

Métodos de análise do solo e representação dos resultados

Edilson Carvalho Brasil

Sônia Maria Botelho

Ismael de Jesus Matos Viégas

Rubia Carla Ribeiro Dantas

Métodos de análise de solo

A qualidade da diagnose da fertilidade do solo, além da amostragem e coleta adequada, também depende, necessariamente, do método de análise utilizado, que tem influência direta na definição das quantidades de corretivos e fertilizantes a serem aplicadas para as diferentes culturas. A análise dos atributos químicos do solo para ser implementada como ferramenta de avaliação e monitoramento da fertilidade do solo deve envolver diversas fases fundamentais para conseguir o sucesso desejado, cujos métodos requerem procedimentos que precisam ser realizados dentro de padrões técnicos e fiscalizáveis.

Em geral, os procedimentos analíticos para fins de fertilidade do solo visam à quantificação das bases trocáveis [cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+)], de fósforo (P) disponível e enxofre (S), além dos atributos ligados à acidez do solo [pH em água ou CaCl_2 , alumínio trocável (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+)], cujos resultados podem variar em função dos métodos utilizados pelos laboratórios que prestam esse tipo de serviço. Portanto, um atributo de solo específico pode ser determinado por diferentes métodos analíticos e os resultados também diferem, em decorrência da natureza do procedimento analítico adotado. Independentemente do método utilizado para a determinação de um atributo químico de solo, a credibilidade do laboratório depende da garantia de qualidade que pode ser oferecida aos usuários. Nesse contexto, deve chamar atenção a qualificação da mão de obra envolvida e a qualidade dos equipamentos e reagentes empregados, que, neste último caso, necessariamente, sempre devem estar dentro da validade.

Desta forma, os laboratórios que prestam serviços de análise dos atributos químicos do solo para fins de diagnóstico da fertilidade do solo devem, obrigatoriamente, participar de programas de controle de qualidade das análises, para promover a melhoria das análises de solo a serem realizadas, bem como a uniformização de métodos e procedimentos utilizados pelos laboratórios, garantindo maior credibilidade dos resultados. Atualmente, existem cinco grandes programas interlaboratoriais de controle de qualidade de análise de solo no Brasil, os quais congregam laboratórios que utilizam metodologias afins e são os seguintes: Comissão Estadual de Laboratórios de Análises Agronômicas do Paraná (Cela-PR); Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise

de Solo para Fins Agrícolas; Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade – Método da Embrapa Solos (PAQLF); Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo de Minas Gerais (Profert); Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (Rolas). As metodologias que integram esses programas de controle de qualidade são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Métodos de análise química para os atributos de fertilidade do solo adotados pelos programas interlaboratoriais de controle de qualidade de análise de solo existentes no Brasil.

Atributos	PAQLF	Profert	Rolas	Cela	IAC
pH	H ₂ O (1:2,5)	H ₂ O (1:2,5)	H ₂ O (1:2,5)	H ₂ O (1:2,5)	CaCl ₂ 0,01 mol/L (1:2,5)
Al ³⁺	KCl 1 mol/L	KCl 1 mol/L	KCl 1 mol/L	KCl 1 mol/L	KCl 1 mol/L
Ca ²⁺ e Mg ²⁺	KCl 1 mol/L	KCl 1 mol/L	KCl 1 mol/L	KCl 1 mol/L	Resina
H + Al	Acetato de Ca 0,5 mol/L pH 7,0 ou SMP	Acetato de Ca 0,5 mol/L pH 7,0 ou SMP	SMP	Acetato de Ca 0,5 mol/L pH 7,0	SMP
P disponível	Mehlich 1	Mehlich 1	Mehlich 1	Mehlich 1	Resina
K ⁺ e Na ⁺	Mehlich 1	Mehlich 1	Mehlich 1	Mehlich 1	Resina
S	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg/L	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg/L em HOAc	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg/L	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg/L	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg/L em H ₂ O
Fe, Mn, Cu, Zn	Mehlich 1	Mehlich 1	Mehlich 1	Mehlich 1	DTPA ou Resina
B	Água quente	Água quente	Água quente	Água quente	Água quente
Matéria orgânica	C oxidável por dicromato titulometria ou calorimetria	C oxidável por dicromato titulometria ou calorimetria	C oxidável por dicromato calorimetria	Matéria orgânica por incineração	C oxidável por dicromato titulometria ou calorimetria

Considerando as variações metodológicas entre os diversos programas de controle de qualidade, para os diferentes atributos químicos do solo, nos casos de monitoramento da fertilidade do solo em áreas agrícolas de determinadas regiões do País, deve-se realizar as análises químicas em laboratórios credenciados ao mesmo programa de controle de qualidade, visando garantir maior consistência comparativa dos valores gerados.

As informações sobre recomendações de corretivos e fertilizantes para as culturas, constantes nesta publicação foram estabelecidas por meio de estudos de calibração, com base nos procedimentos analíticos adotados pelo PAQLF, que utiliza o método Embrapa e possui abrangência em quase todo o território nacional.

A determinação da disponibilidade de P no solo tem sido realizada por diversos métodos analíticos que quantificam o teor do nutriente no solo. Um dos métodos mais utilizados no Brasil para determinação do P disponível é o Mehlich-1, adotado por vários dos programas nacionais de controle de qualidade de análise de solos. Esse método apresenta algumas desvantagens, já conhecidas desde o início de sua utilização no País, como: a) extração preferencial de compostos de cálcio, superestimando os teores disponíveis de P em solos que receberam aplicação de fosfatos naturais ou que possuem fosfatos de cálcio, como mineral primário; b) em solos argilosos o extrator Mehlich-1 subestima os teores de P, extraíndo quantidades menores, do que as realmente disponíveis para as plantas.

Considerando que o extrator apresenta sensibilidade ao poder tampão do solo, a recomendação de adubação fosfatada, com base nesse método, pode ser compatibilizada com a capacidade tampão de fosfato nos solos, a qual corresponde à capacidade que o solo possui em manter o equilíbrio da concentração do nutriente entre a solução e os colóides do solo. A quantidade de matéria orgânica, o teor de argila e a mineralogia da fração argila são características do solo que possuem forte interação com o poder tampão do solo e necessitam ser considerados para a adequada avaliação do P disponível por esse método.

Um método que tem sido usado para avaliar a capacidade tampão de fosfatos do solo é a determinação do fósforo remanescente (P-rem), por apresentar estreita correlação com essa característica e também com a capacidade máxima de adsorção de P no solo. O P-rem corresponde à quantidade de P que permanece na solução de equilíbrio, após certo tempo de contato com os constituintes do solo, em resposta à adição ao solo de uma determinada quantidade de P (Novais et al., 2007). Assim, quanto maior for o P-rem, menor será a adsorção de fosfatos no solo. Além disso, o P-rem pode ser usado em substituição à análise textural do solo na recomendação da adubação fosfatada. Por ser um método simples e rápido, permitindo estratificar com maior segurança a interpretação das análises de solo e as recomendações de adubação fosfatada, o P-rem passou a ser adotado no estado de Minas Gerais, como critério auxiliar no estabelecimento de classes dos níveis de tamponamento de solos, na definição de doses de fertilizantes fosfatados. Nesse caso, utiliza-se um fator de correção dependente do poder tampão do solo, que varia em função de classes de teores de P-rem.

Representação dos resultados de análise de solo

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) passou a adotar as unidades do Sistema Internacional (SI) em 1993, por ocasião do *XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, realizado em Goiânia, GO, visando uniformizar a linguagem na representação dos resultados das análises utilizadas, principalmente em química e fertilidade do solo. Por essa razão, os resultados de análise de solo são representados com base em volume (dm^3 ou L) e em massa de terra (kg), de acordo com a forma da medida da subamostra na análise considerada.

A unidade que expressa a quantidade de matéria deve ser representada por mol de carga (mol_c) ou milimol de carga (mmol_c) e a que expressa quantidade de massa deve ser representada por grama (g) ou miligrama (mg). O milimol de carga corresponde ao valor absoluto da antiga unidade expressa por equivalente-miligrama (meq).

Com base nas unidades do SI, na representação dos resultados de análises dos atributos químicos do solo devem ser utilizadas as unidades de medida apresentadas a seguir.

a) Para fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes:

Esses nutrientes, que eram representados em partes por milhão (ppm) ou microgramas por mililitro de solo ($\mu\text{g/mL}$), são expressos em miligramas por

decímetro cúbico de solo (mg/dm^3). Na conversão dessas unidades não há necessidade de transformação de valores, já que possuem a mesma grandeza.

b) Para cátions trocáveis (Ca, Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases e capacidade de troca de cátions (CTC):

Para essas determinações, os resultados que eram expressos em equivalente-miligramma por cem mililitros de solo ($\text{meq}/100 \text{ mL}$) passaram a ser apresentados por milimol de carga por decímetro cúbico de solo ($\text{mmol}_c/\text{dm}^3$). Neste caso, a conversão dessas unidades exige que os valores da representação antiga ($\text{meq}/100 \text{ mL}$) sejam multiplicados por 10, para se obter o valor em $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$. Para evitar problemas de interpretação dos resultados de análise do solo, laboratórios de vários estados do País optaram pela utilização da unidade centimol de carga por decímetro cúbico de solo ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), aceita pelo SI e também pela SBCS, que apresenta os mesmos valores numéricos da antiga unidade ($\text{meq}/100 \text{ mL}$), sem a necessidade de transformação.

c) Para saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%):

Esses atributos não sofreram qualquer alteração nas suas unidades e continuam sendo expressos em termos de porcentagem. Deve-se ressaltar que, assim como a CTC, V% e m% são atributos do solo não determinados diretamente de forma analítica, ou seja, dependem de vários outros resultados analíticos para que a sua expressão numérica seja calculada.

d) Para matéria orgânica e carbono orgânico:

Esses atributos, que eram representados em porcentagem, atualmente são apresentados em g/dm^3 ou g/kg . Para conversão dessas unidades, há necessidade de multiplicar por 10 o valor da antiga unidade (%). Também por questão de facilidade de interpretação dos resultados, tem sido aceita a unidade decigrama por decímetro cúbico (dag/dm^3) ou decigrama por quilograma (dag/kg), que apresenta equivalência numérica com os valores de porcentagem.

Conversão de unidades

A adoção do Sistema Internacional de Unidades implica em alterações nas representações e nos valores de parte dos resultados. As representações antigas podem ser convertidas naquelas atualmente adotadas pela SBCS, considerando as relações indicadas na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores para conversão de unidades antigas para o Sistema Internacional de unidades.

Unidade antiga	Fator multiplicativo de conversão	Unidade do Sistema Internacional
%	10	g/kg , g/dm^3 , g/L
ppm	1	mg/kg , mg/dm^3 , mg/L
$\text{meq}/100 \text{ cm}^3$	10	$\text{mmol}_c/\text{dm}^3$
$\text{meq}/100 \text{ g}$	10	mmol_c/kg
$\text{meq}/100 \text{ cm}^3$	1	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$
$\text{meq}/100 \text{ g}$	1	cmol_c/kg

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Unidade antiga	Fator multiplicativo de conversão	Unidade do Sistema Internacional
meq/L	1	mmol _c /L
mg/dm ³ de K	0,0026	cmol _c /dm ³
P ₂ O ₅	0,437	P
K ₂ O	0,830	K
CaO	0,715	Ca
MgO	0,602	Mg

Referência

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. 1017 p.

Literatura recomendada

ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfato e para ensaios de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 14, n. 1, p. 49-55, 1990.

AMOSTRAGEM de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagem e capineiras. Londrina: IAPAR, 1996. 28 p. (IAPAR. Circular, 90).

BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A.; PÉREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. A. Analytical quality program of soil fertility laboratories that adopt embrapa methods in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 15/18, p. 2661-2672, 2002.

CANTARELLA, H.; MONIZ, A. C. Unidades do sistema internacional em publicações da SBCS. **Boletim Informativo da SBCS**, v. 20, n. 2, p. 82-84, 1995.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 224 p.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, A. H.; ALVAREZ V., V. H.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1785-1791, 2008.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

NOVAIS, S. V.; MATTIELL, E. M.; VERGUTZ, L.; MELO, L. C. A.; FREITAS, I. F.; NOVAIS, R. F. Loss of extraction capacity of mellich-1 and Monocalcium phosphate as a variable of remaining P and its relationship to critical levels of soil phosphorus and sulfur. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1079-1087, 2015.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285 p.