade de 150 a 200ml;
- c) esferas de politetrafluoretileno (*Teflon*) ou de borracha de aproximadamente 1,5cm de diâmetro;
- d) proveta de 1.000ml;
- e) pipeta volumétrica de 50ml;
- f) macrocontrolador para pipetagem ou pera de borracha;
- g) agitador manual (bastão com borracha perfurada na ponta);
- h) funil de plástico com tubo de saída de diâmetro menor que o das esferas;
- i) termômetro;
- j) cronômetro;
- k) béqueres de vidro numerados, com capacidade de 100ml e massa conhecida;
- l) cápsulas de alumínio pequenas, numeradas e com massa conhecida;
- m) água destilada ou desionizada;
- n) solução dispersante (NaOH 1N ou hexametáfosfato de sódio tamponado);
- o) pisseta de plástico com capacidade de 0,5L;
- p) estufa a 105°C;

- q) balança de precisão de 0,001g;
- r) peneira de 20cm de diâmetro e abertura de malha de 0,053mm;
- s) peneiras de 7,5, 12 ou 20cm de diâmetro e abertura de malha de 1, 0,5, 0,25, e 0,10mm;
- t) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- u) prancheta e planilha para anotação das informações (Apêndice 5).

6.6.1.2 Procedimento

- a) Colocar massa conhecida (aproximadamente 20g) de terra fina seca ao ar (MTFSA_A) em vidro *snap-cap* ou frasco de plástico, com auxílio do funil de plástico seco;
- b) colocar duas esferas de borracha ou *Teflon* em cada recipiente;
- c) adicionar 100ml de água destilada ou desionizada;
- d) adicionar 10ml de solução 6% (normal) de hidróxido de sódio (solos oxidícos), ou 10ml de hexametáfosfato de sódio tamponada com bicarbonato de sódio (solos não oxidícos);
- e) tampar o recipiente e agitar manualmente a amostra até que haja uma perfeita mistura do solo com a solução;
- f) deixar em repouso durante pelo menos 8 horas;
- g) acondicionar os recipientes no agitador e agitar por 4 horas;
- h) preparar a prova em branco, colocando 10ml de dispersante na proveta e completar o volume com água destilada ou desionizada;
- i) passar o conteúdo de cada recipiente para uma proveta de 1.000ml, com o auxílio da pisseta com água destilada ou desionizada, passando através do funil para retirar as esferas; completar o volume na proveta até a marca de 1.000ml; proceder da mesma forma com as demais amostras preparadas;
- j) agitar a suspensão durante 1 minuto com o agitador manual e acionar o cronômetro ao concluir a agitação; deixar um intervalo de 1 ou 2 minutos entre uma amostra e outra; um operador pode acompanhar até 30 amostras;
- k) medir a temperatura de algumas amostras e, considerando a temperatura média, verificar na Tabela 1 o tempo de sedimentação para coleta da fração argila, a 5cm de profundidade da solução;
- l) no tempo determinado, introduzir a ponta da pipeta volumétrica de 50ml até 5cm de profundidade e, com o auxílio do macrocontrolador ou da pera de borracha, coletar a suspensão;
- m) transferir os 50ml da suspensão para um béquer de vidro de 100ml, com massa conhecida (MB_N);
- n) efetuar o mesmo procedimento para a prova em branco;
- o) colocar o béquer na estufa a 105°C até a completa evaporação da água, o que se consegue com secagem durante 24 horas em estufa com circulação forçada de ar, ou 48 horas em estufa sem circulação forçada de ar;
- p) retirar da estufa, colocar em dessecador até o completo resfriamento e

determinar a massa do béquer + argila + dispersante nas suspensões com amostras (MBAD_A) e do béquer + dispersante na suspensão da prova em branco (MBD), com aproximação de 0,001g;

q) passar o conteúdo remanescente na proveta através de peneira com abertura de malha de 0,05mm, lavando bem o material retido na peneira com jato de água de forma que apenas as partículas com diâmetro maior do que 0,05mm (fração areia) permaneçam sobre ela;

r) transferir a areia para a cápsula de alumínio de massa conhecida (MC_N), eliminar o excesso de água e colocar para secar em estufa a 105°C por 24h;

s) retirar da estufa, colocar em dessecador até o completo resfriamento e determinar a massa da cápsula + areia total (MCAT_A) com aproximação de 0,001g;

t) transferir essa fração para peneira com abertura de malha de 0,25mm, colocada sobre o fundo correspondente, agitar manualmente por 30 segundos e determinar a massa de areia retida na peneira, denominada areia grossa (MCAG_A); havendo interesse para estudo e disponibilidade de peneiras, esse fracionamento pode ser realizado com um conjunto de peneiras sobrepostas com abertura de malha, de cima para baixo, de 1, 0,5, 0,25 e 0,10mm, para determinação das frações areia muito grossa (MAMG_A) (2 a 1mm), areia grossa (MAG_A) (1 a 0,5mm), areia média (MAM_A) (0,5 a 0,25mm), areia fina (MAF_A) (0,25 a 0,10mm) e areia muito fina (MAMF_A) (0,10 a 0,05mm);

u) colocar 10 a 20g de TFSA em uma cápsula de alumínio de massa conhecida (MC_N) e determinar a massa do conjunto cápsula + solo úmido (MCSU_A); secar em estufa a 105°C até massa constante, deixar esfriar no dessecador e determinar a massa do conjunto cápsula + solo seco (MCSS_A).

6.6.1.3 Cálculos

a) Fator de correção para umidade da amostra (FCU_A)

$$FCU_A = (MCSS_A - MC_N) / (MCSU_A - MC_N)$$

b) Massa de solo seco na amostra (MSS_A):

$$MSS_A (g) = MTFS_A \times FCU_A$$

c) Teor de argila na amostra:

$$\text{Argila (g/kg)} = [(MAD_A - MD) / MSS_A] \times 1.000, \text{ em que:}$$

$$MAD_A (g) = MBAD_A - MB_N$$

$$MD (g) = MBD - MB_N$$

d) Teor de areia na amostra:

$$\text{Areia total (g/kg)} = [MCAT_A - MC_N] / MSS_A \times 1.000$$

$$\text{Areia fina (g/kg)} = [(MCAT_A - MCAG_A - MC_N) / MSS_A] \times 1.000$$

$$\text{Areia grossa (g/kg)} = [(MCAG_A - MC_N) / MSS_A] \times 1.000$$

$$\text{Qualquer fração areia (g/kg)} = (MAF_A / MSS_A) \times 1.000$$

e) Teor de silte na amostra:

$$\text{Silte (g/kg)} = (1.000 - \text{argila} - \text{areia total})$$

Tabela 2. Estimativa do tempo para amostragem da fração argila (fração com diâmetro menor que 0,002mm) em função da temperatura da suspensão aquosa, para uma profundidade de coleta de 5cm

Temperatura (°C)	Tempo	Temperatura (°C)	Tempo
10	5h11min	23	3h43min
11	5h03min	24	3h38min
12	4h55min	25	3h33min
13	4h47min	26	3h28min
14	4h39min	27	3h24min
15	4h33min	28	3h19min
16	4h26min	29	3h15min
17	4h20min	30	3h10min
18	4h12min	31	3h07min
19	4h06min	32	3h03min
20	4h00min	33	2h58min
21	3h54min	34	2h55min
22	3h48min	35	2h52min

Nota: Cálculos pela Lei de Stokes, considerando a densidade de partículas igual a 2,65g/cm³.

Fonte: Embrapa (1997).

6.6.2 Método do densímetro

6.6.2.1 Materiais e equipamentos

- a) mesa agitadora com movimento horizontal reciprocante;
- b) vidro tipo *snap-cap* ou frasco de polipropileno, com capacidade de 150 a 200ml;
- c) esferas de borracha ou de *Teflon*, com aproximadamente 1,5cm de diâmetro;
- d) proveta de 1.000ml;
- e) agitador manual (bastão com borracha perfurada na ponta);
- f) funil;
- g) termômetro;
- h) cronômetro;
- i) cápsulas de alumínio pequenas, numeradas e com massa conhecida;
- j) água destilada ou desionizada;
- k) solução dispersante (NaOH 1N ou hexametáfosfato de sódio tamponado);

- l) pisseta de plástico com capacidade de 0,5L;
- m) estufa a 105°C;
- n) balança de precisão de 0,001g;
- o) peneira de 20cm de diâmetro e malha de 0,05m;
- p) peneiras de 7,5, 12 ou 20cm de diâmetro e abertura de malha de 1, 0,5, 0,25 e 0,1mm;
- q) densímetro ASTM 152 H;
- r) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- s) prancheta e planilha para anotação das informações (Apêndice 6).

6.6.2.2 Procedimento

- a) Colocar 50g de terra fina seca ao ar (MTFSA_A) no vidro *snap-cap* ou frasco de plástico;
- b) adicionar 100ml de água destilada ou desionizada;
- c) adicionar 25ml de solução 6% (normal) de hidróxido de sódio, ou 25ml de hexametáfosfato de sódio, tamponada com carbonato de sódio;
- d) colocar duas esferas de borracha ou *Teflon* em cada recipiente, tampar o vidro e agitar manualmente a amostra até que haja uma perfeita mistura do solo com a solução;
- e) deixar em repouso por pelo menos 8 horas;
- f) acondicionar os recipientes no agitador horizontal e agitar por 4 horas;
- g) preparar a prova em branco colocando 25ml de dispersante na proveta e completar o volume com água destilada;
- h) passar o conteúdo de cada recipiente para uma proveta de 1.000ml, com o auxílio da pisseta com água destilada ou desionizada, passando através do funil para retirar as esferas e completar o volume na proveta até a marca de 1.000ml; proceder da mesma forma com as demais amostras preparadas;
- i) agitar a suspensão durante 1 minuto com o agitador manual e acionar o cronômetro imediatamente após concluir a agitação;
- j) mergulhar cuidadosamente o densímetro na suspensão e efetuar leituras (L_{NA}) nos tempos de 30 e 60 segundos, conservando o densímetro dentro da suspensão;
- k) retirar o densímetro cuidadosamente;
- l) efetuar leituras nos tempos de 3 e 10 minutos;
- m) repetir a rotina entre os itens h e l para as demais amostras;
- n) agitar novamente as amostras por aproximadamente 1 minuto, com intervalos de 1 ou 2 minutos entre amostras, e realizar a leitura nos tempos de 0,5, 1,5, 4, 8 e 24 horas a contar do início da sedimentação, colocando cuidadosamente o densímetro dentro da suspensão 20 a 30 segundos antes do tempo definido para cada leitura;
- o) após cada leitura, retirar cuidadosamente o densímetro e mergulhar em uma proveta com água nas mesmas condições das amostras e da prova em branco,

lavando-o se necessário;

p) medir a temperatura da prova em branco e das amostras em cada tempo de leitura e anotar o fator de correção (ct) da leitura do hidrômetro para 30°C;

q) após o término das leituras, passar o conteúdo da proveta através de peneira com abertura de malha de 0,05mm, lavando bem o material retido na peneira com jato forte de água, de forma que permaneçam apenas as partículas com diâmetro maior do que 0,05mm (fração areia) sobre ela;

r) transferir essa fração para uma cápsula de alumínio de massa conhecida (MC_N), eliminar o excesso de água e colocar para secar em estufa a 105°C por 24 horas;

s) retirar da estufa e colocar em dessecador até o completo resfriamento e determinar a massa da cápsula + areia total ($MCAT_A$), com aproximação de 0,001g;

t) transferir essa fração para um conjunto de peneiras sobrepostas com abertura de malha, de cima para baixo, de 1, 0,5, 0,25 e 0,1mm, para determinação das frações areia muito grossa ($MAMG_A$) (2 a 1mm), areia grossa (MAG_A) (1 a 0,5mm), areia média (MAM_A) (0,5 a 0,25mm), areia fina (MAF_A) (0,25 a 0,10mm) e areia muito fina ($MAMF_A$) (0,10 a 0,05mm);

u) preencher a planilha com os valores correspondentes;

v) colocar 10 a 20g da TFSA em uma cápsula de alumínio de massa conhecida (MC_N), e determinar a massa do conjunto cápsula + solo úmido ($MCSU_A$); secar em estufa a 105°C até massa constante, deixar esfriar no dessecador e determinar a massa do conjunto cápsula + solo seco ($MCSS_A$).

6.6.2.3 Cálculos

a) Fator de correção para umidade da amostra (FCU_A):

$$FCU_A = (MCSS_A - MCN) / (MCSU_A - MCN)$$

b) Massa de solo seco na amostra (MSA):

$$MS_A (g) = MTFSA_A \times FCU_A$$

c) Leitura corrigida para temperatura:

Lct_a ou Lct_{br} = L – ct, em que:

L é a leitura do densímetro na prova em branco (L_{br}) ou na amostra (L_a) e ct é o fator de correção da temperatura para 30°C (16 a 21°C = 0,20; 22 a 27°C = 0,25; 28 a 35°C = 0,30; ou $ct = 0,0824 + 0,0068T$).

d) Concentração de partículas em cada tempo de leitura:

$CP (g \cdot L^{-1}) = (Lct_a - Lct_{br}) \cdot FDP$, em que:

$FDP = 2,7151 - 1,0697 \cdot DP_A + 0,1593 \cdot DP_A^2$; Lct_a = leitura da amostra corrigida para temperatura; Lct_{br} = leitura da prova em branco corrigida para temperatura; FDP = fator de correção para densidade de partículas diferente de 2,65g/m³; e $DP_A (g/m^3)$ = densidade de partículas da amostra.

e) Concentração de partículas:

$$CP (\%) = (CP / MSS_A) * 100$$

f) Fator de correção para temperatura e densidade de partículas (FCTD_A):

$$FCTD_A = 3,69468 - 0,02017 * T + 0,00016 * T^2 - 1,3659 * dp_a + 0,1974 * dp_a^2$$

g) Diâmetro das partículas, em microns:

$$DIP = ((49,37 - 0,2808 * L_a) * FCTD_A) / \log tempo_{min}$$

h) Com os pares de dados de concentração e de diâmetro de partículas para cada tempo de leitura, elaborar o gráfico com a abscissa correspondendo ao diâmetro equivalente da partícula, em escala logarítmica, e a ordenada à concentração de sedimentos, em percentagem acumulada e, assim, estimar a concentração para as classes de diâmetro de partículas estabelecidas.

6.6.3 Granulometria de sedimentos

6.6.3.1. Materiais e equipamentos

- a) bacias de plástico e formas de alumínio;
- b) peneiras de 20cm de diâmetro e abertura de malha de 2, 4, 8, 16 e 32mm;
- c) cápsulas de alumínio com capacidade de aproximadamente 200ml;
- d) pisseta;
- e) peneira de plástico com abertura ≤ 2 mm;
- f) estufa a 60 e a 105°C;
- g) caneta colorida com tinta à base de álcool;
- h) prancheta e planilha para anotação das informações.

6.6.2.2 Procedimento

- a) Protocolar as informações em planilha específica, identificando a amostra com o número de protocolo;
- b) caso a amostra possua massa maior que 1kg, dividi-la criteriosamente, por “quarteamento”, até obter a massa desejada;
- c) umedecer e homogeneizar a amostra dentro de bacia de plástico, evitando excesso de água;
- d) passar toda a amostra pelo conjunto de peneiras colocadas sobre bacia de plástico, na ordem, de 32, 16, 8, 4 e 2mm de abertura de malha de cima para baixo, lavando cuidadosamente uma a uma com jato de água, evitando excessos;
- e) quando houver necessidade, desmanchar manualmente os agregados até que permaneçam sobre a peneira apenas as partículas minerais ou orgânicas com diâmetro maior do que a abertura da respectiva peneira;

f) passar o material retido em cada peneira para uma cápsula de alumínio numerada, anotando os dados na planilha para determinação dos sedimentos grosseiros de cada fração;

g) colocar as cápsulas em estufa a 105°C até a evaporação completa da água e determinar a massa de sedimentos secos em estufa em cada classe de diâmetro (MSC_A), da seguinte forma: colocar sobre a balança, pressionar a tecla “tara”, remover o material e colocar novamente a cápsula sobre a balança; o valor negativo que aparecer no mostrador corresponde à massa de sedimentos daquela classe de diâmetro;

h) passar o conteúdo da bacia de plástico (sedimentos com diâmetro $\leq 2\text{mm}$) para uma forma de alumínio, identificar com o número de protocolo e secar em estufa com circulação forçada de ar a 60°C até massa constante;

i) retirar da estufa, deixar esfriar e determinar a massa do material com a mesma balança utilizada nas amostras de sedimentos grosseiros e anotar na planilha;

j) acondicionar a amostra em saco plástico, identificado-o com o número de protocolo;

k) determinar a granulometria dos sedimentos com diâmetro $\leq 2\text{mm}$ pelo método do densímetro;

l) determinar a distribuição de diâmetro de sedimentos e elaborar a respectiva curva de porcentagem acumulada em função do diâmetro da partícula (Figura 15) e calcular a distribuição percentual das partículas em cada classe de diâmetro previamente estabelecida (Tabela 3).

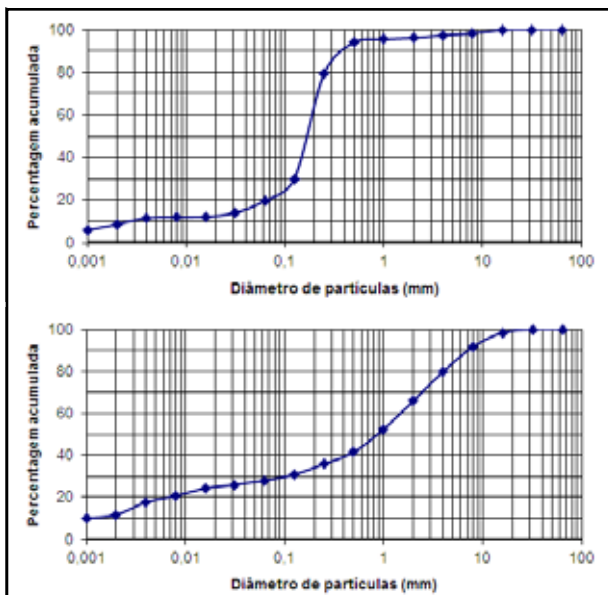


Figura 15. Gráficos de porcentagem acumulada de sedimentos em função do diâmetro de partículas, em amostras coletadas em dois locais de Santa Catarina (Rio Caveiras [superior] e Microbacia Concórdia [inferior])

Tabela 3. Porcentagem de partículas em cada fração e teor acumulado até a respectiva fração, determinados a partir das curvas de concentração em função do diâmetro dos sedimentos, apresentadas na Figura 15

Classe textural	Diâmetro superior mm	Foz do Caveiras		MB Concórdia	
		Fração	Acum.	Fração	Acum.
		 %			
Argila fina	0,001	5,8	5,8	100	10,0
Argila média	0,002	2,8	8,6	1,6	11,6
Argila grossa	0,004	2,9	11,5	6,0	17,7
Silte muito fino	0,008	0,3	11,8	3,0	20,6
Silte fino	0,016	0,3	12,1	3,6	24,2
Silte médio	0,031	2,1	13,9	5,4	26,0
Silte grosso	0,063	5,7	19,7	2,0	28,0
Areia muito fina	0,125	10,4	30,1	2,8	30,8
Areia fina	0,25	49,4	79,5	5,0	35,8
Areia média	0,5	14,4	93,9	5,6	41,4
Areia grossa	1	1,5	95,4	11,1	52,5
Areia muito grossa	2	0,6	96,0	13,4	65,9
Cascalho muito fino	4	1,3	97,3	13,9	79,8
Cascalho fino	8	0,9	98,2	11,8	91,6
Cascalho médio	16	1,6	99,8	6,8	98,4
Cascalho grosso	32	0,2	100,0	1,6	100,0
Cascalho muito grosso	64	0,0	100,0	0,0	100,0

7 Considerações finais

A publicação da descrição pormenorizada de métodos de rotina, para as análises físicas mais utilizadas em laboratórios de solos, pretende atender a demanda por métodos padronizados e de fácil execução, o que viabilizaria a realização de um maior número de análises por jornada e a comparação dos resultados obtidos entre os laboratórios, visando à implantação de um sistema de controle de qualidade.

8 Agradecimentos

O autor agradece à Fapesc, pela concessão de recursos para aquisição de equipamentos e publicação desta metodologia, e aos funcionários do Laboratório de Física do Solo da Estação Experimental da Epagri de Campos Novos, pela realização dos testes de operacionalidade dos métodos. Também agradece aos professores José Miguel Reichert (UFSC), Dalvan José Reinert (UFSC), Jackson Adriano Albuquerque (Udesc), Vilson Antônio Klein (UPF) e Eloy Pauletto (Ufpel), pelas contribuições em

discussões sobre métodos para análises físicas do solo, utilizados para a adaptação e a descrição dos métodos de rotina aqui apresentados.

9 Referências

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6508 – Determinação da massa específica em grãos de solo**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 8p.
2. CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.
3. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: SBRS/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
4. CURTI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBRS, 1993. 90p.
5. DANE, J.H.; TOPP, G.C. **Methods of soil analysis**. Part 4 – Physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. 1.692p. (Book Series, 5).
6. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPQ, 1997. 212p. (Documentos, 1).
7. GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.
8. GREENLAND, D.J. Structural organization of soils and crop production. In: LAL, R.; GREENLAND, D.J. (Eds.). **Soil physical properties and crop production in the tropics**. New York: Wiley, 1979. p.47-56.
9. GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de procedimento. **Ciência Rural**, UFSM, Santa Maria, v.36, n.2, p.664-668, 2006.
10. HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.
11. KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A. et al. (Eds.). **Methods of soil analysis – Part 1 – Physical and Mineralogical Analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.511-519. (Agronomy, 9).
12. KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. et al. (Eds.). **Methods of soil analysis – Part 1 – Physical and Mineralogical Analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy, 9).
13. LEINZ, V.; AMARAL, S.E. **Geologia geral**. São Paulo: Companhia Editora Nacional,

2003. 400p.

14. McCALLA, T.M. Water-drop method of determining stability of soil structure. **Soil Science**, v.58, p.117-121, 1944.
15. REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.283-290, 1993.
16. TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 1998. 793p.
17. TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
18. TRUMAN, C.C.; BRADFORD, J.M.; FERRIS, J.E. Antecedent water content and rainfall energy influence on soil aggregate breakdown. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.1385-1392, 1990.
19. VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V.; REICHERT, J.M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.121-128, 1993.
20. VEIGA, M.; SANTI, G.R.; REINERT, D.J. et al. Estabilidade de agregados em diferentes condições de energia de desagregação e de umidade antecedente, em um Latossolo Vermelho distrófico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBCS/UFSM, 2004.
21. VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. et al. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1437-1446, 2008.
22. YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison: American Society of Agronomy, v.28, p.337-351, 1936.
23. YOUNG, R.A. A method of measuring aggregate stability under waterdrop impact. **Transactions of the ASAE**, v.27, p.1351-1354, 1984.

Apêndice 1 – Planilha para anotação dos dados para determinação da densidade e porosidade do solo

DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO														
ENVIADO POR:					LOCAL:				DATA:					
Amostra		Anel			Tara	Massa após tensão aplicada			Umidade na tensão de 600kPa					
Protocolo	Identif.	A _u	MA _u	VA _u	At+pp	0kPa/5at	6kPa/60cm	600kPa/60	C _u	MC _u	MC50 _u	MC55 _u	FC _u	MSS _u
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														

Apêndice 2 – Planilha para anotação dos dados para determinação da curva de retenção de água no solo

CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO																	
ENVIADO POR:					LOCAL:				DATA:								
Número		Anel			Tara	Box de arêla (cm)				Extrator de Richards (MPa)				Solo seco estufa			
Protocolo	Identif.	A _u	MA _u	VA _u	At+pp	Paquet	0 kPa	2	6	20	60	20	30	200	600	170 °C 72h	massa g
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	

Apêndice 3 – Planilha para anotação dos dados para determinação da condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade do solo

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA, DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO												Área anel (cm²) = _____		Área anel (cm²) = _____		Área interna (cm²) = _____	
ENVIADO POR: _____				LOCAL: _____				DATA: _____									
Amostra		Dados do anel			Tara	Volume de água coletado (mL)			Massa anel seco (g)		Umidade na tensão de kPa						
Protocolo	Identif.	A _u	BA _u	VA _u	anel	V1	V2	V3	t (min)	kPa	kPa	C _u	MC _u	MC50 _u	MC55 _u	FC _u	MS _u
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	

Apêndice 4 – Planilha para anotação dos dados para determinação da distribuição de tamanho dos agregados secos ao ar e estáveis em água

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE AGREGADOS SECOS AO AR E ESTÁVEIS EM ÁGUA																		
ENVIADO POR: _____				LOCAL: _____				DATA: _____										
Amostra		Umidade da amostra				Agregados secos ao ar						Agregados estáveis em água						
Post.	Identif.	C _u	MC _u	MC50 _u	MC55 _u	FC _u	MM _u	> 4.0	4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.5	< 0.5	MSAA	> 4.0	4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.5	< 0.5
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		

Apêndice 5 – Planilha para anotação dos dados para determinação da granulometria do solo pelo método da pipeta

GRANULOMETRIA DO SOLO - MÉTODO DA PIPETA																			
RESPONSÁVEL:				LOCAL:				DATA:											
Amostra		Unidade da amostra				Amostra		Areia retida em cada peneira						Argila em 50 ml.					
Prot.	Identif.	C _s	MC _s	MECS _s	MESS _s	FC _s	MS _s	SS _s	C _s	Total	1.0mm	0.5mm	0.25mm	0.106mm	0.003mm	R _s	MR _s	MRA _s	MA _s
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			

Apêndice 6 – Planilha para anotação dos dados para determinação da granulometria do solo pelo método do densímetro

GRANULOMETRIA DO SOLO - MÉTODO DO DENSÍMETRO

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: _____		Massa total: _____		DP: _____					
Fator Umidade: Cápsula: _____		MCN: _____		TFSA + Cap. _____					
Peneira: 1,0 (_____) 0,5 (_____) 0,25 (_____) 0,125 (_____) Fundo (_____)									
LEITURAS	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO								
	30s	60s	3min	10min	30min	90min	4h	8h	24h
1.Leitura da prova em branco									
2.Temperatura prova em branco									
3.Leitura da suspensão (Rs)									
4.Temperatura da suspensão (ts)									

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: _____		Massa total: _____		DP: _____					
Fator Umidade: Cápsula: _____		MCN: _____		TFSA + Cap. _____					
Peneira: 1,0 (_____) 0,5 (_____) 0,25 (_____) 0,125 (_____) Fundo (_____)									
LEITURAS	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO								
	30s	60s	3min	10min	30min	90min	4h	8h	24h
1.Leitura da prova em branco									
2.Temperatura prova em branco									
3.Leitura da suspensão (Rs)									
4.Temperatura da suspensão (ts)									

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: _____		Massa total: _____		DP: _____					
Fator Umidade: Cápsula: _____		MCN: _____		TFSA + Cap. _____					
Peneira: 1,0 (_____) 0,5 (_____) 0,25 (_____) 0,125 (_____) Fundo (_____)									
LEITURAS	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO								
	30s	60s	3min	10min	30min	90min	4h	8h	24h
1.Leitura da prova em branco									
2.Temperatura prova em branco									
3.Leitura da suspensão (Rs)									
4.Temperatura da suspensão (ts)									

