



ANÁLISE DO SOLO

Determinações, cálculos e interpretação



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



INTRODUÇÃO

Esta cartilha tem por objetivo levar informações sobre interpretação de análises de solos para fins de recomendação de calagem e adubação. Os atributos aqui analisados referem-se a resultados obtidos pelos laboratórios que adotam a metodologia oficial para Minas Gerais e que participam do Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solos de Minas Gerais (Profert-MG).

A análise de solo é uma ferramenta básica para recomendações de calagem e adubação nas culturas agrícolas. Para o sucesso da atividade, devem-se seguir criteriosamente três passos igualmente importantes e fundamentais.

O primeiro refere-se à coleta da amostra de solo, que, se não realizada corretamente, vai comprometer os passos seguintes. O segundo passo diz respeito à escolha do laboratório ao qual será confiada. Também aqui, é fundamental que o procedimento seja bem-sucedido, uma vez que resultados não confiáveis podem levar a erros na interpretação. A escolha de um laboratório que participe do Profert-MG e possua o selo de certificado de qualidade das análises é condição básica para o sucesso da atividade.

O terceiro e último passo é uma atribuição do engenheiro agrônomo e/ou do técnico em agropecuária. São analisados os resultados e, junto à outra ferramenta básica, Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais¹, é realizada a recomendação de acordo com as condições do solo e também as exigências nutricionais da cultura que se deseja implantar. Esta última etapa consiste no foco principal desta cartilha e pode ser útil para extensionistas, autônomos e outros profissionais que atuam neste segmento.

ANÁLISE DO SOLO

Existem vários tipos de análises de solo disponíveis no mercado, a escolha dependerá do objetivo a ser alcançado. As análises conhecidas como “rotina” dão subsídios aos profissionais para definir as doses de calcário e adubos a ser aplicadas no solo para determinado cultivo. Uma análise de rotina completa contempla fertilidade, inclusive micronutrientes, matéria orgânica (MO) e granulometria ou textura.

¹RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

Fertilidade

1 - pH (potencial hidrogeniônico)

Representa a concentração de hidrogênio na solução do solo $[H^+]$, também conhecido como acidez ativa do solo.

Unidade: mols de H^+ / litro de solução.

Exemplo: 10^{-6} mols de H^+ / litro de solução.

Cálculo: $\text{pH} = \log 1 / [H^+] \rightarrow \text{pH} = \log 1 / [10^{-6}] \rightarrow \text{pH} = 6$

Metodologia

Os laboratórios filiados ao Profert-MG determinam pH em água, outros programas utilizam outras formas de determinação do pH, como por exemplo, cloreto de cálcio ($CaCl_2$) 1M, cloreto de potássio (KCl) 1N. Assim, é importante observar a metodologia utilizada.

Para pH em água, utiliza-se a seguinte interpretação:

Classificação química						
Acidez muito elevada	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
< 4,5	4,5 - 5,0	5,1 - 6,0	6,1 - 6,9	7,0	7,1 - 7,8	> 7,8
Classificação agrônômica						
Muito baixo	Baixo	Bom	Alto	Muito alto		
< 4,5	4,5 - 5,4	5,5 - 6,0	6,1 - 7,0	> 7,0		

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

2 - Fósforo e potássio disponíveis

Na quantificação do fósforo (P) e potássio (K) disponíveis adotam-se dois procedimentos: extração do solo, realizada com extrator North Carolina ou Mehlich 1 (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N) e determinação dos teores desses dois nutrientes, utilizando colorímetro (P) e fotômetro de chama (K).

Unidade: mg/dm³ de solo, que corresponde ao antigo ppm (não recomendado no Sistema Internacional de Unidades), e pode ser transformada em kg/ha, utilizando a fórmula a seguir:

$$\text{mg/dm}^3 \text{ de solo} = \text{ppm}$$

$$\text{mg/dm}^3 \text{ de solo} \cdot 2 = \text{kg/ha}$$

Exemplo: 5 mg de P/dm³ de solo.

$$1 \text{ dm}^3 = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ litro de solo}$$

Como a densidade do solo é próxima a 1, então 1 litro equivale a 1 kg de solo, portanto, tem-se:

5 mg de P em 1 kg de solo, ou, 0,000005 kg de P em 1 kg de solo.

Em 1 hectare, considerando a camada arável de 0 a 20 cm tem-se 2000 m³ de solo ou 2.000.000 kg, por regra de três tem-se:

$$0,000005 \text{ kg de P} \rightarrow 1 \text{ kg de solo}$$

$$X \text{ kg de P} \rightarrow 2.000.000 \text{ kg de solo (1 ha)}$$

$$X = 10 \text{ kg de P/ha}$$

Para P e K disponíveis utilizar a interpretação:

P remanescente (P-rem) (mg/L)	Muito baixo/Baixo	Médio	Bom/Muito bom
	P disponível (mg/dm ³ de solo)		
0 - 4	< 4,4	4,4 - 6,0	> 6,0
4,1 - 10	< 6,1	6,1 - 8,3	> 8,3
10,1 - 19	< 8,4	8,4 - 11,4	> 11,4
19,1 - 30	< 11,5	11,5 - 15,8	> 15,8
30,1 - 44	< 15,9	15,9 - 21,8	> 21,8
44,1 - 60	< 21,9	21,9 - 30,0	> 30,0
	K disponível		
	< 41	41 - 70	> 70

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

Observe que o nível de P no solo depende do P remanescente (rem).

Considerando três solos com um mesmo teor de P disponível, porém, valores diferentes de P-rem:

Solo	P disponível (mg/dm ³)	P-rem (mg/L)	Interpretação
1	12	0 - 19	Alto/Muito alto
2		19,1 - 30	Médio
3		30,1 - 60	Baixo/Muito baixo

Neste caso, pode-se afirmar que embora os solos apresentem o mesmo teor de P disponível, o solo 1 deverá receber uma menor dose de adubo fosfatado do que o solo 2 e, este, menos que o solo 3.

3 - Fósforo remanescente

Atenção: os valores relativos ao P-rem não representam níveis de P no solo, e sim uma estimativa da capacidade tampão do mesmo e, depende não só do teor de argila, mas também da sua mineralogia e teor de MO do solo. Os resultados do P-rem podem variar de 0 a 60 e permitem determinar o valor "Y" para calagem (capacidade tampão para variação do pH), além dos níveis de P disponível e enxofre (S) no solo.

Unidade: mg/L de solução do solo.

4 - Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis

O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são considerados macronutrientes e na maioria dos solos tropicais encontram-se em níveis baixos. Já o alumínio (Al), é um elemento tóxico para as plantas e está associado à acidez. São denominados trocáveis por estarem adsorvidos (ligados) às cargas negativas das argilas – capacidade de troca catiônica (CTC) e estão em equilíbrio com a solução do solo.

A extração desses elementos do solo é feita com uma solução de KCl na concentração de 1N e a determinação pode ser feita por titulometria ou espectrofotômetro de absorção atômica.

Unidade: $\text{cmol}_{(c)}/\text{dm}^3$ de solo. O centimol de carga ($\text{cmol}_{(c)}$) é um submúltiplo do Mol ($\text{Mol}/100$) e pode ser quantificado utilizando o peso molecular e a valência do elemento em questão, utilizando os valores da fórmula:

$$\text{Cmol}_{(c)} = \text{PM} / (\text{V} \cdot 100) \text{ (expresso em grama)}$$

Também utilizando os valores a seguir:

Elemento	Peso molecular (PM)	Valência (V)
Ca	40	+ 2
Mg	24	+ 2
Al	27	+ 3

Esta unidade de concentração pode ser transformada em kg/ha.

Exemplo:

$$1,0 \text{ cmol}_{(c)} \text{ Ca}/\text{dm}^3 \text{ de solo}$$

$$40 / (2 \times 100) \rightarrow 0,2 \text{ g de Ca}^{++} \text{ por kg de solo}$$

$$0,0002 \text{ kg de Ca}^{++} \rightarrow 1 \text{ kg de solo}$$

$$X \text{ kg de Ca}^{++} \rightarrow 2.000.000 \text{ kg (1 ha)}$$

$$X = 400 \text{ kg de Ca}^{++}/\text{ha}$$

A interpretação para Ca, Mg e Al é a seguinte:

Elemento	Muito baixo/Baixo	Médio	Bom/Muito bom
Ca	< 1,21	1,21 - 2,4	> 2,4
Mg	< 0,46	0,46 - 0,9	> 0,9
Al	< 0,51	0,51 - 1,0	> 1,0

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

NOTA: Para Al considerar Alto/Muito alto.

5 - Acidez potencial ($H^+ + Al^{+++}$)

Corresponde ao somatório da acidez trocável e acidez não trocável que se encontram adsorvidas (ligadas à CTC do solo). A extração da acidez potencial é feita utilizando solução de acetato de cálcio a pH 7.0 ou tampão SMP, e a determinação é feita por titulometria.

Unidade: $cmol_{(c)}/dm^3$ de solo.

A interpretação dos resultados para acidez potencial é a seguinte:

Elemento ($H^+ + Al^{+++}$)	Muito baixo/Baixo	Médio	Alta/Muito Alta
	< 2,51	2,51 - 5,0	> 5,0

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

6 - Micronutrientes

Os micronutrientes são elementos químicos essenciais para os vegetais, porém em pequenas quantidades, quando comparados com os macronutrientes. São divididos em dois grupos, de acordo com a forma de absorção: catiônicos – zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), cobalto (Co) e níquel (Ni) – e aniônicos – boro (B), cloro (Cl) e molibdênio (Mo). Embora existam metodologias para determinação de todos eles, na rotina só se determina B (água quente), Cu, Zn, Fe e Mn (Mehlich 1).

Unidade: mg/dm^3 , mesma unidade usada para P e K disponíveis.

A interpretação dos resultados para micronutrientes é a seguinte:

Elemento	Muito baixo/Baixo	Médio	Bom/Alto
B	< 0,36	0,36 - 0,60	> 0,60
Cu	< 0,8	0,8 - 1,2	> 1,2
Zn	< 1,0	1,0 - 1,5	> 1,5
Mn	< 6	6 - 8	> 8
Fe	< 19	19 - 30	> 30

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

7 - Enxofre

O S, assim como o Ca e o Mg, é considerado um macronutriente secundário.

Para a interpretação dos níveis de S no solo, deve-se considerar o resultado do P-rem como a seguir:

P-rem (mg/L)	Muito baixo/Baixo	Médio	Bom/Muito bom
	S (mg/dm ³ de solo)		
0 - 4	< 2,6	2,6 - 3,6	> 3,6
4 - 10	< 3,7	3,7 - 5,0	> 5,0
10 - 19	< 5,1	5,1 - 6,9	> 6,9
19 - 30	< 7,0	7,0 - 9,4	> 9,4
30 - 44	< 9,5	9,5 - 13,0	> 13,0
44 - 60	< 13,0	13,0 - 18,0	> 18,0

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

Matéria orgânica

8 - Carbono orgânico

Para estimar os teores de MO do solo primeiramente deve-se determinar o teor de carbono orgânico.

Unidade: dag/kg.

Esta unidade substitui a porcentagem (%) e se equivalem (1 dag/kg é igual a 1%), que não é mais recomendada no Sistema Internacional de Unidades. Alguns laboratórios utilizam o submúltiplo g/kg (1 dag/kg é igual a 10 g/kg).

Estimativa da MO: basta multiplicar o carbono orgânico pelo fator 1,724, como na fórmula:

$$MO = CO \cdot 1,724$$

A interpretação dos resultados para a MO do solo é a seguinte:

Matéria orgânica do solo (dag/kg)	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
	< 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,0

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

Granulometria ou análise textural

9 - Areia, silte e argila

Esta determinação define a relação entre as partículas unitárias (areia, silte e argila), presentes na fração terra fina do solo (partículas menores que 2,0 mm). Trata-se, portanto, de uma análise física de separação das partículas por tamanho.

A seguir apresentam-se as partículas unitárias presentes na fração terra fina:

Diâmetro de partícula (mm)	Argila	Silte	Areia
	< 0,002	0,002 - 0,2	> 0,2

Os resultados da análise textural podem ser expressos em porcentagem (%), dag/kg de solo ou g/kg de solo.

Exemplo: 50% de areia correspondem a 50 dag/kg de solo ou 500 g/kg de solo.

Após obtenção dos valores de areia, silte e argila pode-se definir a classe textural a que pertence o solo. Duas classificações podem ser usadas. A classificação simplificada, que considera somente o teor de argila contemplando quatro classes e a classificação detalhada, que considera os teores das três frações e contempla 13 classes.

A interpretação simplificada das classes texturais do solo é apresentada a seguir:

Teor de argila (%)	Classe
0 - 16,0	Arenoso
16,1 - 32,0	Franco (médio)
32,1 - 60,0	Argiloso
> 60,0	Muito argiloso

A interpretação detalhada para classes texturais do solo é a seguinte:

Partículas unitárias			Classe textural
Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
60 - 100	0 - 40	0 - 40	Muito argilosa
40 - 60	0 - 40	0 - 55	Argilosa
35 - 55	0 - 20	45 - 65	Argila-arenosa
40 - 60	40 - 60	0 - 20	Argila-sitosa
20 - 35	0 - 28	45 - 80	Franco-argilo-arenosa
27 - 40	60 - 72	20 - 45	Franco-argilosa
27 - 40	60 - 72	0 - 20	Franco-argilo-sitosa
8 - 28	27 - 50	22 - 52	Franca
0 - 20	0 - 50	42 - 80	Franco-arenosa
0 - 28	50 - 80	20 - 50	Franco-sitosa
0 - 12	80 - 100	0 - 20	Sitosa
0 - 15	0 - 30	70 - 100	Areia-franca
0 - 10	0 - 15	85 - 100	Arenosa

Os atributos discutidos nos itens 1 a 9 referem-se a determinações analíticas feitas no laboratório, como descrito. Os itens 10 a 16 correspondem a cálculos realizados a partir dos resultados analíticos obtidos. São eles; soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC a pH 7 (T), porcentagem de saturação por bases (V%), porcentagem de saturação por Al (m%), relações entre bases e relações entre bases e CTC.

10 - Soma de bases

São considerados bases do solo o Ca, o Mg e o K. Para os solos salinos deve-se considerar, ainda, o sódio (Na). O cálculo da SB é feita utilizando a seguinte fórmula:

$$SB = Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + Na^{+}$$

Unidade: $cmol_{(c)}/dm^3$ de solo.

Observação: para o cálculo dos atributos de 10 a 16, deve-se primeiramente fazer a transformação do K de mg/dm³ de solo para cmol_(c)/dm³ de solo, o que pode ser feito utilizando a seguinte fórmula:

$$K \text{ (cmol}_{(c)}\text{/dm}^3 \text{ de solo)} = K \text{ (mg/dm}^3 \text{ de solo)} / 391$$

11 - Capacidade de troca catiônica efetiva

A CTC efetiva (t) mede a quantidade de cargas negativas que estão presentes no solo, considerando o pH em que este se encontra, podendo ser calculada pela seguinte fórmula:

$$t = SB + Al^{+++}$$

Unidade: cmol_(c)/dm³ de solo.

12 - Capacidade de troca catiônica a pH 7.0

A CTC a pH 7 (T) considera todas as cargas do solo (permanentes e dependentes do pH), caso o pH do solo seja ajustado a 7 é calculada somando a SB com a acidez potencial utilizando a fórmula:

$$T = SB + H^+ + Al^{+++}$$

Unidade: cmol_(c)/dm³ de solo.

13 - Porcentagem de saturação por bases

Indica a proporção de bases com relação à CTC a pH 7 (T). É calculada pela fórmula:

$$V (\%) = (SB / T) \cdot 100$$

14. Porcentagem de saturação por alumínio

Indica a proporção de Al com relação à CTC efetiva (t) e é calculada utilizando a fórmula:

$$m (\%) = (Al^{+++} / t) \cdot 100$$

A interpretação dos atributos discutidos nos itens 10 a 16 é a seguinte:

Atributo	Muito baixo/ Baixo	Médio	Bom/Muito bom
SB	< 1,81	1,81 - 3,6	> 3,6
CTC efetiva (t)	< 2,31	2,31 - 4,6	> 4,6
CTC a pH 7,0 (T)	< 4,31	4,31 - 8,6	> 8,6
V%	< 40	40 - 60	> 60
m%	< 30	30 - 50	> 50

FONTE: Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999).

NOTA: Para m% considerar Alto/Muito alto.

15 - Relações entre bases

A atenção a estas relações é bastante importante, uma vez que estes nutrientes disputam os mesmos pontos de troca da CTC. Assim, o excesso de um pode levar à deficiência induzida dos outros. Cada espécie vegetal exige uma relação específica entre as bases, de acordo com sua necessidade nutricional.

De modo geral, pode-se considerar como ideais as relações descritas a seguir:

Relação ideal	Ca ⁺⁺ / Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺ / K ⁺	Mg ⁺⁺ / K ⁺
	3 : 1	9 : 1	3 : 1

16 - Relações entre bases e CTC

Também é interessante observar a saturação de cada base na CTC total do solo. Assim como no caso anterior, cada cultura exige uma saturação específica de cada nutriente.

As relações descritas a seguir podem ser consideradas boas para a maioria das culturas:

Relação ideal (%)	(Ca ⁺⁺ / T) · 100	(Mg ⁺⁺ / T) · 100	(K ⁺ / T) · 100
	45	15	5

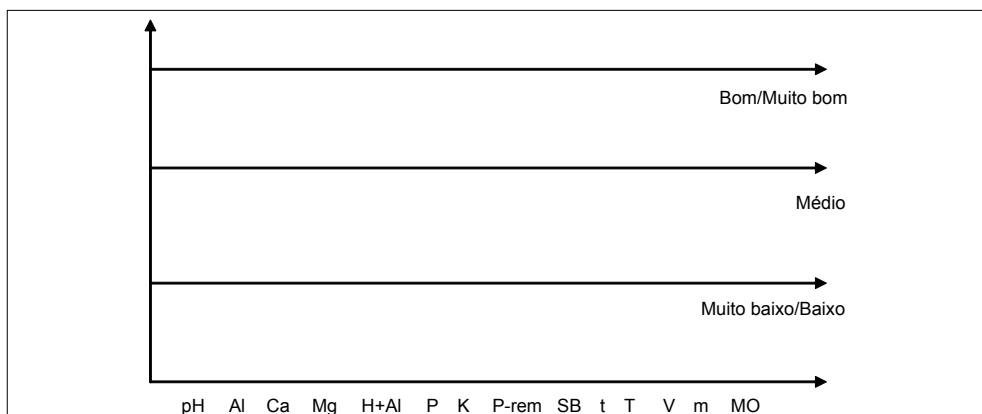
FIXANDO OS CONCEITOS

Considerando os resultados a seguir, completar os dados que faltam e definir os níveis dos valores obtidos.

Característica	pH H ₂ O	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	P-rem	C
		cmol _(c) /dm ³ de solo				mg/dm ³ de solo			dag/kg
Valor	4,8	2,8	0,6	0,7	6,3	78	12	27	2,3
Nível									

Característica	SB	t	T	V	m	MO
	cmol _(c) /dm ³ de solo			%		dag/kg
Valor						
Nível						

Relação	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/T	Mg/T	K/T
Análise						
Ideal						



PROJETO

Produção de livro didático-pedagógico e cartilhas sobre Solo Agrícola
no ensino médio e fundamental

COORDENADOR

João Chrisóstomo Pedroso Neto
EPAMIG Sul de Minas

AUTOR

João Chrisóstomo Pedroso Neto
Jeferson de Oliveira Costa
Bolsista BIC FAPEMIG/EPAMIG

PRODUÇÃO

Departamento de Publicações

REVISÃO

Marlene A. Ribeiro Gomide
Rosely A. R. Battista Pereira

NORMALIZAÇÃO

Fátima Rocha Gomes
Maria Lúcia de Melo Silveira

DIAGRAMAÇÃO

Taiana Amorim (Estagiária)

EPAMIG-DPPU 11/2012

APOIO



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
EPAMIG Sul de Minas

Campus da UFLA, MG 355 (Lavras-Ijaci) Km 85
Telefone: (35) 3829-1021 - CEP 37200-000 Lavras-MG
E-mail: uresm@epamig.br