

Repositório Brasileiro Livre para Dados Abertos do Solo: Armazenamento, Padronização e Harmonização de Dados da Densidade de Materiais do Solo

Alessandro Samuel-Rosa¹, Wenceslau Geraldes Teixeira², João Herbert Moreira Viana³

Conceitos e definições

A densidade do solo, também chamada erroneamente de densidade aparente ou densidade global, é uma medida da massa seca de todo o material contido em determinado volume de solo. Esse material inclui todas as frações dos componentes de origem mineral e orgânica do solo. No FEBR, a densidade do solo é definida, operacionalmente, como densidade do solo inteiro, e seu código de identificação é `densidade`. No World Soil Information Service (WoSIS), a densidade do solo inteiro é denominada *bulk density whole soil*, e seu código de identificação é BDWS.

Métodos de determinação

A DSI pode ser determinada utilizando uma variedade de métodos diretos e indiretos. Aqui tratamos apenas dos métodos diretos. Esses métodos diferenciam-se em si pela maneira de obtenção das amostras do solo e quantificação (ou estimativa) da sua massa e volume. Em geral, a escolha por um ou outro método está relacionada às características do solo, especialmente a granulometria e composição mineralógica do solo. Os principais métodos diretos de determinação da DSI são: cilindro, torrão, proveta, monolito, e escavação. Assim, o segundo nível de codificação da DSI no FEBR consiste na identificação desses métodos, ou seja:

- `densidade_cilindro`,
- `densidade_torrao`,
- `densidade_proveta`,
- `densidade_monolito`, e
- `densidade_escavacao`.

Dentre os métodos diretos, `densidade_cilindro` e `densidade_torrao` são os mais utilizados quando o material do solo é coletado tentando se preservar a estrutura do solo. Também costumam ser os mais utilizados quando o solo é composto, em sua quase totalidade, pela fração fina (> 2 mm) e, no caso de `densidade_torrao`, quando há predomínio da fração argila. Já o método `densidade_proveta` aplica-se mais aos casos em que há dominância da fração areia ou quando se pretende fazer estimativas da DSI usando apenas a fração fina do solo. Por fim, os métodos `densidade_monolito` e `densidade_escavacao` são mais usados quando há predomínio das frações grossas (> 2 mm), que impossibilitam ou dificultam sobremaneira a inserção de cilindros no solo ou coleta de torrões com estrutura preservada. As mesmas dificuldades são encontradas em solo com expressivo volume de raízes de grande diâmetro e elevado conteúdo de matéria orgânica, como em florestas, onde o método `densidade_escavacao` é o mais usado.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Agronomia, Prolongamento da Rua Cerejeira, s/n, CEP 85892-000, Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: alessandrorosa@utfpr.edu.br.

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: wenceslau.teixeira@embrapa.br.

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Rodovia MG-424, Km 45, CEP 35701-970, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. E-mail: joao.herbert@embrapa.br.

Fontes de variação

Cada um dos métodos diretos de determinação da DSI apontados acima abrange uma variedade de detalhes metodológicos que podem exercer pequenas influências sobre os resultados obtidos. Por exemplo, no caso do `densidade_cilindro`, há chance de influência do método utilizado para inserção do cilindro no solo, que pode ser por percussão com martelo ou por pressão com prensa hidráulica. Em geral, espera-se que o método da percussão com martelo cause maior compactação e estilhaçamento da amostra, especialmente quando o cilindro usado é muito pequeno (Casanova et al., 2016). A compactação da amostra também pode ocorrer quando os cilindros usados não possuem corte em bisel na face inserida no solo. Por outro lado, espera-se que, quanto mais finas as paredes do cilindro, menor seja a compactação da amostra.

Outro detalhe metodológico que pode influenciar os resultados é o tamanho do cilindro (Casanova et al., 2016; Al-Shammary et al., 2018). Boa parte dos estudos usa cilindros de 100 cm³, tamanho recomendado pelo Manual de Métodos de Análise de Solo (Almeida et al., 2017). Contudo, relatos do uso de cilindros de diversos tamanhos são encontrados na literatura, por exemplo, 9,65 cm³ (amostras pequenas usadas em reometria), 30 cm³, 300 cm³, e 1000 cm³ (calibração de sensores de medição do conteúdo de água no solo).

A definição do tamanho do cilindro é importante pois está relacionada ao volume elementar representativo (REV, do inglês *representative elementary volume*) de cada tipo de solo. Por exemplo, se há poros muito grandes ou cascalhos e calhaus no sistema, cilindros pequenos não seriam representativos. A questão do REV se aplica também aos demais métodos, principalmente `densidade_torcao`, `densidade_monolito` e `densidade_escavacao`. Especialmente no caso do `dsi_monolito` e `densidade_escavacao`, que utilizam amostras maiores, a questão da REV seria melhor atendida. Esse já não seria o caso do método `densidade_torcao`, onde torrões de tamanhos bastantes variados são usados, mas geralmente menores que 100 m³ devido à dificuldade de se obter agregados estáveis – especialmente em solo de granulometria mais grossa. Um aspecto importante a ser considerado aqui é que o uso de repetições locais não resolve o problema da REV. Isso porque a função das repetições é quantificar o erro de medida, não resolver variação espacial de curtíssima distância – no FEBR, repetições são identificadas na tabela *camada* usando o campo `amostra_id`.

Diferentes dos demais métodos, `densidade_torcao` e `densidade_monolito` incluem a impermeabilização das amostras. Esse procedimento pode ser feito usando diferentes compostos, tais como parafina, verniz ou querosene. Apesar das diferenças entre esses compostos, espera-se que o uso de diferentes impermeabilizantes tenha efeito muitíssimo pequeno, se algum, sobre os resultados de DSI obtidos. O mesmo pode ser esperado para o caso do `densidade_escavacao`, método em que podem ser utilizados diferentes materiais para preenchimento da escavação, por exemplo, areia ou água.

Um detalhe metodológico de grande importância na determinação da DSI é a umidade da amostra do solo no momento da quantificação da sua massa e volume. Na maioria dos casos, esses valores são obtidos com a amostra seca. Contudo, para as amostras de alguns tipos de solo, o que se faz é equilibrar as amostras em determinado potencial, geralmente 1/3 atm ou 33 kPa, que corresponde ao que se convencionou chamar de ponto de murcha permanente em muitos países. Esse procedimento se justifica nos casos de solos com presença de argilas expansivas em quantidade suficiente para causar aumento perceptível do volume da massa de solo, como no

caso dos solos com características vérticas e Vertissolos. Na determinação da DSI desses solos, o volume e massa da amostra são quantificados nesta umidade controlada (Mathieu and Pieltain, 1998).

Dentre todos os detalhes metodológicos mencionados acima, a condição de umidade da amostra de solo no momento da quantificação da massa e volume é aquele com maior potencial de exercer influências sobre os resultados obtidos. Para a maioria das outras fontes adicionais de variação nos resultados, os trabalhos de comparação, quando existentes, são de difícil acesso. No FEBR, ainda não foram registrados conjuntos de dados em que a determinação da DSI tenha sido realizada com amostras úmidas, razão pela qual não se faz necessário definir codificação adicional. Contudo, caso dados dessa natureza sejam submetidos ao FEBR, a codificação poderá ser definida, em seu terceiro nível, pela condição da amostra no momento da quantificação da massa e volume – por exemplo, estufa, ar, campo, 33kpa, entre outras. Esse procedimento estaria em acordo com aqueles adotados no World Soil Information System (WoSIS) (Ribeiro et al., 2018).

Padronização

A Tabela 1 apresenta os códigos padronizados utilizados no FEBR para identificar cada um dos métodos de determinação da DSI. Também apresenta uma descrição mínima sugerida para cada um desses métodos, ou seja, um roteiro padronizado para especificação dos detalhes mais importantes de cada método. Detalhes adicionais dos métodos podem ser especificados conforme indicado pelo texto em caixa alta entre chaves.

Tabela 1. Codificação e descrição mínima sugerida da densidade do solo inteiro no FEBR.

Campo	Descrição mínima sugerida
dsi_cilindro	Densidade do solo inteiro [dsi]. Coleta de amostra do solo com estrutura preservada usando cilindro de volume interno conhecido, com determinação da massa da amostra por pesagem [cilindro]. {DESCREVER CILINDRO: DIMENSÕES, FORMA DA FACE} {DESCREVER MÉTODO DE INSERÇÃO DO CILINDRO: PERCUSSÃO, MACACO HIDRÁULICO} {ESPECIFICAR CONDIÇÃO DE UMIDADE DA AMOSTRA DURANTE DETERMINAÇÃO DA MASSA} {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
dsi_torrao	Densidade do solo inteiro [dsi]. Coleta de amostra do solo (torrão) com estrutura preservada, posteriormente impermeabilizada para determinação do volume pelo deslocamento de líquido, com determinação da massa da amostra por pesagem [torrao]. {DESCREVER TORRÃO: DIMENSÕES, FORMA} {ESPECIFICAR COMPOSTO IMPERMEABILIZANTE USADO} {ESPECIFICAR CONDIÇÃO DE UMIDADE DA AMOSTRA DURANTE DETERMINAÇÃO DA MASSA} {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
dsi_proveta	Densidade do solo inteiro [dsi]. Obtenção da massa por pesagem após compactação da amostra de solo em uma proveta até o volume pré-determinado [proveta]. {ESPECIFICAR AS CONDIÇÕES DE COMPACTAÇÃO DA AMOSTRA: MANUAL, VIBRAÇÃO MECÂNICA}

{INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}

<code>dsi_monolito</code>	Densidade do solo inteiro [dsi]. Coleta de amostra do solo (monolito) com estrutura preservada, posteriormente impermeabilizada com resina ou verniz para determinação do volume pelo deslocamento de líquido, com determinação da massa da amostra por pesagem [monolito]. {DESCREVER MONOLITO: DIMENSÕES, FORMA} {ESPECIFICAR CONDIÇÃO DE UMIDADE DA AMOSTRA DURANTE DETERMINAÇÃO DA MASSA} {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
<code>dsi_escavacao</code>	Densidade do solo inteiro [dsi]. Determinação da massa por pesagem do material da escavação e do volume deixado no solo escavado por meio do preenchimento do espaço vazio por meio de um fluido ou outro material que preenche o espaço [escavacao]. {DESCREVER ESCAVAÇÃO: DIMENSÕES, FORMA} {ESPECIFICAR CONDIÇÃO DE UMIDADE DA AMOSTRA DURANTE DETERMINAÇÃO DA MASSA} {ESPECIFICAR O FLUIDO OU MATERIAL/MÉTODO USADO} {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
<code>dsi_xxx</code>	Densidade do solo inteiro [dsi]. Coleta de amostra do solo e determinação da massa e volume da amostra do solo usando método não especificado [xxx].

A Tabela 2 abaixo apresenta as especificações de unidade de medida, a precisão numérica, tipo de dado, e categoria da variável no FEBR.

Tabela 2. Especificações da densidade do solo inteiro no FEBR.

Unidade de medida	Precisão numérica	Tipo de dado	Categoria da variável
kg/dm ³	2	Real	Física

Harmonização

Existe uma grande variedade de métodos de determinação direta da DSI. Cada um deles foi desenvolvido de maneira a permitir a determinação da DSI em diferentes condições, por exemplo, de granulometria e mineralogia do solo. Assim, não existe um único método de referência para a determinação da DSI. Isso significa que, em geral, não é possível transformar os valores obtidos com um método qualquer para valores aproximadamente equivalentes aos valores que seriam obtidos com outro método. Dados empíricos que permitam construir modelos estatísticos para fazer essa conversão são escassos e pouco representativos.

A limitação de dados empíricos impossibilita, por ora, a harmonização dos dados de DSI no FEBR. Estudos que venham resolver essa limitação são bem vindos, especialmente no caso dos métodos que guardam mais similaridades entre si, por exemplo, `densidade_torrao` e `densidade_cilindro`. Em geral, `densidade_torrao` tende a sobre estimar a DSI, comparado ao `densidade_cilindro`, por desconsiderar o espaço poroso existente entre os agregados (Casanova et al., 2016). O FEBR tem condições de acomodar um modelo estatístico que

transforme os valores de DSI obtidos com `densidade_torrao` para valores aproximadamente equivalentes àqueles que seriam obtidos com `densidade_cilindro` – e vice-versa.

Agradecimentos

- Iêde de Brito Chaves, professor aposentado da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pelas considerações acerca das potenciais dificuldades causadas pelo uso das expressões 'densidade do solo inteiro', 'densidade do solo', 'densidade aparente' e 'densidade global'. [[Ver essa discussão na Web](#)].
- [Anderson Sandro da Rocha](#), professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Agronomia.
- [Paulo Ivonir Gubiani](#), professor da Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos.

Bibliografia consultada

Almeida BG de, Viana JHM, Teixeira WG, Donagemma GK. Densidade do solo. In: Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG, editors. Manual de métodos de análise de solo. Brasília: EMBRAPA; 2017. p. 65-75.

Al-Shammary AAG, Kouzani AZ, Kaynak A, Khoo SY, Norton M, Gates W. Soil bulk density estimation methods: a review. *Pedosphere*. 2018;28:581-96.
[https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(18\)60034-7](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(18)60034-7)

Casanova M, Tapia E, Seguel O, Salazar O. Direct measurement and prediction of bulk density on alluvial soils of central Chile. *Chil J Agric Res*. 2016;76:105-13.
<https://doi.org/10.4067/s0718-58392016000100015>

Mathieu C, Pieltain F. *Analyse physique des sols: méthodes choisies*. Paris: Lavoisier; 1998

Ribeiro E, Batjes NH, van Oostrum AJM. World Soil Information Service (WoSIS) - Towards the standardization and harmonization of world soil data. *Procedures Manual 2018*. Wageningen, The Netherlands: ISRIC – World Soil Information; 2018.
<https://doi.org/10.17027/isric-wdcsoils.20180001>

Densidade de partículas

Definições básicas

A densidade de partículas do solo... No **febr**, o código de identificação da densidade de partículas sólidas é `dps` na fração terra fina, enquanto que `dpm` é o código de identificação da densidade de partículas minerais na fração terra fina.

Nos laboratórios da Embrapa as metodologias mais populares para se fazer densidade de partículas são os métodos do balão volumétrico utilizando álcool e os picnômetros de 50 ml. O método do picnômetro é tido como a referência.

Um ponto que pode ser interessante nesta conversa é que o método utilizado sem destruição dos materiais orgânicos se refere a densidade de partículas (orgânicas e minerais) do solo. Em alguns laboratórios fora do Brasil se faz a eliminação dos materiais orgânicos previamente a esta determinação, com o parâmetro sendo referido como densidade das partículas minerais do solo.

Fontes adicionais de variação

Alguns laboratórios de Mecânica do Solos utilizam picnômetros de 500 ml. Adicionadas especificações caso sejam necessárias. Exemplo:

dpi_balão_volumétrico_xxx (xxx=embrapa; xxx=gubiani) ou (xxx=direto; xxx=indireto, sendo direto e indireto o modo de medir o volume dos sólidos)

dpi_picnômetro_xxx (xx=50ml; xxx=500ml)

O volume dos sólidos pode ser determinado de maneira direta ou indireta, e os resultados são pouco diferentes [GubianiEtAl2006].

Em solos com minerais ou com a presença de substâncias hidrofóbicas, a água poderá ser substituída pelo álcool etílico.

O procedimento recomendado é fazer com o álcool etílico, para evitar ou reduzir os problemas normais de tensão superficial, que causa bolhas. A água é usada para se aferir o volume do recipiente.

Pode também ser considerado o método de atenuação de radiação, usado pelo Vaz nos procedimentos de análise granulométrica do equipamento por eles desenvolvido em São Carlos. A questão de eliminação de materiais orgânicos ainda não foi considerada por aqui, mas pode ser abordada junto aos trabalhos metodológicos previstos. Penso, no entanto, que numericamente deve ser uma questão menos relevante, pelo menos em relação aos erros analíticos deste método.

Quantidade de amostra.

Padronização

A tabela abaixo apresenta os códigos padronizados utilizados no **febr** para identificar cada um dos métodos de determinação da densidade de partículas sólidas e minerais do solo. Também apresenta uma descrição mínima sugerida para cada um desses métodos, ou seja, um roteiro padronizado para especificação dos detalhes mais importantes de cada método. Detalhes adicionais dos métodos podem ser especificados conforme indicado pelo texto em caixa alta entre chaves.

Codificação e descrição sugerida da densidade de partículas sólidas e minerais no **febr**.

Campo	Descrição sugerida
dps_balao	Densidade de partículas sólidas [dps] na fração terra fina (< 2 mm). {ESPECIFICAR MÉTODO DE SECAGEM} Quantificação da massa via pesagem e do seu volume via adição de líquido em balão volumétrico [balao]. {DESCREVER BALÃO} {DESCREVER LÍQUIDO} {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
dps_picnometro	Densidade de partículas sólidas [dps] na fração terra fina (< 2 mm). {ESPECIFICAR MÉTODO DE SECAGEM} Quantificação da massa via pesagem e do volume via adição de líquido em picnômetro [picnometro]. {DESCREVER PICNÔMETRO} {DESCREVER LÍQUIDO} {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
dps_xxx	Densidade de partículas sólidas [dp] na fração terra fina (< 2 mm). {ESPECIFICAR MÉTODO DE SECAGEM} Quantificação da massa e

volume utilizando método não especificado [xxx].

dpm_balao	Densidade de partículas minerais [dpm] na fração terra fina (< 2 mm). {ESPECIFICAR MÉTODO DE SECAGEM} {DESCREVER REMOÇÃO DAS PARTÍCULAS ORGÂNICAS} Quantificação da massa via pesagem e do volume via adição de líquido em balão volumétrico [balao]. {DESCREVER BALÃO} {DESCREVER LÍQUIDO} {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
dpm_picnometro	Densidade de partículas minerais [dpm] na fração terra fina (< 2 mm). {ESPECIFICAR MÉTODO DE SECAGEM} {DESCREVER REMOÇÃO DAS PARTÍCULAS ORGÂNICAS} Quantificação da massa via pesagem e do volume via adição de líquido em picnômetro [picnometro]. {INDICAR REFERÊNCIA DO MÉTODO}
dpm_xxx	Densidade de partículas minerais [dpm] na fração terra fina (< 2 mm). {ESPECIFICAR MÉTODO DE SECAGEM} {DESCREVER REMOÇÃO DAS PARTÍCULAS ORGÂNICAS} Quantificação da massa e volume utilizando método não especificado [xxx].

Especificações da variável do solo densidade de partículas no **febr**.

Unidade de medida	Precisão numérica	Tipo de dado	Categoria da variável
kg/dm ³	2	Real	Física

Códigos descontinuados da variável do solo 'densidade de partículas' no **febr**.

Código	Motivo
densidade_particula_xxx	Substituído por nova codificação

Bibliografia consultada

[@GubianiEtAl2006] 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 processamento. *Ciência Rural*, 2006, 36, 664-668. doi:10.1590/s0103-84782006000200049

[@VianaEtAl2017] Viana, J. H. M.; Teixeira, W. G.; Donagemma, G. K. Densidade de partículas. In: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (Eds.) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Brasília: Embrapa, 2017. p.76-81. URL: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>