

GUIA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE **SOLO E FOLIAR**

LUIZ CARLOS PREZOTTI
ANDRÉ GUARÇONI M.

GUIA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE
SOLO E FOLIAR

GUIA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE **SOLO E FOLIAR**

LUIZ CARLOS PREZOTTI
ANDRÉ GUARÇONI M.

Vitória, ES

2013

© 2013 - Incaper

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

Rua Afonso Sarlo, 160 - Bento Ferreira - 29052-010 - Vitória-ES - Caixa Postal 391

Telefax: (27) 3636 9868 - 3636 9846 - coordenacaoeditorial@incaper.es.gov.br - www.incaper.es.gov.br

ISBN 978-85-89274-21-0

Editor: DCM/Incaper

Tiragem: 1500

Outubro de 2013

CONSELHO EDITORIAL

Presidente – Aureliano Nogueira da Costa

Chefe de Departamento de Comunicação e Marketing – Liliâm Maria Ventorim Ferrão

Chefe de Área de Pesquisa – José Aires Ventura

Chefe de Área de Extensão – Maxwell Assis de Sousa

Coordenação Editorial – Liliâm Maria Ventorim Ferrão

Membros

Adelaide de Fátima Santana da Costa

Alessandra Maria da Silva

André Guarçoni Martins

Bevaldo Martins Pacheco

Luis Carlos Santos Caetano

Romário Gava Ferrão

Sebastião Antônio Gomes

Sheila Cristina Rossi

PROJETO GRÁFICO, CAPA E EDITORAÇÃO ELETRÔNICA – Rafael Teixeira da Silva e Laudeci Maria Maia Bravin

REVISÃO DE PORTUGUÊS – Raquel Vaccari de Lima Loureiro

FICHA CATALOGRÁFICA – Meirieleme Frasson

FOTOS – Autores e arquivos do Incaper

(Biblioteca do Incaper) - Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P944 Prezotti, Luiz Carlos.

Guia de interpretação de análise de solo e foliar / Luiz Carlos Prezotti; André Guarçoni M. – Vitória, ES: Incaper, 2013.
104 p.

ISBN 978-85-89274-21-0

1. Solo – Análise Química. 2. Solo – Fertilização. 3. Solo - Nutrição.
4. Prezotti, Luiz Carlos. 5. Guarçoni, M. André. I. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. II. Título.

CDD: 631.4

APRESENTAÇÃO

O Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar é uma publicação, que reúne os esforços e conhecimentos técnicos de uma equipe altamente qualificada. Aborda diversas metodologias e etapas de interpretação dos resultados das análises de solo e planta e a recomendação de um programa de manejo da fertilidade.

A visão sustentável dos sistemas agrícolas é uma das prioridades no desenvolvimento ecologicamente correto dos cultivos e exige, necessariamente, a inserção de conceitos e metodologias que garantam maior confiabilidade na geração de dados e sua interpretação, contribuindo para a eficiência da recomendação de fertilizantes.

Este guia tem por finalidade auxiliar os profissionais da área agrônômica na interpretação da análise de solo e análise foliar quanto aos aspectos técnicos, o que contribuirá para a determinação da necessidade de aplicação de calcário, de gesso agrícola, de matéria orgânica, de fertilizantes, com garantia de um manejo adequado da adubação.

A descrição das etapas e sua influência no diagnóstico e recomendação de adubação é um diferencial desta publicação, que utiliza exemplos práticos para demonstração dos métodos de amostragem, análise e interpretação dos resultados, além de apresentar a padronização das unidades recomendadas pelo Sistema Internacional de Unidades.

Aureliano Nogueira da Costa

Diretor-Técnico e Presidente do Conselho Editorial do Incaper

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 AMOSTRAGEM DO SOLO	10
3 ANÁLISE DO SOLO	12
3.1 EXEMPLO DE UM RESULTADO DE ANÁLISE DE SOLO	13
3.1.1 pH	14
3.1.2 Alumínio (Al^{3+})	18
3.1.3 H+Al	19
3.1.4 Soma de Bases (SB)	20
3.1.5 CTC Total	22
3.1.6 CTC efetiva (f)	25
3.1.7 Saturação por bases (V)	26
3.1.8 Saturação por alumínio (m)	27
3.1.9 Na e ISNa	28
3.1.10 Matéria orgânica do solo (MO)	30
3.1.11 Fósforo disponível (P)	33
3.1.12 Fósforo remanescente (P-rem)	34
3.1.13 Potássio disponível (K)	37
3.1.14 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)	38
3.1.15 Enxofre (S)	39
3.1.16 Micronutrientes	40
4 CALAGEM	43
4.1 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CALCÁRIO	45
5 GESSAGEM	49
6 MANEJO DA ADUBAÇÃO	51
6.1 MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA	51
6.2 MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA	53
6.3 MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA	56
6.4 MANEJO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES	58
7 FERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO CONTROLADA	62
8 ADUBAÇÃO ORGÂNICA	65
9 TABELAS DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO	68
9.1 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE FERTILIZANTE A SER APLICADA	72
10 FERTIRRIGAÇÃO	74
11 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SALINIDADE	79
12 ANÁLISE FOLIAR	82
13 ADUBAÇÃO FOLIAR	88
14 CÁLCULO DE DOSES DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	90
15 TRANSFORMAÇÃO DE UNIDADES	91
15.1 RELAÇÕES DA UNIDADE DE CONCENTRAÇÃO – mol	92
15.2 POTÁSSIO	93

15.3 SÓDIO	94
15.4 CÁLCIO.....	95
15.5 MAGNÉSIO	95
15.6 PESO EQUIVALENTE EM CARGA DE ALGUNS ELEMENTOS E COMPOSTOS	96
15.6 FATORES DE CONVERSÃO ENTRE ALGUMAS UNIDADES	98
16 TABELA PERIÓDICA.....	99
17 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	101

GUIA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLO E FOLIAR

Luiz Carlos Prezotti¹

André Guarçoni M.²

1 INTRODUÇÃO

Um dos aspectos mais importantes para uma agricultura sustentável é o conhecimento da fertilidade do solo, além de suas características e limitações, para que intervenções sejam realizadas da maneira mais racional possível, evitando-se os desequilíbrios ambientais.

A ferramenta mais importante para a adequada avaliação da fertilidade do solo é a análise química das diversas variáveis que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Os valores obtidos para cada variável são indicativos do potencial de sucesso dos futuros plantios e possibilitam a indicação de medidas corretivas para a fertilidade do solo.

O plano de fertilização do solo para uma nutrição adequada das culturas é constituído basicamente pela amostragem de solo da área a ser cultivada, análises laboratoriais, interpretação da análise e recomendação de fertilizantes e corretivos da acidez do solo e aplicação e manejo dos insumos na lavoura.

¹ Eng.º. Agr.º., D.Sc. Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador do Incaper - prezotti@incaper.es.gov.br

² Eng.º. Agr.º., D.Sc. Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador do Incaper

2 AMOSTRAGEM DO SOLO

Entre todas as etapas de um plano de fertilização do solo, os maiores índices de equívocos acontecem por ocasião da amostragem do solo, processo este que necessita obedecer a certos critérios quando da coleta da amostra.

Qualquer desobediência aos critérios de coleta das amostras resulta na alteração dos valores das variáveis analisadas, uma vez que uma amostra (aproximadamente 300 g de solo) representa uma grande área a ser cultivada.

Para ter noção da representatividade da amostra de solo em relação à área de um hectare, são apresentados os seguintes cálculos: Considerando que a maior exploração radicular ocorre a uma profundidade de 0,2 m e sendo as dimensões de 1 ha de 100 m x 100 m, tem-se um volume total de solo de 2.000.000 de dm^3/ha . De uma amostra de 300 g são utilizados 10 g (ou cm^3) para a realização das análises, o que representa $1/200.000.000$ (uma parte em duzentos milhões de partes do volume de solo de 1 ha). O denominador desta relação aumenta proporcionalmente com aumento da área amostrada.

Portanto, para que essa amostra seja representativa, é necessário seguir as seguintes etapas:

1) Dividir a área a ser amostrada em talhões homogêneos, considerando-se topografia, cor e textura do solo, cultura, vegetação, produtividade, áreas em que já foram aplicados calcário ou fertilizantes etc.

2) Utilizar o mesmo equipamento de coleta durante toda a amostragem (trado, sonda, pá de corte ou enxadão), para que o volume de cada amostra simples seja sempre o mesmo.

3) Coletar o maior número de amostras simples possível para a

formação de uma amostra composta para que o resultado desta última seja mais preciso. Entretanto, para balancear precisão e gasto de mão de obra, geralmente recomenda-se a coleta de aproximadamente 20 amostras simples, caso se utilize o enxadão ou trado, e 30 amostras simples, caso se utilize a sonda. O número de amostras simples coletadas com a sonda é maior em razão do menor volume de solo obtido com essa ferramenta.

4) Não raspar o solo da superfície do local de coleta. Retirar somente o material vegetal, evitando-se a coleta de amostras em locais próximos a cupinzeiros, queimadas de restos culturais, formigueiros, cochos de animais etc.

5) Na área a ser amostrada, realizar a coleta das amostras simples em zig-zag, nas profundidades de interesse: 0-20 cm, 20-40 cm; 40-60 cm etc. Amostras coletadas em faixas de profundidades intermediárias, como, por exemplo, 0-5 cm, 5-10 cm, 0-10 cm etc. geram valores que não podem ser interpretados com base nas classes de disponibilidade de nutrientes disponíveis na literatura, uma vez que a maioria das faixas de disponibilidade de nutrientes foram determinadas para a profundidade de 0-20 cm. Análises em profundidades intermediárias são realizadas somente para objetivos específicos.

6) Em áreas cultivadas com culturas perenes, realizar a coleta das amostras simples sob a copa das plantas, no local de aplicação dos fertilizantes. Em períodos mais prolongados, recomenda-se também, para o caso de culturas perenes, a coleta de amostras nas entrelinhas, para avaliação dos teores de nutrientes e de características relacionadas à acidez. Assim, devem ser enviadas duas amostras compostas para o laboratório: uma formada por amostras simples, coletadas sob a copa das plantas, e outra formada por amostras simples coletadas na entrelinha.

7) Reunir todas as amostras simples em um recipiente limpo, de preferência de plástico. Posteriormente, em uma lona plástica, fazer boa mistura de todo o conjunto de amostras simples, destorroando o solo. Deixar secar à sombra. Retirar aproximadamente 300 g dessa mistura, colocar em um saco plástico limpo, fazer a identificação e enviar para o laboratório.

3 ANÁLISE DO SOLO

A análise química do solo tem por princípio a determinação dos teores de nutrientes e de características que podem influenciar a disponibilidade desses nutrientes para as plantas. É composta por duas etapas principais: extração e quantificação. Na etapa de extração, são utilizadas soluções químicas, denominadas “extratores”, que tentam simular a absorção dos nutrientes pelas plantas. Nesta etapa, um determinado volume do extrator é agitado com um definido volume de solo, deslocando os nutrientes da fase sólida para a fase líquida (solução de equilíbrio). Na etapa de quantificação, são determinados os teores dos elementos na solução de equilíbrio, por meio de aparelhos, como o espectrofotômetro de absorção atômica, que permite quantificar os elementos: K, Na, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd, Cr, Ni etc. A quantificação de P, B e S é realizada em espectrofotômetro UV/Visível (colorímetro), o Al por titulometria e o pH é determinado em potenciômetro.

Os teores de nutrientes determinados pela análise química do solo são comparados com valores de referência, apresentados em tabelas de interpretação, permitindo assim a classificação do nível

de fertilidade do solo e a indicação da quantidade de corretivos e de fertilizantes a ser aplicada para a máxima eficiência das culturas.

No Laboratório, todos os processos e métodos de análises são realizados com muita exatidão, sendo a qualidade ratificada por meio de amostras-padrão e programas de controle, em que são observados os possíveis desvios das determinações.

No Estado do Espírito Santo, o extrator utilizado nas análises de P, K e da maioria dos micronutrientes é o Mehlich-1, que é uma solução diluída de ácido sulfúrico e ácido clorídrico (0,0125 mol/L de H_2SO_4 e 0,05 mol/L de HCl). No Estado de São Paulo, utiliza-se a resina de troca iônica, que é um material sintético, no formato de pequenas esferas ou de tela, que possui cargas elétricas responsáveis pela atração de íons trocáveis, semelhantemente ao que ocorre com os coloides do solo. A resina de troca aniônica é utilizada para a extração de elementos de carga negativa, como o P, e a de troca catiônica, para a extração de elementos de carga positiva, como K, Ca, Mg etc.

Nos laudos de resultados de análise de solo devem ser citados os extratores utilizados, pois para cada um deles existem teores de referência distintos, principalmente para P, sendo os teores obtidos para o Mehlich-1 diferentes dos obtidos com a Resina. Os teores de K, Ca e Mg recuperados por esses extratores tendem a ser semelhantes.

3.1 EXEMPLO DE UM RESULTADO DE ANÁLISE DE SOLO

A seguir é apresentado um exemplo de resultado de análise de solo, que será utilizado como referência para a realização de comentários sobre a interpretação das variáveis determinadas,

Laboratório de Análises de Solos

Registro Nº: 3698

Município: Guarapari

Cliente: Antônio Pedro Teixeira

Data: 15/03/2012

Propriedade: Rio Fundo

Valor: R\$ 31,56

Referência Laboratório	Referência do Cliente	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + AL
		H ₂ O	mg/dm ³			cmol/dm ³			
1	Área 1	5,1	8	73	15	1,2	0,6	1,1	5,1

Referência Laboratório	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	cmol/dm ³			%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³					
1	2,0	3,0	7,1	28	36	0,9	1,9	22	1,0	50	49	0,6	0,6	35

pH em água - Relação 1:2,5

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich-1

Ca - Mg - Al - Extrator KCl - 1 mol/L

H + Al - Correlação com pH SMP

B - Extrator água quente

S - Extrator fosfato monocálcico em ácido acético

SB - Soma de bases trocáveis

t - Capacidade de troca catiônica efetiva

T - Capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC)

V - Saturação por bases

m - Saturação por alumínio

ISNa - Índice de saturação de sódio

MO - Matéria orgânica (C.org. x 1.724)

P-rem - Fósforo remanescente

bem como as formas de cálculo e as transformações de unidade de medida, seguindo o Sistema Internacional de Unidades. Doravante será denominada “análise de solo de referência”.

As classes de interpretação são baseadas no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

3.1.1 pH

O pH mede a acidez ativa do solo que é a atividade de H⁺ presente na solução do solo. O pH varia ao longo do tempo, alterando seu valor conforme o manejo do solo, cultivos sucessivos e adubações. As plantas, ao absorverem nutrientes de carga positiva (K⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺

etc.), liberam H^+ das raízes para a solução do solo, o que reduz o pH.

Na reação dos fertilizantes nitrogenados com o solo, especificamente na nitrificação (passagem de amônio para nitrato), também há liberação de H^+ .

Além desses, outros fatores contribuem para o aumento da acidez do solo como precipitação pluviométrica, irrigações, dentre outros.

Na análise do solo, o pH é determinado agitando-se 10 cm³ de solo com 25 mL de água (relação 1:2,5), realizando-se a leitura em potenciômetro. Em alguns estados do Brasil, como São Paulo, o pH é determinado em solução de $CaCl_2$ (0,01 mol/L), que tem por objetivo reduzir a influência de sais sobre a leitura do pH (Tabela 1).

Tabela 1. Classe de interpretação da acidez ativa do solo (pH)

Determinação	Acidez		
	Elevada	Média	Fraca
pH em água	< 5,0	5,0 - 5,9	6,0 - 6,9
pH em $CaCl_2$	< 4,5	4,6 - 5,5	5,6 - 6,5

O pH do solo é um indicativo da sua fertilidade atual, isto é, da forma química em que o alumínio se encontra, se tóxica (Al^{3+}) ou precipitada ($Al(OH)_3$), do nível de solubilidade dos macro e micronutrientes e da atividade de micro-organismos no solo (Tabela 2).

Tabela 2. Prováveis características do solo em função do pH em água

pH	Prováveis características do solo
< 5,5	Elevados teores de Al^{3+} (tóxico) Baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} Baixa saturação por bases (V) Boa disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mn Baixa disponibilidade de B, Mo e Cl Deficiência de P (formação de precipitados P-Al, P-Fe e P-Mn e elevada adsorção nos colóides) Menor perda de N por volatilização de NH_3 Baixa atividade de micro-organismos
5,5 a 6,5	Ausência de Al^{3+} (tóxico) Boa disponibilidade de B Disponibilidade intermediária dos demais micronutrientes pH ideal para a maioria das culturas
> 6,5	Ausência de Al^{3+} (tóxico) Elevados teores de Ca e Mg Elevada saturação por bases (V) Baixa disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mn Boa disponibilidade de B até pH 7,5 Alta disponibilidade de Mo e Cl Aumento das perdas de N por volatilização de NH_3 Alta atividade de micro-organismos

A alteração da disponibilidade de alumínio e dos macro e micronutrientes em função do pH do solo é apresentada na Figura 1.

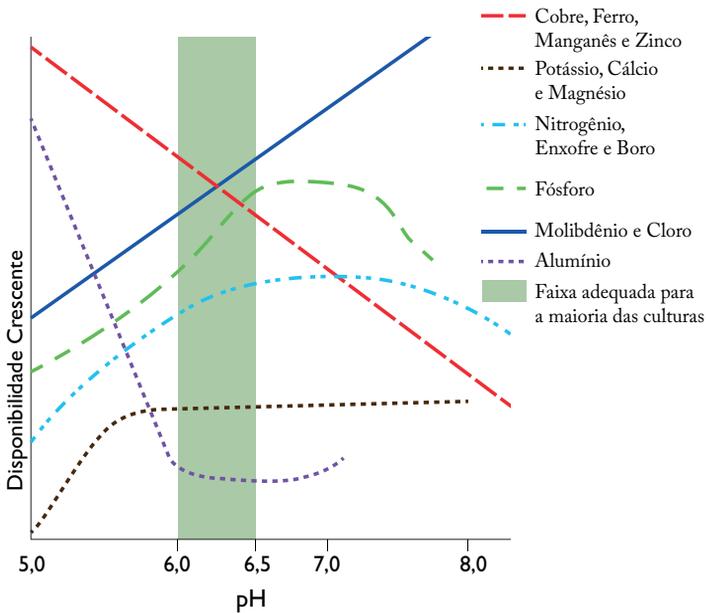


Figura 1. Disponibilidade de nutrientes e alumínio em função do pH do solo.

Fonte: Adaptado de Potash Phosphate Institute (1989).

A redução do pH do solo diminui a disponibilidade dos micronutrientes Cl, Mo e B e dos macronutrientes e aumenta a solubilidade de Al^{3+} , forma tóxica do alumínio. Em solos com pH superior a 6,5 há redução acentuada na disponibilidade dos micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn. Por essas razões, o pH do solo considerado adequado para o crescimento e desenvolvimento das plantas situa-se entre 6,0 e 6,5. Nessa faixa de pH não há presença de Al^{3+} (forma tóxica) e há boa disponibilidade de nutrientes.

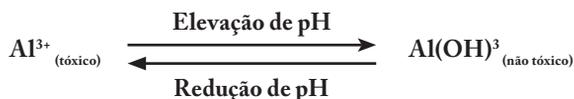
Em pH acima de 6,5, a solubilidade do Fe decresce aproximadamente mil vezes para cada unidade de aumento do pH do solo. Na faixa de pH de 4 a 9, a solubilidade de Mn diminui 100 vezes, para cada unidade de aumento do pH do solo.

3.1.2 Alumínio (Al^{3+})

Indica o teor de alumínio na forma iônica Al^{3+} (também denominada acidez trocável) que é a forma tóxica às plantas. Todos os solos contêm alumínio em diversas formas ou compostos, sendo o seu teor total praticamente constante. O que varia são as formas em que o alumínio se encontra.

O pH do solo influencia as formas de alumínio, sendo este alterado com a calagem. A dissociação dos carbonatos de Ca e Mg do calcário liberam OH^- para a solução do solo, que reage com o H^+ formando H_2O , elevando assim o pH (reação de neutralização). Com a elevação do pH, a forma de alumínio solúvel Al^{3+} (tóxica) passa para a forma insolúvel $\text{Al}(\text{OH})_3$ (não tóxica).

Com o passar do tempo, a lixiviação de bases do solo, proporcionada pelas chuvas, a absorção de bases pelas plantas em cultivos sucessivos e a aplicação de fertilizantes, principalmente os nitrogenados amoniacais, voltam a acidificar o solo, reduzindo o seu pH e aumentando assim a solubilidade do alumínio, que passa da forma $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ para Al^{3+} (e outras formas intermediárias), voltando a causar toxidez às plantas.



Como pode ser observado na Figura 1, em solos ácidos, a solubilidade do Al^{3+} é muito elevada, causando danos às raízes das plantas. Com a elevação do pH, ocorre a redução da solubilidade de Al^{3+} , até pH 5,5, não mais havendo presença da forma tóxica, predominando o alumínio na forma $\text{Al}(\text{OH})_3$, que é um precipitado inerte.

O Al^{3+} causa o engrossamento das raízes, reduz o seu crescimento e impede a formação de pêlos radiculares, prejudicando a absorção de água e nutrientes. No entanto, há espécies de plantas com alta tolerância ao Al^{3+} , como diversas espécies do gênero *Eucaliptus*.

As classes de interpretação para o teor de alumínio trocável (Al^{3+}), determinados pelo extrator KCl 1mol/L, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de interpretação para o teor de alumínio trocável (Al^{3+})

Elemento	Baixo	Médio	Alto
Al^{3+} (cmol _c /dm ³)	< 0,3	0,3 – 1,0	> 1,0

Na análise de solo utilizada como referência (p. 7), o teor de Al^{3+} é de 1,1 cmol_c/dm³, sendo considerado “Alto”. O pH do solo igual 5,1 indica a presença de alumínio na forma de Al^{3+} . Após a calagem, se houver a elevação do pH para um valor superior a 5,5; o teor de Al^{3+} deverá assumir o valor zero, uma vez que acima de pH 5,5 não há presença de alumínio na forma de Al^{3+} .

3.1.3 H+Al

Também denominada “acidez potencial” ou “acidez total”. As classes de interpretação para a acidez potencial (H+Al) estimadas pela correlação com o pH SMP são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de interpretação para a acidez potencial (H+Al)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Acidez potencial (H + Al)	Correlação pH SMP	cmol _c /dm ³	< 2,5	2,5 – 5,0	> 5,0

Essas classes de interpretação são genéricas e de pouca aplicação prática, uma vez que a determinação do H+Al tem por objetivo principal o cálculo da CTC Total do solo (T).

Geralmente os valores de H+Al são maiores em solos ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem baixos valores de pH.

3.1.4 Soma de Bases (SB)

Representa a soma das bases presentes no solo, ou seja, dos elementos K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺. É também denominada S, sendo que esta representação deve ser evitada para não confundir com o enxofre, cujo símbolo também é representado pela letra S.

Para o cálculo da soma de bases (SB), todos os elementos devem estar expressos na mesma unidade (cmol_c/dm³). Como o teor de K⁺ é expresso em mg/dm³, é necessária a sua transformação. Para isso, divide-se o teor de K⁺ por 39,1 (massa atômica do K), obtendo-se assim o seu teor em mmol_c/dm³, utilizando a análise de solo de referência, $73/39,1 = 1,87$ mmol_c/dm³. Para converter mmol_c/cm³ em cmol_c/dm³ divide-se por 10. O que equivale a 0,187 cmol_c/dm³. Portanto, para simplificar o cálculo, é utilizado o fator de transformação 391, isto é, se for dividido o teor de K⁺ em mg/dm³ por 391 (K/391) será obtido o

resultado em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ($73 \text{ mg}/\text{dm}^3 \text{ de K} \div 391 = 0,187 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de K}$).

O teor de Na na análise, assim como o K, também é expresso em mg/dm^3 , para a sua transformação para $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Se o teor de Na for dividido por 23 (massa atômica do Na), obtém-se dessa forma o seu teor em $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$, ou seja, $15/23 = 0,65 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$. Para converter $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ divide-se por 10, resultando em $0,065 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$. Portanto, para simplificar o cálculo, é utilizado o fator de transformação 230, isto é, se for dividido o teor de Na em mg/dm^3 por 230 ($\text{Na}/230$) será obtido o resultado em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ($15 \text{ mg}/\text{dm}^3 \text{ de Na} \div 230 = 0,065 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Na}$). Ressalta-se a pouca contribuição do sódio na soma de bases do solo em solos não salinos ou sódicos.

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} na análise frequentemente já são expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

Portanto, a soma de bases no resultado de análise de referência será:

$$\text{SB} = \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$$

$$\text{SB} = 0,187 + 0,065 + 1,2 + 0,6$$

$$\text{SB} = 2,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$$

As classes de interpretação para a soma de bases (SB) são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Classes de interpretação para a soma de bases (SB)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Soma de bases (SB)	$\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$	< 2,0	2,0 – 5,0	> 5,0

As classes de interpretação para a soma de bases (SB) são genéricas e sem aplicação prática, sendo estimadas para auxiliar nos cálculos da CTC Total, CTC efetiva e saturação por bases (V).

3.1.5 CTC Total

É a capacidade de troca de cátions do solo, medida à pH 7, também representada pela letra T. É uma das variáveis mais importantes para a interpretação do potencial produtivo do solo. Indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7. Essas cargas são aptas a adsorver (reter) os nutrientes de carga positiva (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), adicionados ao solo via calagem ou adubações, e outros elementos como Al^{3+} , H^+ , Na^+ etc.

$$T = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + (H+Al)$$

ou

$$T = SB + (H+Al)$$

Para o cálculo da T é necessário que os elementos estejam expressos na mesma unidade ($cmol_c/dm^3$). Assim, os teores de K e Na (expressos em mg/dm^3) têm que ser transformados para $cmol_c/dm^3$, conforme já descrito anteriormente.

Dessa forma, a T na análise de solo de referência será:

$$T = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + (H + Al)$$

$$T = 0,187 + 0,065 + 1,2 + 0,6 + 5,1$$

$$T = 7,1 \text{ } cmol_c/dm^3$$

A T é uma característica do solo e apresenta valor praticamente constante (somente pode ser alterada com a aplicação de elevadas doses de matéria orgânica ou em decorrência de intenso processo erosivo, quando há perda da camada superficial). Assim, sendo a quantidade total de cargas negativas do solo praticamente constante, quanto maior a quantidade de Al^{3+} , H^+ e Na^+ no solo menor é a quantidade de cargas negativas disponíveis para adsorver as bases K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Quando a quantidade de nutrientes catiônicos adicionada via adubação é superior à CTC do solo, esses nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) podem ser perdidos por lixiviação.

Solos argilosos e/ou com elevado teor de matéria orgânica geralmente possuem elevada T, isto é, conseguem adsorver grande quantidade de nutrientes catiônicos. Solos arenosos apresentam baixa T e, mesmo com pequena adição de bases, estas estão suscetíveis a perdas por lixiviação.

Solos de regiões de clima temperado, menos intemperizados, geralmente apresentam maior T do que solos de regiões tropicais, devido à mineralogia e aos maiores teores de matéria orgânica em razão da menor taxa de mineralização proporcionada pelas baixas temperaturas.

As classes de interpretação para a capacidade total de troca de cátions total determinada a pH 7 (CTC Total) são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Classes de interpretação para a CTC Total (T)

Característica	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
CTC (T)	SB + H + Al	$cmol_c/dm^3$	<4,5	4,5 - 10	> 10

Solos que apresentam T abaixo de $4,5 cmol_c/dm^3$ geralmente

apresentam baixa capacidade tampão, isto é, menor resistência à variação do pH. Pequenas quantidades de calcário geralmente são suficientes para alterar significativamente o pH.

Solos que apresentam CTC (T) acima de 10 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ geralmente também apresentam elevado poder tampão, isto é, necessitam de maior quantidade de calcário para alterar o pH.

A proporção de ocupação de cada elemento na T do solo é obtida pela divisão do seu teor pelo valor da T, multiplicando-se o resultado por 100.

$$\text{Proporção do elemento na T} = \frac{\text{Teor do elemento (cmol}_c/\text{dm}^3)}{\text{T (cmol}_c/\text{dm}^3)} \times 100$$

Solos com boas características de fertilidade geralmente apresentam as seguintes proporções de nutrientes na CTC:

$$\text{K}^+ = 3 \text{ a } 5\% \quad \text{Ca}^{2+} = 50 \text{ a } 70\% \quad \text{Mg}^{2+} = 10 \text{ a } 15\% \quad \text{Na}^+ = < 5\%$$

Utilizando-se o exemplo da análise de solo de referência, têm-se as seguintes proporções:

$$\text{K} = (0,187/7,1) \times 100 = 2,6\%$$

$$\text{Ca} = (1,2/7,1) \times 100 = 16,9\%$$

$$\text{Mg} = (0,6/7,1) \times 100 = 8,4\%$$

$$\text{Na} = (0,065/7,1) \times 100 = 0,9\%$$

$$\text{H} + \text{Al} = (5,1/7,1) \times 100 = 71,8\%$$

Esses valores são variáveis com a calagem e as adubações e podem ser utilizados para indicar o limite máximo da quantidade

do elemento a ser aplicado ao solo para que este não se perca por lixiviação; entretanto, não devem ser utilizados como base para a adubação das culturas, pois em solos com baixa CTC certamente a quantidade estimada poderá ser inferior à necessidade das plantas.

Supondo que se queira elevar a proporção de K na CTC de 2,6% para 5,0%, então é necessário adicionar ao solo uma quantidade de K equivalente a 2,4% da sua CTC (5,0% – 2,6%).

Logo, 2,4% de $7,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 = 0,17 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ de K. Um $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ de K = $390 \text{ mg}/\text{dm}^3 \times 0,17 = 66,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$ de K. Como em 1 ha tem-se $2 \times 10^6 \text{ dm}^3$, teria que ser aplicado $132,6 \text{ kg}/\text{ha}$ de K ou $159,12 \text{ kg}/\text{ha}$ de K_2O .

Em um solo cuja T seja baixa, como por exemplo $3 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, para se elevar a proporção de K de 2,6% para 5,0%, a dose de K_2O seria de $56,16 \text{ kg}/\text{ha}$, quantidade esta que pode ser insuficiente para atender à demanda da cultura.

3.1.6 CTC efetiva (t)

Indica a quantidade de cargas negativas ocupadas com os cátions trocáveis. Neste caso não se considera o H^+ .

$$t = \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Al}^{3+} \quad \text{ou} \quad t = \text{SB} + \text{Al}^{3+}$$

As classes de interpretação para a capacidade de troca (retenção) de cátions no pH natural do solo (CTC efetiva) são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Classes de interpretação para a CTC efetiva (t)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
CTC efetiva (t)	SB + Al ³⁺	cmol _c /dm ³	< 2,5	2,5 – 6,0	> 6,0

A CTC efetiva (t) da análise de solo de referência será:

$$t = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Al^{3+}$$

$$t = 0,187 + 0,065 + 1,2 + 0,6 + 1,1$$

$$t = 3,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$$

3.1.7 Saturação por bases (V)

Indica a porcentagem do total de cargas negativas ocupadas por bases ($K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$). É calculada pela divisão da soma de bases (SB) pela T do solo, multiplicado por 100.

$$V = \frac{SB}{T} \times 100$$

A unidade utilizada para expressar a saturação por bases é a porcentagem (%), sendo aceita pelo Sistema Internacional de Unidades por se tratar de um índice calculado e não concentração ou teores.

Com a calagem, busca-se elevar a saturação por bases do solo a valores adequados à exigência da cultura, os quais geralmente variam de 50 a 80%.

Ao se elevar a saturação por bases do solo com a calagem, há uma redução proporcional do H+Al, reduzindo-se assim a acidez do solo.

As classes de interpretação para saturação por bases (V) são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Classes de interpretação para saturação por bases (V)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Saturação em bases (V)	$\frac{SB}{T} \times 100$	%	< 50	50 - 70	> 70

Na análise de solo de referência, a saturação por bases será:

$$V = \frac{SB}{T} \times 100 \qquad V = \frac{2,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3}{7,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3} \times 100 \qquad V=28\%$$

Portanto, com base na Tabela 8, o valor de $V = 28\%$ é considerado baixo, havendo necessidade de calagem para elevação da saturação por bases até o valor exigido pela cultura.

3.1.8 Saturação por alumínio (m)

É o índice de saturação por Al^{3+} na CTC efetiva (t).

$$m = \frac{Al^{3+}}{t} \times 100$$

O Al é o único elemento cuja proporção é determinada com base na t, pois a T é estimada considerando-se todas as cargas negativas ocupadas com bases, em pH 7. Para os demais elementos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+), a proporção é calculada em relação à T.

Para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, o ideal é que não haja presença de Al^{3+} , isto é, que o pH seja maior que 5,5, ocasião em que o m se iguala a zero.

As classes de interpretação para saturação por alumínio (m) são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Classes de interpretação para saturação em alumínio (m)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Saturação em alumínio (m)	$\frac{Al^{3+}}{t} \times 100$	%	< 50	50 - 70	> 70

A saturação em Al^{3+} na análise de solo de referência será:

$$m = \frac{Al^{3+}}{t} \times 100 \qquad m = \frac{1,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3}{3,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3} \times 100 \qquad m=36\%$$

Com base na Tabela 9, o valor de m é considerado médio.

Entretanto, se se considerar um solo que apresente o mesmo teor de Al^{3+} ($1,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e t de $6,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, a saturação por alumínio seria de 18% ($(1,1/6,0) \times 100$), valor considerado baixo.

Portanto, solos com o mesmo teor de Al^{3+} podem apresentar diferentes valores de m, desde que estes tenham diferentes valores de t.

3.1.9 Na e ISNa

Na é o teor de sódio disponível (trocável) e ISNa é o índice de saturação de sódio do solo, também denominado Porcentagem de Sódio Trocável (PST). Mesmo não sendo um nutriente essencial às plantas, sua determinação é importante em solos halomórficos ou salinos, próximos ao litoral ou que receberam resíduos de indústrias como efluentes de laticínios, ricos em sais.

Quando presente em alta concentração no solo, o Na pode causar efeito depressivo sobre a produtividade das culturas por dificultar a absorção de água e nutrientes pela planta ou pelo seu efeito dispersante

sobre as argilas, causando a desestruturação do solo e reduzindo a infiltração de água, trocas gasosas e dificultando a penetração de raízes.

Somente a informação do teor de Na disponível do solo não é suficiente para avaliar os efeitos adversos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. É importante conhecer também a proporção em relação aos demais cátions do solo, como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

O índice de saturação de sódio em relação aos demais cátions trocáveis na T do solo é expresso pela relação:

$$ISNa = \frac{Na^+ (cmol_c/dm^3)}{T (cmol_c/dm^3)} \times 100$$

Um solo é considerado sódico quando apresenta ISNa superior a 15% (RICHARDS, 1970). Considerando-se, por medida de segurança, um ISNa máximo de 10% e sendo a CTC do solo utilizada como exemplo igual a $7,1 \text{ cmol}_c/dm^3$, estima-se, pela fórmula acima, que o teor de Na máximo seria de $0,71 \text{ cmol}_c/dm^3$, que corresponde a 163 mg/dm^3 , valor muito superior ao indicado no resultado da análise de referência (15 mg/dm^3).

Para o cálculo do ISNa da análise de solo de referência, é preciso transformar o teor de 15 mg/dm^3 de Na em $cmol_c/dm^3$. Para isto, divide-se o valor de 15 mg/dm^3 por 230 (valor correspondente ao mol_c de Na expresso em cg), obtendo-se o valor de $0,065 \text{ cmol}_c/dm^3$ de Na. Para um T de $7,1 \text{ cmol}_c/dm^3$, o ISNa será:

$$ISNa = \frac{0,065 \text{ cmol}_c/dm^3}{7,1 \text{ cmol}_c/dm^3} \times 100 \quad m=0,91\%$$

O índice de saturação de Na na T da maioria dos solos é baixo quando comparado à saturação dos demais cátions, como o K^+ , Ca^{2+} e

Mg²⁺, influenciando muito pouco nos cálculos da SB e da T dos solos. Por essa razão, em muitos casos, o Na é desconsiderado nesses cálculos.

3.1.10 Matéria orgânica do solo (MO)

A matéria orgânica (MO) do solo é formada pelos resíduos da parte aérea e radicular das plantas, de micro-organismos e exsudados de raízes. É constituída basicamente por C, H, O, N, S e P. A proporção destes elementos gira em torno de 58% de C, 6% de H, 33% de O e 3% de N, S e P.

O teor de MO do solo é calculado multiplicando-se o teor de carbono do solo (carbono orgânico) pelo fator 1,72 (obtido pela divisão 100/58)

$$\text{Matéria Orgânica} = \text{Carbono Orgânico} \times 1,72$$

O teor de matéria orgânica do solo é um indicativo do seu potencial produtivo, pois solos com maior teor de MO apresentam maiores valores de T e maior capacidade de fornecimento de nutrientes às plantas, quando comparados a solos com menores teores de MO.

Em solos tropicais, a MO é a principal responsável pela geração de cargas negativas do solo, contribuindo com até 80% das cargas negativas do solo.

Com a mineralização da MO no solo, há liberação de bases que se encontravam imobilizadas nas cadeias carbônicas dos tecidos vegetais, que promovem aumento do pH e da disponibilidade de nutrientes. Ocorre também a complexação do Al³⁺ do solo pelas moléculas orgânicas liberadas, o que contribui para reduzir a toxidez desse elemento e elevar o pH.

Na análise do solo geralmente não se determina o teor de N em razão da sua complexa dinâmica no solo, com alteração de sua forma em função das condições ambientais, como umidade, temperatura, pH, atividade de micro-organismos etc. Embora existam métodos para a determinação das diferentes formas de N do solo, ainda não foi possível um método que integralize um número tão grande de fatores e forneça um índice de disponibilidade de N.

Uma forma de se estimar o potencial de fornecimento de N do solo é a quantificação de sua disponibilização pela matéria orgânica do solo.

Como exemplo, no resultado de análise de solo de referência, a quantidade de N disponibilizada anualmente às plantas pode ser estimada pelos seguintes cálculos:

Teor de MO na análise de referência = 1,9 dag/kg = 1,9%

1 ha = 2×10^6 kg de solo, considerando-se uma densidade do solo de 1 kg/dm³

Para um teor de 1,9% de MO = 38.000 kg de MO/ha

Considerando um teor de N na MO de 1,5% = 570 kg de N/ha

Supondo uma taxa de mineralização da MO de 3% ao ano = 17 kg/ha/ano de N

Para um solo com 3% de MO, a quantidade de N disponibilizada será de 27 kg/ha/ano de N.

Esta é a quantidade de N disponibilizada para as plantas caso não haja adição de fertilizantes e é ela que praticamente mantém as vegetações naturais dos biomas.

No Sistema Internacional de Unidades, o teor de MO pode ser expresso em dag/kg ou g/kg. O fator de conversão entre essas duas unidades é 10.

$$g/kg = dag/kg \times 10$$

Portanto, um teor de MO = 2,3 dag/kg equivale a 23 g/kg.

Ressalta-se que dag/kg equivale a %. Logo 2,3 dag/kg equivalem a 2,3% de MO. Entretanto, pelo Sistema Internacional de Unidades, o símbolo % não deve ser utilizado para expressar teor ou concentração. Somente pode ser utilizado para expressar índices, obtidos por meio de cálculos.

Solos com altos teores de MO (> 5 dag/kg) geralmente apresentam elevada T e grande resistência à variação do pH, exigindo grandes quantidades de calcário para elevar a saturação por bases a valores exigidos pelas culturas (elevado poder tampão). Entretanto, nesse tipo de solo, as plantas apresentam bom desenvolvimento mesmo em menores valores de saturação por bases e na presença de Al^{3+} . Isto ocorre devido à elevada T, que consegue reter grande quantidade de nutrientes e também de Al^{3+} . Como a disponibilidade de nutrientes é grande, as plantas conseguem se nutrir adequadamente, mesmo na presença de Al^{3+} .

Solos arenosos com baixos teores de MO (<1,5 dag/kg) apresentam baixa T e conseqüentemente baixo poder tampão. Geralmente exigem pequenas quantidades de calcário para a correção da acidez e retêm pouca quantidade de nutrientes. Exigem parcelamento da adubação, para evitar que os nutrientes se percam por lixiviação. Doses mais elevadas de fertilizantes podem causar danos às raízes das plantas pela elevação da salinidade, principalmente fertilizantes potássicos e nitrogenados.

As classes de interpretação para MO são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Classes de interpretação para MO

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Matéria orgânica (MO)	Colorimétrico	dag/kg	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0

3.1.11 Fósforo disponível (P)

O teor de fósforo “disponível” (P) para as plantas é uma medida relativa da quantidade do elemento no solo. Para a sua determinação, são utilizados extratores específicos, sendo os mais comuns o Mehlich-1 e a Resina. As quantidades de P recuperadas por esses extratores são diferentes. Entretanto, para qualquer um deles, a indicação de níveis altos significa que naquele solo há baixa probabilidade de resposta das culturas à aplicação de P. Caso o contrário ocorra, se os valores determinados na análise forem baixos, significa que há necessidade de aplicação de P para que haja adequado crescimento das plantas e que essas consigam atingir a produtividade almejada.

Os extratores Mehlich-1 e Resina não objetivam quantificar o total de P existente no solo, mas sim a possibilidade de resposta à adubação fosfatada: se baixa, média ou alta (denominação das classes de disponibilidade). Mesmo que os valores absolutos do teor de P do solo sejam diferentes entre estes extratores, a classe de disponibilidade deverá ser a mesma, isto é, se um solo é classificado como de baixa disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-1, é de se esperar a mesma classificação pelo extrator Resina.

O extrator Mehlich-1, por ser uma solução ácida (pH em torno de 2,0), pode dissolver formas de P pouco solúveis, como em solos que receberam fosfato natural e termofosfatos, apresentando teores mais elevados do que o realmente disponível para as plantas.

Apesar desse fato, o extrator Mehlich-1, pela sua simplicidade de análise é o mais utilizado no Brasil, sendo a Resina utilizada principalmente no Estado de São Paulo.

Assim como as plantas, a capacidade de extração do Mehlich-1

é dependente da quantidade e qualidade da argila do solo em razão da forte ligação do P com as partículas do solo, principalmente com os óxidos de Fe e Al. Portanto, quanto maior a quantidade de argila e a presença desses óxidos, menor é a capacidade de extração de P pelo extrator e menores serão os valores obtidos.

Assim, para a adequada interpretação da disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-1, é necessário se conhecer a capacidade de adsorção de P do solo (capacidade tampão). Essa característica pode ser estimada pela determinação da textura do solo (análise granulométrica), que representa os teores de areia, silte e argila, mas não indica a qualidade da argila. Por essa razão, a capacidade de adsorção de P do solo deve ser estimada preferencialmente pela análise denominada “fósforo remanescente”, simbolizada por “P-rem”.

3.1.12 Fósforo remanescente (P-rem)

Mede a capacidade de adsorção de P do solo, isto é, o quanto do P aplicado é retido pelas argilas do solo. A sua análise consiste na agitação de um determinado volume de solo (10 cm³) com uma solução contendo P em uma concentração conhecida (60 mg/L de P). Quanto mais argiloso for o solo, maior será a adsorção de P pelas argilas e menor será a quantidade de P na solução de equilíbrio, pois parte do P da solução será retida pelas argilas. Após determinado tempo de contato, o P é quantificado na solução em equilíbrio (daí a denominação “fósforo remanescente”). A concentração final de P na solução indica a capacidade de adsorção do solo e permite inferir sobre a sua textura, se argilosa, média ou arenosa (Tabela 11). A concentração de P na solução em equilíbrio (P-rem) será menor

para solos argilosos e maior para solos arenosos. O P-rem também é utilizado para avaliar a capacidade de adsorção de Zn e S pelo solo.

Tabela 11. Estimativa da textura do solo em função do fósforo remanescente (P-rem)

P-rem (mg/L)	Estimativa da textura do solo
< 20	Argilosa
20 - 40	Média
> 40	Arenosa

O teor de P determinado na análise de solo é um valor relativo, que indica o teor de P “disponível” para as culturas. As classes de fertilidade, por exemplo baixo, médio e alto, são determinadas por meio de trabalhos de calibração, em que são correlacionados os teores de P no solo, determinados por um extrator (Mehlich-1, Resina etc.), e o crescimento das plantas.

As faixas de teores são utilizadas como referência para indicar a disponibilidade de P atual do solo e auxiliar nos cálculos da quantidade de fertilizante a ser aplicado ao solo para a máxima eficiência econômica das culturas (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12. Disponibilidade de P para as culturas em função do teor de P no solo determinado pelo extrator Mehlich-1.

Teor de P no solo mg/dm ³	Disponibilidade de P para as culturas
<5	A maioria das culturas cultivadas em solo com este teor de P provavelmente terão baixa produtividade devido à baixa disponibilidade desse elemento, principalmente em solos de textura arenosa (Prem > 40)
5 - 10	Situação em que somente algumas culturas perenes conseguem manter produtividades médias, como, por exemplo, espécies florestais. Em solos de textura arenosa, esta faixa de teor ainda é limitante para culturas anuais e hortaliças.

continua...

...conclusão

Teor de P no solo mg/dm ³	Disponibilidade de P para as culturas
10 - 20	Satisfaz a demanda de grande parte das culturas perenes, mas ainda é limitante para a maioria das culturas anuais e hortaliças.
20 - 40	Faixa de teor é adequada para a maioria das culturas perenes e limitante para hortaliças. Apresenta média disponibilidade para culturas anuais somente em solo com característica arenosa.
40 - 80	Boa disponibilidade para culturas perenes e anuais, porém limitante para algumas hortaliças de alta produtividade como, por exemplo, tomate e batata.
> 80	Faixa de teor adequada para a maioria das culturas.

Tabela 13. Classes de interpretação para fósforo disponível em função da cultura e do fósforo remanescente (P-rem)

P Método	Cultura	P rem mg/L	Classificação		
			Baixo	Médio mg/dm ³	Alto
Mehlich-1	Perene	< 20	< 5	5 - 10	>10
		20 - 40	< 10	10 - 20	>20
		> 40	< 20	20 - 30	> 30
	Anual	< 20	< 20	20 - 40	>40
		20 - 40	< 40	40 - 60	> 60
		> 40	< 60	60 - 80	> 80
	Hortaliça	< 20	< 30	30 - 60	> 60
		20 - 40	< 60	60 - 100	>100
		> 40	< 100	100 - 150	> 150

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Ressalta-se que os valores acima se referem ao extrator Mehlich-1. Caso o laboratório utilize o extrator Resina, os valores de referência serão diferentes (Tabela 14).

Tabela 14. Classes de interpretação para fósforo disponível pelo extrator Resina em função da cultura.

Método	Cultura	Classificação				
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
		mg/dm ³				
	Florestais	0 - 2	3 - 5	6 - 8	9 - 16	> 16
Resina	Perenes	0 - 5	6 - 12	13 - 30	31 - 60	> 60
	Anuais	0 - 6	7 - 15	16 - 40	41 - 80	> 80
	Hortaliças	0 - 10	11 - 25	26 - 60	61 - 120	> 120

Fonte: Rajj et al (1996).

3.1.13 Potássio disponível (K)

Indica o teor de potássio disponível no solo. É extraído pelo extrator Mehlich-1 ou Resina de troca catiônica. Os valores de K obtidos por esses extratores não diferem tanto quanto para o P.

A maior proporção do K do solo (98 %) encontra-se nas estruturas dos minerais, em forma não disponível para as plantas, sendo denominado K estrutural. Apenas uma pequena fração encontra-se em formas mais disponíveis, sendo denominado K trocável aquele ligado às cargas negativas das argilas, e K em solução o que permanece livre, na fase líquida do solo.

Com a intemperização dos minerais, parte do K estrutural passa para as formas trocável e em solução. Entretanto é um processo lento e, na maioria dos casos, insuficiente para suprir culturas comerciais de maior produtividade, principalmente as de ciclo curto.

A maior ou menor capacidade do solo em repor o K em solução é dependente da quantidade de K estrutural, variável com a quantidade e qualidade dos minerais do solo. Por esta razão,

há diferentes comportamentos das culturas em função do tipo de solo. Como exemplo pode-se citar a cultura da banana, que se desenvolve melhor em solos com altos teores de K e elevada capacidade de reposição pelos minerais.

A análise do solo somente determina a quantidade de K disponível às plantas em curto espaço de tempo, constituído por parte do K trocável e K em solução (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15. Classes de interpretação para potássio disponível, pelo extrator Mehlich-1, em função da cultura

Método	Cultura	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
		mg/dm ³		
Mehlich-1	Perene / Anual	< 60	60 - 150	> 150
	Hortaliça	< 80	80 - 200	> 200

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Tabela 16. Classes de interpretação para potássio disponível pelo extrator Resina

Método	Classificação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Resina	0 - 30	31 - 60	61 - 120	121 - 235	> 235

Fonte: Rajj et al (1996).

3.1.14 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Indicam a quantidade de cálcio e magnésio do solo na forma trocável (Ca²⁺ e Mg²⁺), isto é, passíveis de absorção pelas plantas.

Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ estão diretamente relacionados com a

acidez dos solos. Geralmente solos ácidos apresentam baixos teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} e solos de boa fertilidade, maiores teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} . São os elementos que mais influenciam na V em razão da sua maior taxa de ocupação da T.

Em solos ácidos, seus teores são aumentados com a aplicação de calcário, que, por sua vez, eleva a saturação por bases do solo, aumenta o pH e reduz a toxidez do Al.

Solos de baixa T e baixos teores de Ca e Mg (características de solos arenosos) podem apresentar de média a elevada V. Isto por que a V é um valor relativo e pode dar uma falsa indicação de fertilidade elevada.

Por esta razão, é importante que os teores de Ca e Mg estejam acima dos níveis adequados ao bom crescimento das culturas, conforme indicado na Tabela 17.

Tabela 17. Classes de interpretação para cálcio e magnésio

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Cálcio (Ca)	KCl 1 mol/L	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$	< 1,5	1,5 – 4,0	> 4,0
Magnésio (Mg)	KCl 1 mol/L	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$	< 0,5	0,5 – 1,0	> 1,0

3.1.15 Enxofre (S)

Assim como o N, o teor de S no solo é facilmente alterado com o manejo do solo ou com a precipitação pluviométrica, pois é lixiviado com facilidade na forma de SO_4^{2-} . Geralmente seu teor é maior em camadas inferiores, como, por exemplo, a de 20 a 40 cm.

Nas recomendações de adubação, o S geralmente é relegado a segundo plano em razão do seu fornecimento via fertilizantes, como o

sulfato de amônio, superfosfato simples ou sulfato de potássio. Outra razão é que doses relativamente baixas (40 a 80 kg/ha) são suficientes para atender à demanda da maioria das culturas.

Entretanto, quando são utilizados continuamente fertilizantes que não possuem S em sua composição, como os formulados de alta concentração, que são constituídos principalmente por ureia, superfosfato triplo, MAP e cloreto de potássio (Exemplo: 25:05:20) e em lavouras de alta produtividade, pode ocorrer deficiência de S.

As espécies mais exigentes em S pertencem às famílias das crucíferas (repolho, couve-flor etc.) e liliáceas (alho, cebola etc.) com demandas médias de 70 a 80 kg/ha de S. Leguminosas, cereais e forrageiras apresentam menores requerimentos (15 a 50 kg/ha).

Em geral, as leguminosas exigem maiores quantidades de S do que as gramíneas, em razão dos seus teores mais elevados de proteínas.

O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é uma fonte eficiente e econômica de S. Em solos deficientes em S, a aplicação 500 kg/ha de gesso (75 kg de S) supre a demanda da maioria das culturas.

Na Tabela 18 são apresentadas as classes de interpretação para enxofre.

Tabela 18. Classes de interpretação para enxofre.

Elemento	Método	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
		mg/dm ³		
Enxofre (S)	CaH_2PO_4 0,01 M	< 5,0	5,0 - 10	> 10

3.1.16 Micronutrientes

A análise de micronutrientes apresenta algumas limitações que

dificultam a avaliação da sua real disponibilidade no solo. Os baixos teores extraídos, principalmente de B, Cu e Zn, o pH, o teor de argila e de matéria orgânica do solo são variáveis que podem influenciar a interpretação da disponibilidade dos micronutrientes, além dos diferentes níveis de exigência das culturas.

Na literatura são poucos os artigos científicos que relacionam a resposta de culturas, extratores e as variáveis citadas anteriormente.

Por essa razão, é necessário conhecer as características de cada micronutriente, sua dinâmica no solo e na planta, para que medidas preventivas sejam tomadas, evitando-se assim futuras deficiências nas culturas.

B: Facilmente lixiviado em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica. Altas pluviosidades e excessos nas lâminas de irrigação elevam as perdas por lixiviação. Os sintomas de deficiência ocorrem em períodos secos e tendem a desaparecer com o retorno da umidade adequada do solo. Isto ocorre em razão de redução da mineralização da matéria orgânica, importante fonte de B para o solo. A seca também reduz o transporte de B no solo e o crescimento das raízes, reduzindo assim a sua absorção.

Zn: A ocorrência de deficiências é mais comum em solos argilosos com elevado pH. Assim como o P, é retido com muita energia pelas argilas do solo, o que dificulta a sua absorção pelas plantas. A calagem reduz a disponibilidade de Zn em razão do aumento do pH. Altas doses de fertilizantes fosfatados também reduzem a disponibilidade de Zn.

Cu: Em solos orgânicos há maior probabilidade de ocorrência de deficiência de Cu pela formação de complexos estáveis, o que dificulta a absorção de Cu pelas plantas. Solos arenosos são mais deficientes em Cu que solos argilosos devido à facilidade de lixiviação.

Fe: Geralmente abundante em solos tropicais. Sua disponibilidade é muito reduzida com o aumento do pH do solo. Por esta razão, a calagem é uma prática eficiente para reduzir a toxidez de Fe em culturas sensíveis a este elemento. A deficiência de Fe pode ser causada por excesso de P, pH elevado e baixas temperaturas.

Mn: Assim como o Fe, geralmente é abundante em solos tropicais. Sua disponibilidade também diminui com o aumento do pH do solo. Em solos orgânicos há formação de complexos que reduzem a disponibilidade de Mn para as plantas. Os sintomas de deficiência são mais comuns em solos arenosos, com baixa T e em épocas secas e temperaturas elevadas.

Cl: Embora sendo um dos íons mais móveis do solo, sendo facilmente lixiviado, geralmente encontra-se em boa disponibilidade para as plantas. A sua disponibilidade aumenta com a calagem. Apresenta-se em maiores teores em solos próximos ao mar ou naqueles que recebem tratamentos com águas salinas, como as de laticínios.

Mo: As deficiências ocorrem em solos arenosos e em solos ácidos, sendo que a calagem aumenta sua disponibilidade. É importante na fixação do N atmosférico pelas leguminosas. É requerido em pequenas quantidades pelas plantas, sendo que 40 a 50 g/ha geralmente suprem as necessidades.

Ni: Passou a ser um micronutriente essencial às plantas após estudos comprovando sua função como componente da urease, enzima que catalisa a reação da ureia, transformando-a em amônia e gás carbônico. Não há trabalhos que constatem deficiência de Ni em plantas. Cuidados devem ser tomados com a toxidez causada por aplicações de resíduos industriais e lodo de esgoto.

Existe grande diversidade de extratores utilizados para a

determinação de micronutrientes no solo. Entretanto, nas análises de rotina, o mais utilizado é o Mehlich-1, devido à facilidade de preparo da solução e por já se ter o extrato onde foi determinado o P e K. O extrator mais utilizado para B é a água quente (Tabela 19).

Tabela 19. Classes de interpretação para micronutrientes disponíveis no solo

Elemento	Método	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
Boro (B)	Água quente	< 0,35	0,35 – 0,9	> 0,9
Zinco (Zn)	Mehlich - 1	< 1,0	1,0 – 2,2	> 2,2
Cobre (Cu)	Mehlich - 1	< 0,8	0,8 – 1,8	> 1,8
Ferro (Fe)	Mehlich - 1	< 20	20 – 45	> 45
Manganês (Mn)	Mehlich - 1	< 5,0	5,0 – 12	> 12

4 CALAGEM

É recomendada quando o solo apresenta baixa V, elevada acidez e elevado teor de Al^{3+} .

O calcário, constituído por carbonatos de cálcio e magnésio ($CaCO_3$ e $MgCO_3$), quando aplicado ao solo se dissocia em íons de Ca^{2+} , Mg^{2+} e CO_3^{2-} . Este último é o responsável pela neutralização do H^+ , elevando assim o pH do solo. Com a elevação do pH, ocorre a redução da solubilidade do alumínio, que passa da forma tóxica Al^{3+} para a forma insolúvel $Al(OH)_3$.

Portanto, a calagem eleva o pH, neutraliza o Al^{3+} e aumenta a saturação por bases do solo (V) pela elevação dos teores de Ca e Mg.

A determinação da necessidade de calagem (NC) pode ser feita por diversos métodos. No Estado do Espírito Santo, o método mais comumente utilizado é o da saturação por bases, que tem por

objetivo elevar a V do solo a um valor adequado à cultura.

Cálculo da Necessidade de Calagem

A necessidade de calagem (NC) é calculada multiplicando-se a diferença entre a saturação por bases que se deseja atingir (V2) e a saturação por bases atual do solo (V1) pela T, dividindo-se o resultado por 100, conforme a fórmula:

$$NC = \frac{(V2 - V1) T}{100}$$

A saturação por bases exigida para cada cultura pode ser encontrada nos manuais de recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes.

De modo geral, o nível de exigência em bases das culturas pode ser assim classificado:

Hortaliças: V2 = 70% a 80%

Culturas anuais e perenes: V2 = 60% a 70%

Espécies florestais: V2 = 50% a 60%

Como exemplo do cálculo da NC, será utilizado o exemplo da análise de solo de referência (p. 7), onde a V é de 28% e a T é igual a 7,1 cmol_c/dm³.

Supondo que a cultura exija uma saturação por bases de 70%.

$$NC = \frac{(V2 - V1) T}{100} \quad NC = \frac{(70 - 28) 7,1}{100} \quad NC = 2,98 \text{ t/ha de calcário}$$

A quantidade de calcário (PRNT = 100 %) gerada pelo cálculo da NC é recomendada exclusivamente para elevar a saturação por bases a 70% no volume de solo representado pela área de um hectare (100

x 100 m), na camada de 0 a 20 cm, o que equivale a um volume de solo corrigido de 2.000 m³. Caso o volume de solo a ser corrigido seja diferente de 2.000 m³, ou o PRNT do calcário não seja 100 %, deve-se calcular a quantidade de calcário (QC) a ser efetivamente aplicada.

4.1 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CALCÁRIO

A quantidade de calcário (QC) é a dose a ser efetivamente aplicada ao solo. É dependente do PRNT do calcário e do volume de solo com o qual o calcário irá reagir. Para a correção pelo PRNT, basta substituir, na fórmula da NC, o valor “100” pelo PRNT do calcário. Considerando-se um calcário com PRNT de 90%, tem-se:

$$QC = \frac{(70 - 28) 7,1}{90} \quad QC = 3,3 \text{ t/ha}$$

Para a correção pelo volume efetivamente corrigido, deve-se considerar a superfície de aplicação e a profundidade de incorporação. No exemplo anterior, a quantidade de calcário de 3,3 t/ha (330 g/m²) foi estimada para ser aplicada em toda a área do hectare. Para o caso de aplicação em faixas, a quantidade recomendada por hectare deve ser corrigida proporcionalmente para a área de aplicação. Por exemplo: em uma cultura com espaçamento de 3 x 1 m, com aplicação do calcário nas linhas das plantas em faixas de 1,5 m de largura, a quantidade de calcário recomendada por hectare deverá ser reduzida pela metade, pois a superfície de aplicação será de 50% da área de um hectare. Ressalta-se que nas faixas de aplicação do calcário a dose continua sendo de 330 g/m². Caso a aplicação seja em superfície, sem incorporação, deve-se corrigir a dose de calagem, levando-se em

consideração uma profundidade efetiva de correção de 10 cm, uma vez que o calcário é praticamente imóvel no solo. Para essa correção, basta dividir a dose gerada no cálculo da NC por 2, pois 10 cm é a metade da profundidade original de cálculo (20 cm). No cálculo original, com incorporação a 20 cm de profundidade e aplicação em área total, a dose foi de 3,3 t/ha; caso o calcário seja aplicado em área total, sem incorporação, basta dividir esse valor por 2, logo: $3,3/2 = 1,65$ t/ha de calcário a ser aplicado a lanço em área total.

Para a recomendação de calagem em cova de plantio, deve-se calcular a quantidade de calcário para o volume da cova. O volume para o qual é calculada a NC é de 2.000 m^3 , como demonstrado anteriormente. Uma cova de café por exemplo de $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}$ apresenta um volume de $0,064 \text{ m}^3$. Nesse caso, basta fazer uma regra de três simples e encontrar o valor da QC para a cova. No cálculo original, a dose foi de 3,3 t/ha de calcário. Para converter a dose para a cova, basta fazer a seguinte regra de três:

$$\begin{array}{l} 3,3 \text{ t} \text{ ————— } 2.000 \text{ m}^3 \text{ de solo} \\ X \text{ ————— } 0,064 \text{ m}^3 \text{ de solo} \end{array} \quad X = 105,6 \text{ g/cova de calcário PRNT 90\%}$$

Em solos com baixa T e com baixa disponibilidade de Ca e/ou Mg, geralmente as quantidades de calcário recomendadas são pequenas, às vezes insuficientes para atender à demanda das culturas. Nesse caso, é necessária a aplicação de Ca e/ou Mg, de forma localizada, podendo ser utilizado como fonte o próprio calcário ou sulfato de cálcio (gesso), nitrato de cálcio, sulfato de magnésio, nitrato de magnésio etc.

As plantas se desenvolvem melhor quando a proporção Ca: Mg varia de 3:1 a 4:1. Entretanto, em solos com baixos teores de

Ca e Mg, é mais importante a elevação dos seus teores do que a correção da relação. Assim, primeiramente deve-se elevar os teores aos níveis exigidos pelas culturas e posteriormente, nas próximas oportunidades, faz-se a correção da relação.

Com base em amostras de solo coletadas sob a copa das plantas e nas entrelinhas de diversas lavouras de café arábica da Região Serrana do Estado do Espírito Santo, observou-se diferenças do nível de fertilidade, principalmente com relação ao pH, teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e V do solo (Tabela 20). Esse diferencial é causado pela maior acidificação do solo da região sob a copa do cafeeiro, ocasionada pelos fertilizantes e pela extrusão de H^+ pelas raízes das plantas no processo de absorção de bases e pela prática da arruação, que, além de arrastar folhas e ramos da área sob a copa do cafeeiro para as entrelinhas, arrasta também parte do calcário e dos fertilizantes aplicados sob a copa dos cafeeiros.

Tabela 20. Características químicas de amostras de solo retiradas sob a copa de plantas e nas entrelinhas (ruas) de lavouras de café arábica na Região Serrana do Estado do Espírito Santo

Lavoura	Local	pH	Ca		Mg	V
			$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$			%
1	Sob a copa	5,2	2,4	0,8		39
	Entrelinha	6,5	4,6	1,5		76
2	Sob a copa	5,8	1,6	0,6		59
	Entrelinha	6,8	2,3	0,8		76
3	Sob a copa	5,3	1,6	0,4		38
	Entrelinha	6,2	3,0	1,5		66
4	Sob a copa	4,3	1,3	0,4		24
	Entrelinha	5,2	2,3	0,8		48
5	Sob a copa	4,9	1,1	0,3		25
	Entrelinha	5,5	2,9	0,8		52

continua...

Lavouora	Local	pH	Ca	Mg	V
			cmol _c /dm ³		%
6	Sob a copa	4,6	1,8	0,6	31
	Entrelinha	7,3	6,5	2,3	88

Além do fato relacionado acima, outros fatores contribuem para a acidificação do solo sob a copa das plantas como: a aplicação de adubos nitrogenados, que no processo da nitrificação liberam H⁺; a dificuldade de aplicação do calcário sob a copa das plantas; e o processo de absorção de bases pelas raízes, com extrusão de H⁺.

Caso a quantidade de calcário seja estimada com base somente na análise de solo coletada sob a copa do cafeeiro e a aplicação seja realizada em toda a área da cultura (linhas e entrelinhas), os valores de pH e V nas entrelinhas se elevarão demasiadamente, o que pode afetar o crescimento de raízes nesta área.

Para a correção desse diferencial é necessária a estimativa da quantidade de calcário, realizada com base nas análises do solo coletado sob e copa das plantas e coletado nas entrelinhas. Esta correção pode ser realizada em períodos mais prolongados, como por exemplo, a cada três anos.

Solos orgânicos geralmente apresentam elevado poder tampão, e por esta razão as quantidades de calcário estimadas pelo método da saturação por bases são também elevadas. Considerando-se que os ácidos orgânicos complexam os metais, como o Al, Mn e Fe, diminuindo sua toxidez às plantas, a calagem, na maioria dos casos, pode ser realizada em menores proporções, quando comparada a solos minerais. Trabalhos realizados por Menhgel e Kamprah (1978) e Lucas (1982) demonstram que o pH em culturas que alcançam os máximos rendimentos nos solos naturalmente orgânicos é em torno

de 5. Entretanto, poucos são os trabalhos de pesquisa que tratam desse assunto, não se tendo ainda um método específico de recomendação de calagem para solos orgânicos.

5 GESSAGEM

O uso do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é indicado para solos com elevado teor de Al^{3+} e/ou baixos teores de Ca e Mg em camadas subsuperficiais.

A aplicação de gesso deve ser realizada somente para situações em que for comprovada a sua necessidade, de modo a evitar a lixiviação de bases para profundidade além do alcance das raízes. Atenção especial deve ser dada a solos arenosos com baixa CTC, onde há grande facilidade de lixiviação de nutrientes.

Assim, o gesso só deve ser recomendado para situações em que a análise do solo da camada de 20-40 cm apresentar teor de Al^{3+} superior a $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e/ou teor de Ca^{2+} inferior a $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$.

O cálculo da dose de gesso deve ser baseado na análise do solo da camada de 20-40 cm, sendo a dose igual a 30% da NC determinada para essa profundidade.

Quantidade de gesso = $0,3 \times \text{NC}$ (para a profundidade de 20-40 cm)

Exemplo: Supondo uma cultura que necessite de $V = 70\%$ e a análise do solo da camada de 20-40 cm apresente as seguintes características:

$$Al = 1,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$$

$$Ca = 0,3 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$$

$$V = 25\%$$

$$T = 6,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$$

O primeiro passo é determinar se o solo necessita de gesso. Para isto, observa-se o teor de Al e Ca na análise de 20 a 40 cm de profundidade. Neste caso, o teor de Al de $1,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ comprova a necessidade de gesso, pois é superior a $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$. Esta característica já seria suficiente para a indicação do uso do gesso. O teor de Ca de $0,3 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ também comprova a necessidade de gesso, pois é inferior a $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$.

Comprovada a necessidade do uso do gesso, o segundo passo é o cálculo da quantidade de gesso (QG). Para isto temos que, primeiramente, calcular a necessidade de calagem para a camada de 20 a 40 cm:

$$NC_{(20-40 \text{ cm})} = \frac{(V2 - V1) T}{100} \quad NC_{(20-40 \text{ cm})} = \frac{(70 - 25) 6,1}{100} \quad NC = 2,92 \text{ t/ha}$$

A quantidade de gesso será igual a 30% da necessidade de calagem calculada para a profundidade de 20 a 40 cm. Assim, **$0,3 \times 2,92 \text{ t/ha} = 0,88 \text{ t/ha de gesso}$** .

A dose de gesso deve ser aplicada a lanço, sobre toda a superfície do terreno, sem necessidade de incorporação, no mínimo três meses após a calagem. A calagem realizada antes da gessagem é importante para aumentar a CTC efetiva da camada superficial, aumentando o número de cargas negativas, evitando assim a lixiviação excessiva de bases e a adsorção de SO_4^{2-} , o que permite seu aprofundamento no perfil do solo.

Ressalta-se que a NC calculada para a camada de 0-20 cm é

independente da aplicação de gesso e não deve ser alterada.

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados dados referentes à resposta das culturas de capim *Brachiaria decumbens* e café arábica à aplicação de gesso.

Tabela 21. Rendimento de *Brachiaria decumbens* em função da aplicação de gesso

Dose de gesso	Matéria seca	Aumento relativo
kg/ha	t/ha	%
0	21,9	0
20	31,4	43
600	32,6	49
1200	33,4	53
1800	32,6	49

Fonte: Souza et al, 2001

Tabela 22. Produtividade de café arábica em função da aplicação de gesso

Dose de gesso	Produtividade (sc/ha)	
kg/ha	4º safra	5º safra
0	21	55
3.700	45	71

Fonte: Souza et al. (1995).

6 MANEJO DA ADUBAÇÃO

6.1 MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

De modo geral, o N é o elemento mais limitante na agricultura. Isto ocorre em razão da sua elevada demanda pelas culturas e à sua

suscetibilidade a perdas por volatilização, principalmente na forma de amônia (NH_3), e lixiviação, na forma de nitrato (NO_3^-).

O fertilizante nitrogenado que mais proporciona perdas por volatilização é a ureia, principalmente se aplicada na superfície do solo, sem incorporação. Ela deve ser aplicada em solo úmido e assim deve ser mantido para que as plantas tenham maior eficiência de absorção. Caso a solo seque após a aplicação da ureia, as perdas podem ser superiores a 50%. Se incorporada, essas perdas reduzem para valores inferiores a 10%.

As perdas proporcionadas pelo sulfato de amônio são inferiores às da ureia. As perdas geralmente não ultrapassam a faixa de 5 a 10%.

Para reduzir as perdas e proporcionar maior tempo de disponibilização de N para as plantas, este deve ser aplicado de forma parcelada. Em culturas perenes este parcelamento deve ser de, no mínimo, três aplicações anuais, em períodos de maior demanda das plantas.

Após a adubação nitrogenada, principalmente com adubos amoniacais, ocorre o processo da nitrificação, que é a passagem do amônio (NH_4^+) para nitrato (NO_3^-). Com isto ocorre a liberação de H^+ , que provoca a acidificação do solo. Culturas que recebem esta adubação de forma localizada, como o café e outras culturas perenes, podem ter o solo do local de adubação mais ácido que os locais onde não recebem o fertilizante, necessitando assim de aplicações mais frequentes de calcário.

Quanto maior o pH do solo maiores são as perdas de N por volatilização de amônia (NH_3). Por esta razão, deve-se evitar a adubação nitrogenada logo após a calagem, principalmente em situações em que o calcário é aplicado na superfície do solo, sem incorporação, como é o caso da cultura do café. Nesse caso,

recomenda-se que a calagem seja feita no mínimo dois meses antes do início das adubações.

Na Tabela 23 são apresentadas as características dos fertilizantes nitrogenados e os fatores de conversão das doses de N em doses de fertilizantes.

Tabela 23. Características dos fertilizantes nitrogenados e os fatores de conversão das doses de N em doses de fertilizantes

Fertilizante	Teor de N %	Teor de outros elementos %	Fator de conversão (Dose de N x fator = Dose do fertilizante)
Ureia	45	-	2,22
Sulfato de Amônio	20	S = 22	5
MAP	9	P ₂ O ₅ = 48	11,11
DAP	16	P ₂ O ₅ = 45	6,25
Nitrato de Amônio	32	-	3,12
Nitrocálcio	20	Ca = 2 - 8 Mg = 1 - 5	5

6.2 MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA

O P na forma de fosfato (PO₄³⁻) possui grande facilidade de reação com os óxidos e hidróxidos de Fe e Al do solo, os quais apresentam cargas líquidas positivas, sendo esta uma reação de alta energia, denominada “adsorção de fosfato”. A adsorção se dá por ligação covalente, ao contrário do NO³⁻ ou do Cl⁻, que são adsorvidos por ligação eletrostática. Este fenômeno ocorre principalmente em solos tropicais, intemperizados e com maior teor de óxidos de Fe e Al, onde a maior parte dos adubos fosfatados aplicados torna-se indisponível às plantas, reduzindo assim a eficiência da adubação. Por esta razão, as doses de adubos fosfatados recomendadas para estes

solos são muito superiores à exigência das plantas, porque consideram a fração que será fixada pelas argilas.

Quanto maior o teor de argila do solo, maior será a fixação de P e maior deverá ser a dose recomendada. Em solos arenosos, a fixação é menor e as plantas têm maior facilidade de absorver o P, exigindo menores doses de fertilizantes para atender à demanda.

Os adubos fosfatados devem ser aplicados de maneira localizada para evitar a fixação pelas argilas e podem ser aplicados fora do período de chuva. Os adubos fosfatados granulados apresentam maior eficiência devido ao menor contato com o solo.

A maioria dos solos do Espírito Santo possui baixos teores de P. Por essa razão, a sua aplicação na cova ou sulco de plantio é imprescindível, pois as culturas, no início de seu crescimento, apresentam dificuldade de absorção de P devido ao seu reduzido sistema radicular. À medida que as raízes crescem, há aumento da absorção devido ao maior volume de solo explorado. Culturas como as hortaliças, pelo fato de possuírem pequeno volume de raízes e alta produção de biomassa em curto espaço de tempo, apresentam baixa eficiência de absorção de P, exigindo elevados teores do nutriente no solo em formas disponíveis. Culturas perenes, no início de seu crescimento, também apresentam reduzido sistema radicular, exigindo elevados teores de P disponível, à semelhança das hortaliças. Por esta razão, necessitam da aplicação de fertilizante fosfatado solúvel na cova ou no sulco de plantio. Com o crescimento, devido à maior capacidade de absorção de P pelo sistema radicular, o nível de exigência diminui a cada ano.

A prática da fosfatagem corretiva com fosfatos de menor reatividade de modo a viabilizar maior disponibilidade de P para as plantas não

é recomendável. Solos mais argilosos podem reter 5.000 kg/ha de P ou 11.500 kg/ha de P_2O_5 . Portanto, fosfatagens com 200 a 400 kg de P_2O_5 , aplicadas a lanço e incorporadas com aração e gradagens, não surtem efeito, pois à medida que o P é solubilizado, este é adsorvido pelas argilas, tornando-se pouco disponível para as planta.

Por esta razão, tanto os fertilizantes fosfatados solúveis (superfosfato simples ou triplo, MAP e DAP), como os fosfatos naturais, reativos ou não, devem ser aplicados de maneira localizada, próximos às raízes das plantas, reduzindo ao mínimo o contato com o solo.

Na Tabela 24 são apresentadas as características dos fertilizantes fosfatados e os fatores de conversão das doses de P_2O_5 em doses de fertilizantes.

Tabela 24: Características dos fertilizantes fosfatados e fatores de conversão das doses de P_2O_5 em doses de fertilizantes

Fertilizante	Teor de P_2O_5	Teor de outros elementos (%)	Fator de conversão (Dose de P_2O_5 x fator = Dose do fertilizante)
Fosfatos solúveis em água			
Superfosfato simples	18	S = 10 Ca = 20	5,55
Superfosfato triplo	41	Ca = 14	2,44
MAP	48	N = 9	2,08
DAP	45	N = 16	2,22
Fosfatos de baixa solubilidade em água			
Fosfato natural	P_2O_5 Total = 24		25
(Origem ígnea)	P_2O_5 solúvel em água = 4		
(Baixa reatividade)	Ca = 25		

continua...

Fertilizante	Teor de P_2O_5	Teor de outros elementos (%)	Fator de conversão (Dose de P_2O_5 x fator = Dose do fertilizante)
Fosfato natural (Origem metamórfica) (Reativo)	P_2O_5 Total = 32 P_2O_5 solúvel em água = 4 Ca = 36		8,5
Termofosfato	P_2O_5 Total = 24 P_2O_5 solúvel em água = 14 Mg = 7		5,9

6.3 MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA

A mobilidade de K no solo e também no interior das plantas é facilitada por este permanecer na forma iônica (K^+), formando compostos de alta solubilidade.

Devido ao reduzido número de cargas presentes nos solos arenosos (baixa T), as chuvas e irrigações excessivas promovem a lixiviação de K e fazem com que o seu teor decresça com maior rapidez, quando comparados a solos argilosos. Nesse caso, é fundamental que seja realizado maior parcelamento das adubações para assegurar uma concentração adequada durante o ciclo da cultura. Nos solos argilosos, por apresentarem maior T, os parcelamentos podem ser reduzidos devido a sua maior capacidade de adsorção (elevada T) e disponibilização de potássio.

Em razão de sua capacidade de ligação às cargas negativas do solo, a aplicação dos fertilizantes potássicos pode ser feita a lanço, na superfície ou incorporado. Pode também ser aplicado em sulco, como no caso de culturas anuais.

Entretanto, por possuir elevado poder de salinização, na

implantação de culturas perenes não irrigadas, a utilização de fertilizantes potássicos nas covas ou sulcos de plantio promove a elevação da pressão osmótica do solo, o que dificulta a absorção de água pelas plantas. Com isso, há elevada incidência de mortalidade de mudas em períodos de estiagem. Nesses casos é recomendável a aplicação do potássio somente em cobertura, de maneira parcelada, após o pegamento das mudas.

Solos com teores acima de 250 mg/dm^3 de K não devem mais receber fertilizantes potássicos, principalmente se esses solos apresentarem baixos teores de matéria orgânica. Nessa condição, devido ao seu alto poder de salinização, as plantas podem apresentar dificuldade de absorção de água e, conseqüentemente, de nutrientes, em função da elevada pressão osmótica da solução do solo.

Em solos orgânicos ou sob manejo orgânico, as análises geralmente indicam elevados teores de K, que podem variar de 200 a 500 mg/dm^3 . Entretanto, na maioria dos casos, estes teores não causam efeito depressivo no crescimento das plantas. Provavelmente a matéria orgânica atue minimizando o efeito salino do K, evitando assim possíveis danos às plantas. Não há, entretanto, informações científicas que permitam a determinação das classes de fertilidade que indiquem a disponibilidade de K desses solos, sendo necessários, para isto, estudos de calibração que determinem os níveis crítico de K para as plantas de acordo com o teor de matéria orgânica do solo.

Na Tabela 25 são apresentadas as características dos fertilizantes potássicos e os fatores de conversão das doses de K_2O em doses de fertilizantes.

Tabela 25: Características dos fertilizantes potássicos e os fatores de conversão das doses de K_2O em doses de fertilizantes

Fertilizante	Teor de K_2O %	Teor de outros elementos (%)	Fator de conversão (Dose de K_2O x fator = Dose do fertilizante)
Cloreto de potássio	58	Cl = 45	1,72
Sulfato de potássio	48	S = 17	2,08
Nitrato de potássio	44	N = 13	2,27

6.4 MANEJO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

Até poucos anos, insuficiente atenção era dada à adubação com os micronutrientes, uma vez que a maioria dos solos possuía reservas suficientes para a obtenção de produtividades medianas. Com o aumento da produtividade das culturas e com a intensificação dos cultivos sucessivos na mesma área, iniciou-se um processo de esgotamento do solo, resultando no surgimento dos sintomas de deficiência, acarretando queda na produtividade. Com isto, foram incrementadas as fertilizações com esses elementos, principalmente Zn, B e Cu, além de métodos de análises de solo e foliar para avaliação do estado nutricional das plantas.

Entretanto, há ainda necessidade de mais trabalhos de pesquisa, já que somente o teor do micronutriente no solo não é suficiente para a indicação da sua disponibilidade para as plantas, pois essa é muito influenciada pelo pH do solo. Por exemplo, um solo com teor de Mn de 10 mg/dm^3 e pH 5,2 apresenta disponibilidade de Mn superior a um solo com o mesmo teor e que apresenta pH 6,5.

A textura do solo é outro fator que exerce grande influência na disponibilidade dos micronutrientes para as plantas, na medida em que

alguns elementos reagem com os minerais de argila, diminuindo sua disponibilidade e sua mobilidade no perfil do solo. O Zn e Cu possuem baixa mobilidade, enquanto o B e Cl são extremamente móveis.

O conhecimento do comportamento dos nutrientes no solo é importante para se determinar o manejo dos fertilizantes e os períodos de menor absorção, que ocorrem em épocas secas, principalmente para Zn. Em períodos de chuva, os sintomas de deficiência de Zn podem desaparecer e em períodos de chuvas mais intensas, podem surgir deficiências de B devido a sua facilidade de lixiviação.

O teor de MO do solo é muito importante para a manutenção de boa disponibilidade de micronutrientes para as plantas, principalmente de B, em razão de sua complexação pelos radicais orgânicos, evitando assim a sua lixiviação.

A calagem quando aplicada em excesso é extremamente prejudicial à disponibilidade de micronutrientes, com exceção do Mo e Cl.

A interação entre nutrientes no solo é também um importante fator de redução ou aumento de solubilidade e conseqüentemente de absorção dos micronutrientes pelas plantas. A interação P e Zn é uma das mais importantes. A adubação fosfatada reduz a absorção de Zn pelas plantas devido à formação de compostos insolúveis. Outras interações como P e Fe resultam em redução da disponibilidade desses elementos, enquanto a interação P e Mo favorece a absorção desses elementos pelas plantas.

A forma em que os micronutrientes se encontram nos fertilizantes apresenta grande influência nas reações de complexação pelas argilas, nas perdas por lixiviação e conseqüentemente na maior ou menor absorção pelas plantas.

As fontes de micronutrientes na forma de sulfatos, cloretos e nitratos, por serem muito solúveis em água, apresentam efeito rápido, favorecendo as reações de complexação e insolubilização com as argilas do solo. Quando aplicados em doses acima das recomendadas, podem causar toxidez às plantas, ou, dependendo do elemento, ser perdido por lixiviação (Tabela 26)

Tabela 26. Características dos fertilizantes com micronutrientes e fatores de conversão das doses de micronutrientes em doses de fertilizantes

Micronutriente	Fertilizante	Teor do micronutriente (%)	Fator de conversão (Dose de micro x fator = Dose do fertilizante)
Zinco	Sulfato de zinco	20	5
	Óxido de zinco	50	2
Boro	Bórax	11	9,1
	Ácido Bórico	17	5,88
Cobre	Sulfato de cobre	13	7,69
	Óxido cúprico	75	1,33
Ferro	Sulfato ferroso	19	5,26
Manganês	Sulfato manganoso	26	3,45
	Óxido manganoso	41	2,44
Molibdênio	Molibdato de sódio	39	2,56
	Molibdato de amônio	54	1,85

Outra estratégia para evitar as reações de complexação/insolubilização, perdas por lixiviação e toxidez, quando aplicado em maiores doses, é o fornecimento dos micronutrientes na forma de silicatos ou quelatos.

Os micronutrientes na forma de silicatos, denominado FTE (*fritted trace elements*), são obtidos pela fusão com minerais de silício a

aproximadamente 1.300 °C. Ao sair do forno, o material é rapidamente resfriado em água, resultando na formação de cristais vítreos, que são finamente moídos. Devido a sua baixa solubilidade em água, a liberação dos nutrientes ocorre gradativamente, evitando as reações de precipitação e insolubilização, além da lixiviação e toxidez às plantas. As fritas (FTE), por apresentarem baixa solubilidade, devem ser aplicadas no solo, próximo às raízes (Tabela 27).

Tabela 27. Características dos Compostos Silicatados de Micronutrientes

Composto Silicatado	Zn	B	Cu	Fe	Mn	Mo
FTE BR-8	7,0	2,5	1,0	5,0	10,0	0,1
FTE BR-9	6,0	2,5	0,8	6,0	3,0	0,1
FTE BR-10	7,0	2,0	1,0	4,0	4,0	0,1
FTE BR-12	9,0	2,5	0,8	3,0	2,0	0,1
FTE BR-13	7,0	1,8	2,0	2,0	-	0,1
FTE BR-15	8,0	1,5	0,8	-	-	0,1
FTE BR-16	3,5	2,8	3,5	-	-	0,4

Os micronutrientes quelatados, embora apresentem elevada solubilidade, não formam precipitados, uma vez que, por estarem retidos no interior de estruturas orgânicas em forma de anéis, passam a não ter mais carga elétrica positiva ou negativa. São compostos neutros, não ficando mais sujeitos às reações de precipitação e insolubilização. Por esta razão, podem também ser misturados com fertilizantes fluidos sem risco de reação de complexação. Esta forma apresenta até cinco vezes mais eficiência por unidade de micronutrientes; entretanto, seu uso é restrito devido ao seu alto custo.

7 FERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO CONTROLADA

Várias técnicas vêm sendo estudadas para reduzir as perdas de nutrientes e aumentar a sua absorção pelas plantas. A maioria dessas técnicas visa controlar a taxa de liberação de nutrientes dos fertilizantes, possibilitando às plantas uma absorção gradativa e reduzindo as perdas.

Dependendo do tipo de fertilizante, do tipo de solo e das condições ambientais, parte do N é perdida por volatilização e lixiviação, parte do P é fixada pelas argilas e parte do K é perdida por lixiviação. Para compensar as perdas, os fertilizantes têm que ser aplicados em doses superiores às exigidas pelas culturas, para que estas consigam absorver a quantidade necessária para atingir a produtividade desejada.

Dentre as técnicas utilizadas pela indústria de fertilizantes, citam-se as principais: (a) Mistura dos fertilizantes com inibidores ou de estabilização; (b) Fertilizantes solúveis revestidos.

(a) Mistura dos fertilizantes com inibidores ou de estabilização:

Os fertilizantes misturados com inibidores ou de estabilização são produtos que reduzem as perdas de nutrientes por retardarem a conversão das formas originais do fertilizante em formas que podem ser facilmente perdidas (BLAYLOCK, 2007).

Por ser o N o elemento mais limitante para a agricultura e por ser aplicado em maior quantidade é o que acarreta maiores perdas. A maioria das técnicas é desenvolvida para regular a sua disponibilização para as culturas e aumentar assim a eficiência de absorção.

Os adubos nitrogenados de liberação controlada permitem uma disponibilização mais gradual do nitrogênio, utilizando diferentes

tecnologias: desde produtos revestidos a inibidores da nitrificação ou da enzima urease, reduzindo assim a volatilização de N na forma de amônia (NH_3). O tempo de proteção varia de dias a semanas, e o efeito se manifestará se houver condições reais para as perdas.

Os inibidores de urease são substâncias que reduzem a velocidade de conversão de ureia – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, para NH_3 –, o que permite maior percolação da ureia reduzindo a concentração de NH_3 na superfície do solo e consequentemente as perdas por volatilização (MALHI et al., 2001).

Várias substâncias têm sido estudadas com o objetivo de inibir a atividade da enzima urease e reduzir a volatilização de amônia (KRAJEWSKA, 2009). Dentre estes inibidores, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) vem se apresentando como uma das substâncias mais promissoras para reduzir a volatilização de NH_3 (GIOACCHINI et al., 2002; CANTARELLA et al., 2008; CHIEN et al., 2009; GIOVANNINI et al., 2009; JUAN et al., 2009).

A grande ação do NBPT para redução da volatilização de amônia ocorre na primeira semana. Testes realizados no Brasil indicam que, para a maioria das situações, o período de intensa inibição varia de três a sete dias, após o qual o NBPT perde gradativamente o efeito (CANTARELLA, 2007). Assim, a eficiência deste produto é variável em função das condições edafoclimáticas.

O cobre e o boro destacaram-se dentre os elementos com potencial na inibição da atividade da urease (BENINI et al., 2004). O destaque desses elementos se deve ao fato de apresentarem baixo a nenhum risco ambiental ou potencial tóxico em consequência das pequenas quantidades requeridas junto à ureia, e por ambos serem essências às plantas.

(b) Fertilizantes solúveis revestidos

São produtos com o fertilizante na forma tradicional, porém revestidos, o que propicia uma barreira física contra a exposição do nutriente. Enquadram-se basicamente em dois tipos de recobrimento: com enxofre ou com polímeros.

Para o revestimento dos fertilizantes, geralmente são utilizados membranas impermeáveis ou semi-impermeáveis com poros finos (poliuretanos, poliésteres e resinas), sendo que a maior parte dos polímeros decompõe-se muito lentamente. A tecnologia de fabricação varia entre empresas devido ao material utilizado no revestimento (tipo de polímero) e a técnica de revestimento. A liberação de nutrientes fica dependente da temperatura e da permeabilidade da membrana à água.

Os fertilizantes recobertos por resinas e polímeros apresentam liberação eficiente de nutrientes quando há disponibilidade de água e a temperatura do solo estiver em torno de 21°C (CHITOLINA, 1994), sendo a taxa de liberação de nutrientes pelos grânulos de fertilizante diretamente proporcional à temperatura do solo ou substrato, uma vez que a temperatura promove expansão da camada de resina, provocando aumento da permeabilidade de água. Esse processo ocorre independentemente da permeabilidade, do pH ou da atividade microbológica do solo, podendo variar de poucos meses a até quase 20 meses para liberação total, sendo a longevidade específica de cada formulação do fertilizante (OERTLI, 1980).

Os fertilizantes de liberação controlada apresentam adequada eficiência relativa quando comparados aos fertilizantes convencionais, mas uma avaliação econômica é sempre necessária para se decidir pela aquisição do insumo.

8 ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Pelo processo da fotossíntese são formados os compostos orgânicos que constituem os tecidos dos vegetais, sendo necessários para isto energia do sol, CO₂ e nutrientes do solo e do ar.



Estes tecidos vegetais na forma de restos de culturas ou esterco, quando aplicados ao solo como fertilizantes orgânicos, passam pelo processo de mineralização, que é a reação inversa da fotossíntese, em que os compostos orgânicos, sob a ação dos micro-organismos do solo, são transformados em CO₂, nutrientes e energia.



Os micro-organismos do solo utilizam o C e os nutrientes imobilizados nos constituintes orgânicos para se multiplicarem, gerando energia térmica (aquecimento) resultante do processo de quebra das ligações químicas. Na fase inicial há aumento da população de micro-organismos até um ponto máximo, e, com o transcorrer do processo de mineralização, inicia-se a fase de redução da população em decorrência da menor disponibilidade de C e de nutrientes. Ao final do processo, ocorre a paralisação da atividade microbiana, caracterizada pelo resfriamento do material orgânico. A partir desta fase, os micro-organismos mortos passam a fazer parte da matéria orgânica mineralizada, e esta passa a ser fonte de nutrientes. Esta é a razão pela qual todos os fertilizantes orgânicos devem passar pelo

processo de mineralização (compostagem) antes da sua aplicação nas culturas, sob pena da elevada competição em nutrientes da população microbiana com as plantas, podendo acarretar severas deficiências nutricionais, principalmente de nitrogênio.

O nível de mineralização dos fertilizantes orgânicos é medido pela relação C/N. Valor abaixo de 20 indica que o processo de mineralização já está estabilizado, isto é, que o material orgânico deixou de ser “dreno” e passou a ser “fonte” de nutrientes, podendo ser aplicado sem o perigo de causar danos às plantas.

Os fertilizantes orgânicos mais utilizados são os esterco (gado, galinha, etc.) e os originados pelo processo da compostagem, que é a mistura de materiais vegetais (capim, leguminosas e restos de cultura) com esterco. Esses fertilizantes orgânicos apresentam teores variáveis de nutrientes: 1 a 3 dag/kg de N; 0,1 a 1,5 dag/kg de P; 0,3 a 2,8 dag/kg de K; 0,1 a 2,5 dag/kg de Ca e 0,1 a 0,9 dag/kg de Mg. Para se conhecer os teores de nutrientes é necessária a análise química do fertilizante, que também indicará o teor de matéria orgânica, a umidade e a relação C/N.

Aplicações frequentes de fertilizantes orgânicos elevam os teores dos nutrientes e MO do solo, conforme constatado por Souza, Prezotti e Guarçoni (2012), que aplicaram compostos orgânicos na dose de 15 t/ha/ano (matéria seca) em cultivos sucessivos de hortaliças e culturas anuais durante 10 anos. A composição média dos compostos utilizados nas adubações é apresentada na Tabela 28, e o aumento dos teores de MO do solo é apresentado na Figura 2.

Tabela 28. Composição média de compostos orgânicos usados nas adubações

M.O.	C/N	pH	Macronutrientes					Micronutrientes				
			N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	B
dag/kg			dag / kg					mg / kg				
48	13/1	7,4	2,25	1,60	1,50	6,0	0,6	50	223	16.064	804	36

Fonte: Souza, Prezotti e Guarçoni (2012).

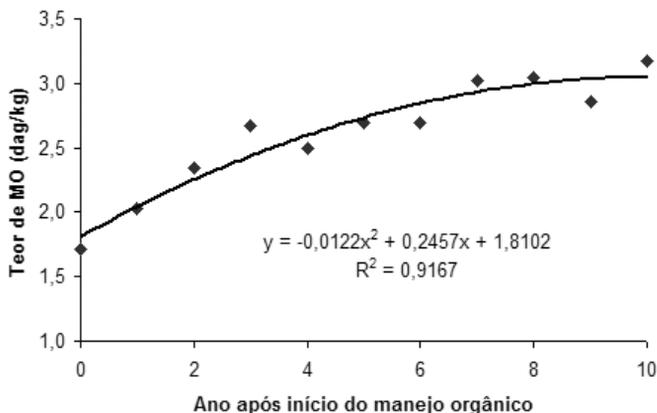


Figura 2: Teor de MO da camada de 0 a 20 cm, em função do tempo de manejo orgânico (Souza, Prezotti e Guarçoni, 2012).

AMO produz substâncias que atuam como agente cimentante das partículas do solo, dando-lhe maior coesão (agregação) e aumentando a formação de fendas e poros, que permitem maior aeração, permeabilidade à água e penetração de raízes. Aumenta também a capacidade do solo em reter água e nutrientes, disponibilizando-os às plantas por períodos mais prolongados de tempo.

Não existe um método comprovadamente eficaz de estimativa da quantidade de fertilizante orgânico a ser aplicado nas culturas. Geralmente são recomendadas doses aleatórias, na maioria dos casos baseadas na disponibilidade do fertilizante na propriedade,

ou são realizadas estimativas com base nos teores de alguns nutrientes contidos nos fertilizantes orgânicos. Entretanto, nesses cálculos, não se considera a taxa de mineralização do material orgânico (tempo de disponibilização dos nutrientes) e o efeito dos ácidos orgânicos na solubilização de nutrientes anteriormente presentes em forma de compostos insolúveis.

9 TABELAS DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO

Para a estimativa da quantidade de nutrientes a ser aplicada nas culturas para a obtenção de boas produtividades, é necessário determinar os teores de nutrientes no solo a ser cultivado por meio de sua análise química. Com base nesses teores, determina-se a classe de fertilidade para cada nutriente, conforme as tabelas apresentadas anteriormente.

Nas tabelas, as doses de N não são baseadas na análise do solo devido a sua alta dinâmica (alteração de formas, lixiviação e volatilização). São estimadas com base na necessidade das culturas para atingir determinadas produtividades. Em algumas culturas, as doses de N são variáveis com o seu teor foliar e com o teor de matéria orgânica do solo.

De posse das informações, recorre-se às tabelas de recomendação de adubação, as quais são elaboradas com base em experimentos de resposta das culturas à aplicação do nutriente no solo e em experiências de técnicos e agricultores que lidam com determinadas culturas. Geralmente essas tabelas são elaboradas para cada estado ou região e são atualizadas na medida em que são obtidas mais informações da pesquisa. Por esta razão são denominadas “aproximações”. Como exemplo, citam-se: Manual de Recomendação de Calagem

e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5º aproximação, atualizado no ano de 2007; Recomendação para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5º aproximação, atualizado no ano de 1999; Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, atualizado no ano de 1996; entre outros.

Essas tabelas foram elaboradas considerando-se as características de solo e clima específicas de cada estado ou região, tendo, portanto, algumas diferenças nas quantidades de nutrientes recomendadas para uma mesma cultura. Além disso, apresentam outras variações, como por exemplo o extrator (Resina para o Estado de São Paulo e Mehlich-1 para os demais estados da Região Sudeste); unidades de apresentação dos teores de nutrientes (mmol/dm^3 para São Paulo e cmol/dm^3 para os demais estados da Região Sudeste).

Entretanto, mesmo apresentando algumas diferenças, as tabelas significaram um grande avanço na área agrônômica, pois contribuíram para uma uniformização das recomendações entre os técnicos, o que resultou em maior exatidão nas recomendações, permitindo correções ao longo do tempo e conseqüentemente maior credibilidade por parte dos agricultores.

Utilizando como exemplo a recomendação de adubação para a cultura do feijão para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI, 2007) para a determinação das doses de nutrientes, deve-se ter a classe de fertilidade do solo para P e K e a estimativa da produtividade esperada (potencial de produção).

Para o caso de um solo com baixos teores de P e K e para uma produtividade esperada acima de 2.000 kg/ha, são recomendados, no plantio, de 10 a 15 kg/ha de N, 100 kg/ha de P_2O_5 e 45 kg/ha de K_2O . Em cobertura, deve-se aplicar 40 a 50 kg/ha de N, parcelado

em duas vezes (15 e 30 dias após o plantio) e 30 kg/ha de K₂O.

Adubação de plantio e cobertura para a cultura do feijão

Nutriente e classe de fertilidade	Produtividade esperada (t/ha)			
	1000 - 2000 kg/ha		Acima de 2000 kg/ha ^{1/}	
	Plantio	Cobertura	Plantio	Cobertura
Nitrogênio	kg/ha de N			
	0	30 ^{2/}	10 a 15	40 a 50 ^{3/}
Nutriente e classe de fertilidade	Produtividade esperada (t/ha)			
	1000 - 2000 kg/ha		Acima de 2000 kg/ha ^{1/}	
	Plantio	Cobertura	Plantio	Cobertura
Fósforo ^{4/}	kg/ha de P ₂ O ₅			
	Baixo	60	0	100
Médio	40	0	70	0
Alto	0	0	50	0
Potássio ^{4/}	kg/ha de K ₂ O			
	Baixo	30	0	45
Médio	20	0	30	0
Alto	0	0	0	0

^{1/} Produtividade normalmente obtida em lavouras irrigadas.

^{2/} Aplicação única aos 25 dias após o plantio por ocasião da ocorrência das chuvas.

^{3/} Aplicação parcelada, aos 15 e 30 dias após o plantio durante as irrigações.

^{4/} Teor apresentado na análise de solo.

No manual, seguem ainda as seguintes recomendações para a cultura do feijão:

Se a análise de solo indicar baixo teor de S, aplicar 40 kg/ha do nutriente no plantio.

Se análise de solo indicar baixos teores de micronutrientes, aplicar por hectare: 4 a 5 kg de Zn; 1 kg de Cu; 1 kg de B; 1 kg de Mn; 0,15 kg de Mo e 0,1 Kg de Co, por ocasião do plantio.

A adubação potássica de cobertura somente deve ser utilizada em solos arenosos com baixos teores do elemento, junto com a adubação nitrogenada.

Citando outro exemplo de tabela de recomendação de adubação contida na 5ª aproximação para o Estado do Espírito Santo para a adubação da cultura do café, além das classes de fertilidade do solo e da produtividade esperada, foi introduzida a variável P-rem como um estimador da capacidade de adsorção de P do solo.

Para o caso de uma lavoura de café conilon com potencial de produtividade média de 60 sc/ha e tendo o solo as seguintes características químicas: K = 80 mg/dm³; P = 4 mg/dm³ e P-rem = 15 mg/L (característica de solo argiloso), com base na tabela abaixo, são recomendados: 380 kg de N, 280 kg de K₂O e 60 kg de P₂O₅.

Adubação mineral de produção do café conilon

Adubação com N e K

Produtividade média (sc/ha)	Dose de N (kg/ha/ano)	Teor de K no solo (mg/dm ³)			
		< 60	60 - 120	120 - 200	> 200
		Dose de K ₂ O (kg/ha/ano)			
20 - 30	260	230	160	90	0
31 - 50	320	290	220	150	0
51 - 70	380	350	280	210	80
71 - 100	440	410	340	270	140
101 - 130	500	470	400	330	200
131 - 170	560	530	460	390	260
> 170	620	600	520	450	320

Adubação com P

P-rem (mg/L)	Teor de P no solo (mg/dm ³)			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto
< 20	< 3	3 - 5	5 - 10	> 10
20 - 400	< 5	5 - 9	10 - 20	> 20
> 40	< 10	10 - 19	20 - 30	> 30

continua...

Produtividade		Dose de P_2O_5		
sc/ha		kg/ha/ano		
20 - 30	45	35	0	0
31 - 50	60	45	0	0
51 - 70	75	60	20	0
71 - 100	90	75	35	0
101 - 130	105	90	50	20
131 - 170	120	105	65	40
> 170	140	120	80	60

9.1 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE FERTILIZANTE A SER APLICADA

Quantidade de nutrientes a ser aplicada por ano (N : P_2O_5 : K_2O):
380 : 60 : 280 kg/ha

Utilizando-se fertilizantes simples

Utilizando-se como fonte de N o sulfato de amônio (20 % de N), aplicam-se: $380 \text{ kg/ha de N} \times 100/20 = 1.900 \text{ kg/ha/ano}$ de sulfato de amônio. Se for parcelado em três aplicações, $1.900/3 = 633 \text{ kg/aplicação}$. Se o espaçamento for de $2,7 \times 1,20 \text{ m}$, a população será de 3.086 plantas/ha. Portanto, 633 kg de sulfato de amônio dividido por 3.086 plantas = 205 g de sulfato de amônio por planta por aplicação (Três aplicações durante o período de frutificação: florada, chumbinho e granação).

Para a adubação fosfatada pode-se utilizar o superfosfato simples (18% de P_2O_5). Assim, $60 \text{ kg/ha de } P_2O_5 \times 100/18 = 333 \text{ kg/ha/ano}$ de superfosfato simples. O adubo fosfatado pode ser aplicado de uma só vez, antes da florada, não necessitando de umidade no solo para

sua aplicação. Portanto, 333 kg de superfosfato simples dividido por 3.086 plantas = 108 g de superfosfato simples por planta.

Utilizando-se o cloreto de potássio (60 % de K_2O) para fornecer os 280 kg de K_2O , aplica-se: $280 \text{ kg de } K_2O \times 100/60 = 467 \text{ kg/ha/ano}$ de cloreto de potássio. Se for parcelada em três aplicações, $467/3 = 156 \text{ kg/aplicação}$. Portanto, 156 kg de cloreto de potássio dividido por 3.086 plantas = 50 g de cloreto de potássio por planta por aplicação (três aplicações, juntamente com a adubação nitrogenada).

Utilizando-se fertilizante formulado

Para a estimativa do formulado a ser utilizado, deve-se determinar a proporção entre os nutrientes N : P_2O_5 : K_2O com base nas doses recomendadas: 380 kg de N, 60 kg de P_2O_5 e 280 kg de K_2O (380 : 60 : 280). Dividindo-se estas doses pela menor dose, tem-se: $380/60 = 6,3$; $60/60 = 1$; $280/60 = 4,7$. Assim tem-se a proporção 6,3 : 1 : 4,7.

A seguir determina-se qual formulado mais se aproxima desta proporção. Para isto, dividem-se as porcentagens de cada nutriente pelo menor valor:

Exemplo:

20-05-20: A proporção será: $20/5 = 4$; $5/5 = 1$; $20/5 = 4$. Proporção igual a 4: 1: 4

20-05-10: A proporção será: $20/5 = 4$; $5/5 = 1$; $10/5 = 2$. Proporção igual a 4: 1: 2

25-04-19: A proporção será: $25/4 = 6,3$; $4/4 = 1$; $19/4 = 4,7$. Proporção igual a 6,3 : 1 : 4,7 (formulado que apresenta a mesma proporção de nutrientes)

O cálculo da dose do formulado é realizado com base nas doses dos nutrientes e na proporção destes no formulado (25-04-19):

Com base no N: $380 \text{ kg/ha de N} \times 100/25 = 1.520 \text{ kg/ha do formulado}$

Com base no P_2O_5 : $60 \text{ kg/ha de N} \times 100/4 = 1.500 \text{ kg/ha do formulado}$

Com base no K_2O : $280 \text{ kg/ha de N} \times 100/19 = 1.473 \text{ kg/ha do formulado}$

As diferenças entre as quantidades estimadas do formulado se devem às diferenças de aproximação dos cálculos. Pode-se optar por seguir a maior dose ou a que se baseia no fornecimento do N. Neste caso, elas são coincidentes (1.520 kg/ha).

Em ocasiões que não se encontra no comércio formulados que possuam exatamente a mesma proporção de nutrientes recomendada, pode-se optar pelo formulado que mais se aproximar.

Caso a dose de 1.520 kg/ha seja aplicada em três parcelas durante o período de frutificação, tem-se: $1.520 \text{ kg}/3 = 507 \text{ kg}$ do formulado por aplicação. Com base na população de plantas citada no exemplo anterior: $507 \text{ kg do formulado}/3.086 \text{ plantas/ha} = \mathbf{164 \text{ g/planta/aplicação de 25-04-19}}$. As aplicações devem ser feitas durante o período chuvoso visando reduzir as perdas de N por volatilização.

10 FERTIRRIGAÇÃO

Compreende-se por fertirrigação o fornecimento de nutrientes às plantas via água de irrigação. Pode ser utilizada para o fornecimento de todos os nutrientes requeridos pela cultura ou de alguns nutrientes.

Na maioria dos casos, a fertirrigação é utilizada para o suprimento de N e K, uma vez que possibilita grande número de parcelamentos durante o ciclo

da cultura e maior eficiência de absorção dos nutrientes pela cultura. Além disto, fertilizantes fosfatados de alta solubilidade, para uso em fertirrigação, são de custo mais elevado, quando comparados aos convencionais, e apresentam alta incompatibilidade com fertilizantes contendo Ca.

Embora a fertirrigação possa ser empregada em sistemas de irrigação por aspersão ou de superfície (sulcos), na maioria dos casos ela é utilizada em sistemas de irrigação localizada (microaspersão ou gotejamento).

A microaspersão possui a vantagem de distribuir os nutrientes em maior volume de solo, em relação ao gotejamento, favorecendo uma maior superfície de absorção radicular. No gotejamento, o bulbo molhado é restrito a um pequeno volume de solo, principalmente em solos arenosos, restringindo a zona de absorção e podendo elevar demasiadamente o efeito salino do solo.

No Estado do Espírito Santo, com a expansão do uso da fertirrigação, principalmente na cultura do morango, tem-se observado problemas sérios de salinização do solo pelo desconhecimento da quantidade de fertilizantes aplicados durante o ciclo da cultura, principalmente potássicos e nitrogenados (Figuras 3 e 4).



Figura 3: Salinização de solos por excesso de fertilizantes.



Figura 4: Necrose nos bordos das folhas de morangueiro causados por excesso de sais no solo.

Deve-se atentar para a qualidade da água utilizada na irrigação, pois dependendo das características do solo na região, ela pode apresentar alterações de pH e concentrações elevadas de alguns elementos químicos que podem gerar precipitados danosos aos equipamentos e causar toxidez às plantas. Para utilização na fertirrigação, a água deve apresentar padrão de qualidade adequado conforme Tabela 29.

Tabela 29. Qualidade da água de irrigação

Determinações	Grau de restrição		
	Nenhum	Moderado	Severo
pH	5,5 - 7,0	<5,4 ou >7,1	<4,5 ou >8,0
CE (dS/m)	<0,7	0,71 - 3,0	>3,01
RAS ^{1/}	<3,0	3,01 - 6,0	>6,01
Ca ²⁺	20-100	101 - 200	>201
Mg ²⁺	<63	64 - 100	>101
Na ⁺	<70	71 - 180	>181
Fe ²⁺	<0,2	0,21 - 0,4	>0,41
HCO ₃ ⁻	<40	41 - 180	>181
SO ₄ ⁻	<149	150 - 250	>251
Cl ⁻	<70	71 - 300	>301
B	<0,5	0,51 - 2,0	>2,01
N	<5	5,1 - 30	>31

Fonte: Adaptado de Kemira citado por Alvarenga (2004).
Unidades dos elementos em mg/L.

^{1/}RAS = Razão de absorção de sódio = $1/[Na/(Ca + Mg)]^{1/2}$

Muitos fertilizantes, ao serem adicionados à solução, alteram o pH, havendo risco de geração de precipitados. Neste caso, o pH deve ser corrigido para valores entre 5,5 e 6,0.

Para a estimativa da quantidade de fertilizantes a ser injetada na rede de irrigação, é necessário o conhecimento da quantidade dos nutrientes exigido pela cultura durante todo o seu ciclo, para culturas anuais ou hortaliças, ou a demanda anual, para culturas perenes.

Além disto, é importante o conhecimento da época de maior demanda de nutrientes, que geralmente coincide com a fase inicial do desenvolvimento dos frutos.

Supondo a cultura do café arábica, em que para atingir a produtividade de 60 sc/ha, em um solo com baixo teor de K, segundo a 5ª aproximação para o Estado do Espírito Santo, será necessária a quantidade anual de 380 kg/ha de N e de 350 kg/ha de K₂O. Supondo uma aplicação mensal, as doses seriam fracionadas em 12 vezes, resultando na quantidade de 31,67 kg/mês de N e 29,17 kg/mês de K₂O. Entretanto, como a fase de maior extração de nutrientes ocorre durante a frutificação, nos meses de setembro a março, pode-se elaborar o seguinte plano de fornecimento:

Mês	Fase da cultura	% da dose total	kg de N/ha/mês	kg de K ₂ O/ha/mês
Setembro	Floração	5	19,0	17,5
Outubro	Chumbinho	7	26,6	24,5
Novembro	Expansão do fruto	10	38,0	35,0
Dezembro	Início da granação	12	45,6	42,0
Janeiro	Granação	15	57,0	52,5
Fevereiro	Granação	15	57,0	52,5

continua...

Mês	Fase da cultura	% da dose total	kg de N/ha/mês	kg de K ₂ O/ha/mês
Março	Granação	15	57,0	52,5
Abril	Início da maturação	7	26,6	24,5
Maio	Maturação	5	19,0	17,5
Junho	Colheita	3	11,4	10,5
Julho	Baixo metabolismo	3	11,4	10,5
Agosto	Baixo metabolismo	3	11,4	10,5
Total		100	380	350

Para fornecer o N, geralmente é utilizada a ureia (45% de N). Neste caso, multiplica-se a dose mensal pelo fator 2,22 (100/45), o que resulta na quantidade de 42,18 kg/ha de ureia a ser injetada no mês de setembro. Caso o talhão fertirrigado possua uma área menor ou maior que 1 ha, a dose deve ser corrigida proporcionalmente. Por exemplo, se a área do talhão fertirrigado for de 2.500 m², a dose de ureia deverá ser de 10,54 kg, correspondendo a ¼ da dose recomendada para 1 ha (10.000 m²).

O mesmo cálculo deverá ser feito para o fertilizante potássico, que pode ser o cloreto ou sulfato de potássio.

Para culturas anuais e hortaliças, deve-se estimar as quantidades de nutrientes para todo o ciclo da cultura e dividir pelo número de aplicações, devendo ser considerada a curva de nutrimentos pela cultura.

Para iniciar a injeção da calda contendo os nutrientes, é necessário que toda a tubulação esteja cheia de água, com os emissores funcionando com vazão constante. A sucção deve ser realizada de maneira gradual de modo a proporcionar uma diluição e distribuição uniforme da calda. Após o término da injeção, manter a irrigação por aproximadamente 15 a 20 minutos para lavagem da tubulação.

Nos cálculos realizados no quadro anterior, foram utilizadas doses de N e K indicadas para aplicação via adubação convencional. Entretanto, é de se esperar que a eficiência de absorção destes nutrientes pelas plantas seja maior quando se utiliza a fertirrigação. No entanto, ainda existe carência de trabalhos de pesquisa que indiquem o quanto essas doses poderiam ser reduzidas sem que a produtividade da cultura seja alterada.

Com base na experiência de campo, alguns técnicos recomendam uma redução de 20 a 30% da dose recomendada nas tabelas de adubação convencional.

11 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SALINIDADE

Embora não conste em análises de rotina dos laboratórios, a condutividade elétrica do solo (CE) é uma medida geralmente solicitada para estimativa da concentração de sais na solução do solo. É muito utilizada para sistemas de cultivos em estufas e sob fertirrigação.

Condutividade elétrica é a medida da corrente elétrica transmitida por meio da solução do solo. Quanto maior a concentração de sais na solução, maior será a CE.

A CE do solo deve ser determinada no extrato de saturação, obtida pelo processo de umedecimento gradativo do solo até que este atinja o estado de pasta. A solução é retirada por meio de sucção, utilizando-se uma bomba de vácuo.

Assim, a CE é uma medida do grau de salinização do solo. Um solo pode ser naturalmente salino, como em regiões áridas e em algumas áreas do litoral.

Os critérios e limites para classificação de solos normais,

salinos, sódicos e salino-sódicos são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30. Critérios e limites para a classificação de solos quanto à salinidade e sodicidade

Critérios	Tipos de Solos			
	Normal	Salino	Sódico	Salino-Sódico
CE (dS/m 25°)	< 4	≥ 4	< 4	≥ 4
PST ^{1/}	< 15	< 15	≥ 15	≥ 15
pH	4 a 8,5	≤ 8,5	8,5 a 10	≈ 8,5

^{1/}PST = Porcentagem de sódio trocável (Na/T x 100)

Fonte: Richards (1970)

Por outro lado, pode-se salinizar um solo realizando-se fertilização contínua ou excessiva, especialmente em solos cultivados sob ambiente protegido, como geralmente ocorre com a cultura do morango (túnel) e outras hortaliças (estufas). Esses sistemas são protegidos das chuvas, e as lâminas de irrigação são insuficientes para carrear os nutrientes para horizontes mais profundos.

Em solos salinos, as raízes das plantas têm dificuldade de absorver água e nutrientes devido à elevada pressão osmótica proporcionada pelos sais, o que reduz a produção e pode levar à morte das plantas.

Com base nos valores da CE, obtém-se um indicativo do grau de salinização do solo e a previsão de possíveis danos que poderão ser causados à cultura, conforme a Tabela 31.

Tabela 31. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo que reduziria 10% e 50% da produtividade de espécies vegetais

Cultura	Redução da produtividade	
	10 %	50 %
	CE (dS/m)	
Abobrinha italiana	3,8	6,3
Alface	2,1	5,1

continua...

Cultura	Redução da produtividade	
	10 %	50 %
	CE (dS/m)	
Batata	2,5	5,9
Batata doce	2,4	6,0
Beterraba	5,1	6,9
Brócolis	3,9	8,2
Cebola	1,8	4,3
Cenoura	1,7	6,5
Espinafre	3,3	8,6
Feijão	1,5	3,6
Milho doce	2,5	5,9
Morango	1,3	2,5
Pepino	3,3	6,3
Pimentão	2,2	5,1
Rabanete	2,0	5,0
Repolho	2,8	7,0
Tomate	3,5	7,6

Fonte: MASS (1984) citado por TOMÉ (1997)

Os valores citados acima se referem às tolerâncias das culturas do início do crescimento até a maturação das plantas. A tolerância durante a fase de germinação é superior, entretanto não deve ultrapassar a 4 dS/m, o que poderia inibir ou retardar a germinação das sementes, reduzindo o *stand*.

Outros valores de referência:

Solo salino: > 4 dS/m

Água para irrigação: < 2 dS/m

Água de torneira \approx 0,3 dS/m

Água destilada \approx 0,07 dS/m

A unidade de leitura da CE é o Siemens (S). As relações para transformação em submúltiplos são apresentadas a seguir:

$$0,1 \text{ S/m} = 1 \text{ dS/m} = 10 \text{ cS/m} = 100 \text{ mS/m} = 100.000 \text{ } \mu\text{S/m}$$

$$\frac{100.000 \text{ } \mu\text{S/m}}{100 \text{ cm}} = 1.000 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

Caso se determine a CE em extratos obtidos em maiores diluições, como em relações solo:água de 1:1 ou 1:5, estas devem ser corrigidas pelo fator obtido pela correlação matemática entre estes valores e os obtidos pelo método da pasta saturada.

Uma medida de correção dos solos salinos é o uso do gesso seguido da lavagem por meio de elevadas lâminas de irrigação visando à lixiviação do excesso de sais para horizontes mais profundos do solo.

12 ANÁLISE FOLIAR

As plantas apresentam teores de nutrientes diferenciados em cada parte de sua estrutura (folha, ramos, caule, raiz, frutos). Entretanto, de modo geral, são as folhas que melhor refletem o seu estado nutricional, isto é, indicam possíveis alterações da disponibilidade de nutrientes no solo: se baixa, adequada ou alta disponibilidade.

Os teores de nutrientes, determinados na análise química das folhas, são comparados com níveis considerados adequados às plantas, estabelecidos para as diversas culturas por meio de trabalhos de pesquisa.

Os teores foliares são variáveis em função de diversos fatores.

Por esta razão, a amostragem deve ser padronizada quanto à parte da planta a ser coletada, posição e idade da folha, número de folhas por planta e idade fisiológica da planta.

Além dos fatores citados acima, os teores foliares são alterados com a umidade do solo, devendo-se evitar amostragens logo após a ocorrência de chuvas ou em períodos secos. Pulverizações também podem também alterar o conteúdo de nutrientes nas folhas, devendo-se evitar amostragens após essas aplicações.

Para cada cultura, existe a indicação da posição da folha a ser amostrada. Como por exemplo, na cultura do café, deve-se coletar o terceiro ou quarto par de folhas, localizado nos ramos do terço superior da planta, nos quatro quadrantes. De modo geral, essas indicações coincidem com a posição referente à folha mais nova, porém totalmente desenvolvida.

As amostras coletadas devem ser acondicionadas em sacolas de papel e enviadas no mesmo dia ao laboratório. Caso isto não seja possível, manter as amostras em geladeira por, no máximo, dois dias.

Na Tabela 35 são apresentados os níveis considerados adequados de nutrientes para as diversas culturas.

Tabela 32. Faixa de teores foliares de nutrientes considerados adequados para as culturas

Cultura	N	P	K	dag / kg				mg / kg			
				Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Café											
Café Arábica	2,90 - 3,20	0,16 - 0,20	2,22 - 2,50	1,00 - 1,50	0,40 - 0,45	0,15 - 0,20	90 - 180	15 - 20	8 - 16	80 - 100	50 - 80
Café Co- nilon	2,7	0,12	2,10	1,40	0,32	0,24	131	12	11	69	48
Frutíferas											
Abacate	1,60 - 2,00	0,12 - 0,25	1,50 - 2,00	1,50 - 3,00	0,40 - 0,80	0,20 - 0,30	50 - 200	30 - 150	5 - 15	30 - 100	50 - 100
Abacaxi	1,50 - 1,70	0,08 - 0,12	2,20 - 3,00	0,8 - 1,20	0,30 - 0,40	0,10 - 0,20	100 - 200	15 - 25	5 - 15	5 - 150	30 - 40
Acerola	2,00 - 2,40	0,08 - 0,12	1,50 - 2,00	1,50 - 2,50	0,15 - 0,25	0,40 - 0,60	50 - 100	30 - 50	5 - 15	15 - 50	25 - 100
Banana	2,70 - 3,60	0,18 - 0,27	3,00 - 5,40	0,66 - 1,20	0,30 - 0,60	0,20 - 0,30	80 - 360	20 - 50	6 - 30	200 - 1800	10 - 25
Citrus	2,50 - 2,70	0,12 - 0,16	1,20 - 1,70	3,00 - 4,90	0,30 - 0,50	0,15	60 - 120	25 - 100	5 - 16	25 - 100	36 - 100
Coco	1,8	0,12	0,8	0,5	0,24	0,15	40	15	5	100	10
Figo	2,20 - 2,40	0,12 - 0,16	1,20 - 1,70	2,60 - 0,34	0,60 - 0,80		80 - 160	11 - 13	4 - 8	60 - 100	50 - 80
Goiaba	2,20 - 3,00	0,20 - 0,30	1,30 - 3,00	0,90 - 1,50	0,20 - 0,60	0,20 - 0,30	100 - 200	26 - 60	10 - 20	50 - 250	33 - 53
Lichia	1,50 - 1,80	0,14 - 0,22	0,70 - 1,10	0,60 - 1,00	0,30 - 0,50	1,00 - 1,60	50 - 100	15 - 30	10 - 25	100 - 250	40 - 60
Mamão	1,40 - 3,00	0,16	2,7	1,72	0,53	0,3	45	12	3	43	24
Manga	1,2	0,2	7	2,5	0,4	0,3	40	30	10	60	30
Maracujá	0,40 - 0,50	0,10 - 0,30	2,00 - 3,40	1,70 - 2,70	0,20 - 0,40	0,30 - 0,40	100 - 200	26 - 60	5 - 20	400 - 600	39 - 60
Pêssego	3,00 - 3,50	0,14 - 0,25	2,00 - 3,00	1,80 - 2,70	0,30 - 0,80	0,15 - 0,30	100 - 250	20 - 50	5 - 16	40 - 160	20 - 60
Uva	3,00 - 3,50	0,14 - 0,29	1,50 - 2,00	1,30 - 1,80	0,48 - 0,53	0,33 - 0,38	97 - 105	30 - 35	18 - 22	67 - 73	45 - 59

continua...

...continuação

Cultura	N	P	K	dag / kg			mg / kg				
				Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Olerícolas											
Abóbora	3,00 - 4,00	0,40 - 0,60	2,50 - 4,50	2,50 - 4,50	0,50 - 1,00	0,20 - 0,30	60 - 200	5 - 100	10 - 25	50 - 250	25 - 60
Agrão	4,00 - 6,00	0,07 - 0,13	4,00 - 8,00	1,00 - 2,00	0,20 - 0,50	0,20 - 0,40	50 - 100	20 - 40	6 - 15	50 - 250	25 - 50
Alface	3,00 - 5,00	0,40 - 0,70	5,00 - 8,00	1,80 - 2,50	0,40 - 0,60	0,15 - 0,25	50 - 150	30 - 100	7 - 20	30 - 150	30 - 60
Alho	3,50 - 5,00	0,30 - 0,50	3,50 - 5,00	0,60 - 1,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60	50 - 100	30 - 100	5 - 10	30 - 100	30 - 60
Batata	4,00 - 5,00	0,25 - 0,50	4,00 - 6,50	1,00 - 2,00	0,30 - 0,50	0,25 - 0,50	50 - 100	20 - 60	7 - 20	30 - 250	25 - 50
Batata-doce	3,30 - 4,50	0,23 - 0,50	3,10 - 4,50	0,70 - 1,20	0,30 - 1,20	0,40 - 0,70	40 - 100	20 - 50	10 - 20	40 - 250	25 - 75
Beringela	4,00 - 6,00	0,30 - 1,20	3,50 - 6,00	1,00 - 2,50	0,30 - 1,00		50 - 300	20 - 250	7 - 60	40 - 250	25 - 75
Beterraba	3,00 - 5,00	0,20 - 0,40	2,00 - 4,00	2,50 - 3,50	0,30 - 0,80	0,20 - 0,40	70 - 200	20 - 100	5 - 15	70 - 200	40 - 80
Brócolos	3,00 - 5,50	0,30 - 0,80	2,00 - 4,00	1,20 - 2,50	0,25 - 0,60	0,30 - 0,80	70 - 300	35 - 200	5 - 15	25 - 200	30 - 100
Cebola	2,50 - 3,50	0,20 - 0,40	3,00 - 5,00	1,50 - 3,00	0,30 - 0,50	0,50 - 0,80	60 - 300	30 - 100	10 - 30	50 - 200	30 - 50
Cenoura	2,00 - 3,00	0,20 - 0,40	4,00 - 6,00	2,50 - 3,50	0,40 - 0,70	0,40 - 0,80	60 - 300	25 - 100	5 - 15	60 - 200	30 - 80
Chicória	4,00 - 5,00	0,40 - 0,70	5,00 - 6,00	1,50 - 2,50	0,25 - 0,50		40 - 150	30 - 250	5 - 25	15 - 250	25 - 75
Couve-flor	4,00 - 6,00	0,40 - 0,80	2,50 - 5,00	2,00 - 3,50	0,25 - 0,50		30 - 200	20 - 250	4 - 15	25 - 250	30 - 80
Julô	4,50 - 6,00	0,30 - 0,70	2,00 - 5,00	1,50 - 2,50	0,25 - 0,50		50 - 300	20 - 200	11 - 25	70 - 250	50 - 80
Melancia	2,50 - 5,00	0,30 - 0,70	2,50 - 4,00	2,50 - 5,00	0,50 - 1,20	0,20 - 0,30	50 - 300	20 - 60	10 - 15	50 - 250	30 - 80
Melão	2,50 - 5,00	0,30 - 0,70	2,50 - 4,00	2,50 - 5,00	0,50 - 1,20	0,20 - 0,30	50 - 300	20 - 100	10 - 15	50 - 250	30 - 80
Morango	1,50 - 2,50	0,20 - 0,40	2,00 - 4,00	1,00 - 2,50	0,60 - 1,00	0,10 - 0,50	50 - 300	20 - 50	5 - 20	30 - 300	35 - 100
Nabo	3,50 - 4,00	0,30 - 0,60	3,50 - 5,00	1,50 - 4,00	0,30 - 1,00		40 - 300	20 - 250	6 - 25	40 - 250	40 - 100
Pepino	4,50 - 6,00	0,30 - 1,20	3,50 - 5,00	1,50 - 3,50	0,30 - 1,00	0,40 - 0,70	50 - 300	25 - 100	7 - 20	50 - 300	25 - 60
Pimentão	3,00 - 6,00	0,30 - 0,70	4,00 - 6,00	1,00 - 3,50	0,30 - 1,00	0,40 - 0,70	50 - 300	25 - 100	7 - 20	50 - 300	25 - 60

continua...

...continuação

Cultura	N	P	K	dag / kg			S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
				Ca	Mg							
Quiabo	3,50 - 5,00	0,30 - 0,50	2,50 - 4,00	3,50 - 4,50	0,60 - 0,90	0,25 - 0,40	60 - 120	40 - 80	15 - 25	40 - 80	40 - 80	
Rabanete	3,00 - 6,00	0,30 - 0,70	4,00 - 7,50	3,00 - 4,50	0,50 - 1,20		50 - 250	20 - 250	5 - 25	50 - 250	25 - 125	
Repolho	3,00 - 5,00	0,40 - 0,70	3,00 - 5,00	1,50 - 3,00	0,40 - 0,70	0,30 - 0,70	40 - 200	30 - 100	8 - 20	25 - 200	25 - 75	
Tomate	4,00 - 6,00	0,40 - 0,80	3,00 - 5,00	1,40 - 4,00	0,40 - 0,80	0,30 - 1,00	100 - 300	30 - 100	5 - 15	50 - 250	30 - 100	
Forrageiras												
Colonião	1,13 - 1,50	0,08 - 0,11	1,43 - 1,84	0,40 - 1,02	0,12 - 0,22	0,11 - 0,15	100 - 150	20 - 25	7 - 10	80 - 100	15 - 20	
Jaraguá	1,28 - 1,47	0,06 - 0,11	1,08 - 1,65	0,23 - 0,46	0,15 - 0,23	0,13 - 0,18	150 - 200	25 - 30	3 - 5	200 - 300	20 - 25	
Napier	1,80	0,12	1,50	0,37	0,20	0,70	150 - 200	40 - 50	10 - 15	150 - 200	25 - 30	
Brachiaría Briz.	1,30 - 2,00	0,08 - 0,30	1,20 - 3,00	0,30 - 0,60	0,15 - 0,40	0,08 - 0,25	50 - 250	20 - 50	4 - 12	40 - 250	10 - 25	
Brachiaría Dec.	1,20 - 2,00	0,08 - 0,30	1,20 - 2,50	0,20 - 0,60	0,15 - 0,40	0,08 - 0,25	50 - 250	20 - 50	4 - 12	40 - 250	10 - 25	
Anuais e Perenes												
Amendoim	3,00 - 4,50	0,20 - 0,50	1,70 - 3,00	1,20 - 2,00	0,30 - 0,80	0,30 - 0,35	50 - 300	20 - 60	5 - 20	20 - 350	25 - 60	
Arroz	2,70 - 3,50	0,18 - 0,30	1,30 - 3,00	0,25 - 1,00	0,15 - 0,50	0,14 - 0,30	70 - 200	10 - 50	3 - 25	70 - 400	4 - 25	
Cacau	2,00 - 2,50	0,18 - 0,25	1,30 - 2,30	0,80 - 1,20	0,30 - 0,70	0,16 - 0,20	60 - 200	30 - 80	8 - 15	50 - 250	25 - 60	
Cana	1,80 - 2,50	0,15 - 0,30	1,00 - 1,60	0,20 - 0,80	0,10 - 0,30	0,15 - 0,30	40 - 250	10 - 50	6 - 15	25 - 250	10 - 30	
Feijão	3,00 - 5,00	0,20 - 0,30	2,00 - 2,50	1,50 - 2,00	0,40 - 0,70	0,50 - 1,00	100 - 450	20 - 100	10 - 20	30 - 300	30 - 60	
Feijão-de- vagem	1,80 - 2,20	0,12 - 0,15	3,00 - 3,50	5,00 - 5,50	0,50 - 0,80	0,15 - 0,20	700 - 900	40 - 50	5 - 7	400 - 425	15 - 20	

continua...

...conclusão

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Girassol	3,30 - 3,50	0,40 - 0,70	2,00 - 2,40	1,70 - 2,20	0,90 - 1,10	0,50 - 0,70	30 - 50		30 - 50	300 - 600	50 - 70
Mamona	4,00 - 5,00	0,30 - 0,40	3,00 - 4,00	1,50 - 2,50	0,25 - 0,35	0,30 - 0,40					
Mandioca	5,10 - 5,80	0,30 - 0,50	1,30 - 2,00	0,75 - 0,85	0,29 - 0,31	0,26 - 0,30	120 - 140	30 - 60	6 - 10	50 - 120	30 - 60
Milho	2,70 - 3,50	0,20 - 0,40	1,70 - 3,50	0,25 - 0,80	0,15 - 0,50	0,15 - 0,30	30 - 250	15 - 100	6 - 20	20 - 200	10 - 25
Pimentão- do-reino	2,8	0,14	2	1	0,3	0,2	200	30	8	60	25
Pupunha	2,20 - 3,50	0,20 - 0,30	0,60 - 1,50	0,25 - 0,40	0,20 - 0,45	0,20 - 0,30	40 - 200	15 - 40	4 - 10	30 - 150	12 - 30
Soja	4,00 - 5,40	0,25 - 0,50	1,70 - 2,50	0,40 - 2,00	0,30 - 1,00	0,21 - 0,40	50 - 350	20 - 50	10 - 30	20 - 100	21 - 55
Sorgo	2,50 - 3,50	0,20 - 0,40	1,40 - 2,50	0,25 - 6,00	0,15 - 0,50	0,15 - 0,30	65 - 100	15 - 50	5 - 20	10 - 190	4 - 20
Eucalipto	1,40 - 1,60	0,10 - 0,12	1,00 - 1,20	0,80 - 1,20	0,80 - 0,12	0,15 - 0,20	150 - 200	40 - 60	8 - 10	100 - 600	40 - 50
Pinus	1,20 - 1,30	0,14 - 0,16	1,00 - 1,10	0,30 - 0,50	0,30 - 0,50	0,14 - 0,16	50 - 100	34 - 40	5 - 8	200 - 300	20 - 30
Seringueira	2,90 - 3,50	0,16 - 0,25	1,00 - 1,70	0,70 - 0,90	0,70 - 0,90	0,18 - 0,26	50 - 120	20 - 40	10 - 15	40 - 150	20 - 70

13 ADUBAÇÃO FOLIAR

A adubação via foliar é recomendada somente para o fornecimento de alguns micronutrientes, principalmente de Zn. O fornecimento de macronutrientes via foliar é inócuo, pois a demanda da planta por esses elementos é muito superior à capacidade de fornecimento dessa via de aplicação.

Diversos trabalhos de pesquisa demonstram que a quantidade de macronutrientes fornecida via aplicação foliar é insuficiente para atender à demanda das plantas. Utilizando como exemplo a cultura do café, para fornecer os macronutrientes via foliar seriam necessárias de 50 a 80 pulverizações por ano. Assim, devido ao elevado custo de aplicação, o fornecimento de macronutrientes via foliar torna-se inviável.

O fornecimento de nutrientes via foliar possui efeito tônico, isto é, corrige momentaneamente a deficiência, mas em poucos meses a deficiência volta a ocorrer.

Devido à baixa mobilidade dos micronutrientes nos tecidos das plantas, a aplicação via foliar corrige a deficiência somente nas folhas que foram atingidas pela pulverização. As folhas novas formadas após a aplicação continuarão apresentando baixos teores desses elementos, caso o solo não seja fertilizado.

Este caso é muito comum com o fornecimento de Zn na cultura do café. Semelhante ao P, o Zn é fortemente fixado pelas argilas, o que dificulta a sua absorção pelas plantas. Por esta razão, frequentemente se observa sintomas de deficiência de Zn na cultura do café, principalmente em solos de textura argilosa. Os demais micronutrientes, por serem mais móveis no solo, são absorvidos com mais facilidade pelas plantas e a ocorrência de sintomas de deficiência é mais rara.

Caso se opte pela adubação foliar complementar à aplicação via solo, a concentração dos sais na calda de pulverização não pode ser muito elevada para não causar toxidez nas folhas, e nem muito diluídas, de modo a não corrigir a deficiência. Portanto, existe uma faixa de concentração ideal, que é variável com o fertilizante a ser utilizado.

Abaixo é apresentada uma sugestão de calda de micronutrientes que pode ser utilizada para a maioria das culturas.

Fertilizante	kg do fertilizante por 100 L de água
Sulfato de zinco	0,5
Ácido bórico	0,5
Sulfato de cobre	0,5
Cloreto de potássio	0,5
Espalhante adesivo	indicação do fabricante

Ressalta-se que o cloreto de potássio é adicionado para aumentar a absorção de zinco, pois a presença de Cu e B na calda de pulverização diminui a absorção de Zn pelas plantas. Para compensar esta menor absorção, pode-se aumentar a concentração de Zn (exemplo: 0,5 para 1%) ou acrescentar cloreto de potássio.

Para conhecimento das faixas de concentração de fertilizantes na calda de pulverização, é apresentada a Tabela 33.

Tabela 33. Faixa de concentração de fertilizantes na calda de pulverização para aplicação via foliar.

Elemento	Fertilizante	kg do fertilizante/ 100 L
N	Ureia	3 a 12
	Sulfato de amônio	2 a 5
P	Fosfato de amônio	0,5 a 5
K	Clore ou sulfato de potássio	0,5

continua...

Elemento	Fertilizante	kg do fertilizante/ 100 L
K	Nitrato de potássio	3 a 12
Ca	Cloreto de cálcio	0,5 a 2,5
Mg	Sulfato de magnésio	1 a 2
Zn	Sulfato de zinco	0,3 a 1
B	Ácido bórico	0,3 a 0,5
Cu	Sulfato ou oxicloreto de cobre	0,3 a 0,5
	Oxicloreto de cobre (como fungicida)	1
Fe	Sulfato de ferro	0,6 a 2
Mn	Sulfato de manganês	0,4 a 1
Mo	Molibdato de sódio ou de amônio	0,05 a 0,1

Fonte: Malavolta (1992).

14 CÁLCULO DE DOSES DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Águas residuárias, como por exemplo, as originadas do descascamento e despolpa de frutos de café e efluentes de pocilgas, currais, laticínios etc., desde que constatada a ausência de substâncias tóxicas ou metais pesados, podem ser utilizadas como fonte de nutrientes e matéria orgânica, podendo ser aplicadas ao solo. Para isto, é necessário o cálculo da dose a ser aplicada.

O cálculo da dose de água residuária ou efluente a ser aplicada deve ser baseado na análise química dos seus teores totais de nutrientes, na análise química do solo e na demanda de nutrientes da cultura.

A dose deve ser calculada com base no nutriente presente em maior teor na água residuária para evitar que este seja aplicado em quantidades acima da capacidade de adsorção do solo ou da exigência da cultura.

Como exemplo, na água residuária originada do descascamento

e despolpa de frutos de café, o elemento presente em maior teor é o potássio, que varia de 100 a 300 mg/L.

Considerando que a demanda da cultura, com base na análise do solo, seja de 100 kg/ha de K_2O (determinada nos manuais de recomendação de adubação) e a água residuária tenha um teor de 250 mg/L:

Exigência da cultura: $100 \text{ kg/ha de } K_2O \div 1,2 = 83,3 \text{ kg/ha de K}$ (mesma unidade do teor de K na água residuária)

Dose de água residuária:

$$\begin{array}{l} 1000 \text{ mL} \text{ ——— } 250 \text{ mg de K} \\ X \text{ ——— } 83.300.000 \text{ mg de K} \end{array} \quad X = 333.200 \text{ L/ha de água residuária}$$

Dividindo-se esta dose por 10.000 m^2 (área de um ha), tem-se:

$$X = 33 \text{ L/m}^2$$

Esta é a dose máxima de água residuária a ser aplicada ao solo, para atender à demanda da cultura em K, sendo que esta dose deve ser parcelada durante o ciclo da cultura para que não haja escoamento superficial.

15 TRANSFORMAÇÃO DE UNIDADES

Quadro dos múltiplos e submúltiplos das unidades do Sistema Internacional

Prefixo	Símbolo	Fator	Massa	Distância	Volume	Concentração	Condutividade
Kilo	k	1000	kg	km	kL	kmol	kS
Hecto	h	100	hg	hm	hL	hmol	hS
Deca	da	10	dag	dam	daL	damol	daS
Unidade		1	grama (g)	metro (m)	litro (L)	mol	siemens (S)
Deci	d	0,1	dg	dm	dL	dmol	dS
Centi	c	0,01	cg	cm	cL	cmol	cS
Mili	m	0,001	mg	mm	mL	mmol	mS

Para cada intervalo de uma linha o fator é de 10 unidades.

Ex.: 1 cg = 10 mg

Para cada intervalo de duas linhas o fator é de 100 unidades.

Ex.: 1 dmol = 100 mmol

Para cada intervalo de três linhas o fator é de 1.000 unidades.

Ex.: 1 S = 1.000 mS

15.1 RELAÇÕES DA UNIDADE DE CONCENTRAÇÃO – mol

mol = Indica a quantidade referente à $6,02 \times 10^{23}$ entidades elementares como átomos, elétrons, moléculas, cargas elétricas etc.

Ex.: Um mol de átomos = $6,02 \times 10^{23}$ átomos

Um mol de cargas elétricas = $6,02 \times 10^{23}$ cargas

Massa atômica = É o peso de um mol de átomos ($6,02 \times 10^{23}$ átomos)

Ex.: Um mol de K = peso de $6,02 \times 10^{23}$ átomos de K = 39

Um mol de Na = peso de $6,02 \times 10^{23}$ átomos de Na = 23 g

Um mol de Ca = peso de $6,02 \times 10^{23}$ átomos de Ca = 40 g

Um mol de Mg = peso de $6,02 \times 10^{23}$ átomos de Mg = 24g

No solo, as reações entre os cátions e os coloides ocorrem com base na quantidade de cargas elétricas. Por esta razão, a concentração dos elementos é expressa em mol_c (mol de carga).

O mol_c é obtido pela divisão do mol do elemento pelo seu nº de carga elétrica.

Ex.: Um mol_c de K^+ = $39/1 = 39$ g

Um mol_c de Na^+ = $23/1 = 23$

Um mol_c de Ca^{2+} = $40/2 = 20$ g

Um mol_c de Mg^{2+} = $24/2 = 12$ g

Geralmente nos resultados de análises de solo, para expressar a concentração dos cátions, utilizam-se os submúltiplos do mol_c , como por exemplo, cmol_c ou mmol_c .

1 mol = Massa atômica do elemento expresso em g

1 cmol = Massa atômica do elemento expresso em cg

1 mmol = Massa atômica do elemento expresso em mg

15.2 POTÁSSIO

1 mol de K = 39,1 g ou 3.910 cg ou 39.100 mg

1 cmol de K = 39,1 cg ou 391 mg

1 mmol de K = 39,1 mg

Como o K possui somente uma carga positiva (K^+), 1 mol_c é equivalente a 1 mol.

Para transformar cmol_c de K para mg, multiplica-se por 391.

Para transformar mg de K para cmol_c, divide-se por 391.

Ex.1: Transformar 0,25 cmol_c/dm³ de K para mg/dm³

$$0,25 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \times 391 = 97,75 \text{ mg}/\text{dm}^3 \text{ de K}$$

Ex.2: Transformar 260 mg/dm³ de K para cmol_c/dm³

$$260 \text{ mg}/\text{dm}^3 \div 391 = 0,66 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de K}$$

15.3 SÓDIO

1 mol de Na = 23 g ou 2.300 cg ou 23.000 mg

1 cmol de Na = 23 cg ou 230 mg

1 mmol de Na = 23 mg

Como o Na possui somente uma carga positiva (Na^+), 1 mol é equivalente a 1 mol_c.

Para transformar cmol_c de Na para mg multiplica-se por 230.

Para transformar mg de Na para cmol_c divide-se por 230.

Ex.1: Transformar 0,8 cmol_c/dm³ de Na para mg/dm³

$$0,8 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \times 230 = 184 \text{ mg}/\text{dm}^3 \text{ de Na}$$

Ex.2: Transformar 190 mg/dm³ de Na para cmol_c/dm³

$$190 \text{ mg}/\text{dm}^3 \div 230 = 0,82 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Na}$$

15.4 CÁLCIO

1 mol de Ca = 40 g ou 4.000 cg ou 40.000 mg

1 cmol de Ca = 40 cg ou 400 mg

1 mmol de Ca = 40 mg

Como o Ca possui duas carga positiva (Ca^{2+}), 1 mol_c é equivalente a 1 mol/2

1 mol_c de Ca = 20g ou 2.000 cg ou 20.000 mg

1 cmol_c de Ca = 20cg ou 200 mg

1 mmol_c de Ca = 20 mg

Para transformar cmol_c de Ca para mg multiplica-se por 200.

Ex.1: Transformar 1,5 cmol_c/dm³ de Ca para mg/dm³

$$1,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \times 200 = 300 \text{ mg}/\text{dm}^3 \text{ de Ca}$$

Ex.2: Transformar 280 mg/dm³ de Ca para cmol_c/dm³

$$280 \text{ mg}/\text{dm}^3 \div 200 = 1,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Ca}$$

15.5 MAGNÉSIO

1 mol de Mg = 24 g ou 2.400 cg ou 24.000 mg

1 cmol de Mg = 24cg ou 240 mg

1 mmol de Mg = 24 mg

Como o Mg possui duas carga positiva (Mg^{2+}), 1 mol_c é equivalente a 1 mol/2

$$1 \text{ mol}_c \text{ de Mg} = 12 \text{ g ou } 1.200 \text{ cg ou } 12.000 \text{ mg}$$

$$1 \text{ cmol}_c \text{ de Mg} = 12 \text{cg ou } 120 \text{ mg}$$

$$1 \text{ mmol}_c \text{ de Mg} = 12 \text{ mg}$$

Para transformar cmol_c de Mg para mg multiplica-se por 120.

Ex.1: Transformar 1,2 cmol_c/dm³ de Mg para mg/dm³

$$1,2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \times 200 = 240 \text{ mg}/\text{dm}^3 \text{ de Mg}$$

Ex.2: Transformar 96 mg/dm³ de Mg para cmol_c/dm³

$$96 \text{ mg}/\text{dm}^3 \div 240 = 0,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Mg}$$

15.6 PESO EQUIVALENTE EM CARGA DE ALGUNS ELEMENTOS E COMPOSTOS

Elemento ou Composto	mol _c (g) ou cmol _c (cg) ou mmol _c (mg)
H ⁺	1,0
K ⁺	39,0
K ₂ O	47,0
Na ⁺	23,0
Ca ²⁺	20,0
CaO	28,0
CaCO ₃	50,0
Mg ²⁺	12,0
MgO	20,0
MgCO ₃	42,0

continua...

...conclusão

Elemento ou Composto	mol _c (g) ou cmol _c (cg) ou mmol _c (mg)
P	10,3
P ₂ O ₅	23,7
PO ₄	31,7
N	14,0
NO ₃	62,0
NH ₄	18,0
Al ³⁺	9,0
Al ₂ O ₃	17,0

1 mol_c de K possui a mesma quantidade de cargas elétricas que 1 mol_c de Mg ou

39 g de K possuem a mesma quantidade de cargas elétricas que 12 g de magnésio.

Exemplo de cálculo baseado na equivalência de cargas elétricas:

Para neutralizar **1 cmol_c/dm³ de H⁺** é necessário **1 cmol_c/dm³ de CaCO₃**

1 cmol_c/dm³ de CaCO₃ = 50 cg/dm³ de CaCO₃ = 0,5 g/dm³ de CaCO₃

1 ha = 2 x 10⁶ dm³

2 x 10⁶ dm³ x 0,5 g/dm³ de CaCO₃ = **1.000 kg de CaCO₃/ha**

Conclusão:

Para cada 1 cmol_c/dm³ da acidez do solo é necessária 1 t de CaCO₃/ha para sua neutralização.

15.6 FATORES DE CONVERSÃO ENTRE ALGUMAS UNIDADES

$$\% \times 10.000 = \text{mg/dm}^3$$

$$\text{Ex.: } 0,2\% \text{ de K} = 2.000 \text{ mg/dm}^3 \text{ de K}$$

$$\text{mg/dm}^3 \times 2 = \text{kg/ha}$$

$$\text{Ex.: } 150 \text{ mg/dm}^3 \text{ de K} \times 2 = 300 \text{ kg/ha de K}$$

16 TABELA PERIÓDICA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Hidrogênio 1,0079	2 He Hélio 4,0026	3 Li Lítio 6,941(2)	4 Be Berílio 9,0122	5 B Boro 10,811(7)	6 C Carbono 12,011	7 N Nitrogênio 14,007	8 O Oxigênio 15,999	9 F Fluor 18,998	10 Ne Neônio 20,180	11 Na Sódio 22,990	12 Mg Magnésio 24,305	13 Al Alumínio 26,982	14 Si Silício 28,086	15 P Fósforo 30,974	16 S Enxofre 32,065(5)	17 Cl Cloro 35,453(2)	18 Ar Argônio 39,948
19 K Potássio 39,098	20 Ca Cálcio 40,078(4)	21 Sc Escândio	22 Ti Titânio 47,867	23 V Vanádio 50,942	24 Cr Cromio 51,996	25 Mn Mangânes 54,938	26 Fe Ferro 55,845(2)	27 Co Cobalto 58,933	28 Ni Níquel 58,693	29 Cu Cobre 63,546(3)	30 Zn Zinco 65,38(2)	31 Ga Gálio 69,723	32 Ge Germânio 72,64	33 As Arsênio 74,922	34 Se Selênio 78,96(3)	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Criptônio 83,798(2)
37 Rb Rubídio 85,468	38 Sr Estrôncio 87,62	39 Y Ítrio 88,906	40 Zr Zircônio 91,224(2)	41 Nb Níbio 92,906	42 Mo Molibdênio 95,96(2)	43 Tc Técnetio	44 Ru Rutênio 101,07(2)	45 Rh Ródio 102,91	46 Pd Paládio 106,42	47 Ag Prata 107,87	48 Cd Cádmio 112,41	49 In Índio 114,82	50 Sn Estanho 118,71	51 Sb Antimônio 121,76	52 Te Telúrio 127,60(3)	53 I Iodo 126,90	54 Xe Xenônio 131,29
55 Cs Césio 132,91	56 Ba Bário 137,33	57 a 71 La-Lu	72 Hf Háfnio 178,49(2)	73 Ta Tântalo 180,95	74 W Tungstênio 183,84	75 Re Rênio 186,21	76 Os Osmio 190,23(3)	77 Ir Iridio 192,22	78 Pt Platina 195,08	79 Au Ouro 196,97	80 Hg Mercúrio 200,59(2)	81 Tl Chumbo 204,38	82 Pb Chumbo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98	84 Po Polônio 209,98*	85 At Astato 209,99*	86 Rn Radônio 222,02*
87 Fr Frâncio 223*	88 Ra Rádio 226*	89 a 103 Ac-Lr	104 Rf Rutherfordio 261*	105 Db Dubnio 262*	106 Sg Seabórgio 266*	107 Bh Bório 264*	108 Hs Hássio 277*	109 Mt Meitnério 268*	110 Uun Ununécio 271*	111 Uuu Ununúcio 272*	112 Uub Ununbício 285*	113 Uut Ununtrio 284*	114 Uuq Ununquádo 289*	115 Uup Ununpêntio 288*			

Simbolas:
 A - Sólido
 @ - Artificial

14
Si
 Silício
 28,086

Número atômico
 Símbolo
 Nome
 Massa atômica relativa (A_r)
 A intensidade do número atômico (Z) está escrito usando o número entre parênteses. Os valores com * referem-se ao isótopo mais estável.

57 La Lantânio 138,91	58 Ce Cério 140,12	59 Pr Praseodímio 140,91	60 Nd Néodímio 144,24(3)	61 Pm Promécio 145	62 Sm Samarítio 150,36(2)	63 Eu Európio 151,96	64 Gd Gadolínio 157,25(3)	65 Tb Terbio 158,93	66 Dy Disprósio 162,50(3)	67 Ho Hólmio 164,93	68 Er Érbio 167,26(3)	69 Tm Tulio 168,93	70 Yb Ítérbio 173,05	71 Lu Lúteo 174,97
89 Ac Actínio 227*	90 Th Tório 232,04*	91 Pa Protactínio 231,04*	92 U Urânio 238,05*	93 Np Neptúmio 237*	94 Pu Plutônio 244*	95 Am Americio 243*	96 Cm Cúrio 247*	97 Bk Berquélio 247*	98 Cf Californio 251*	99 Es Einsteinlío 252*	100 Fm Férmio 257*	101 Md Mendelévio 258*	102 No Nobelío 259*	103 Lr Laurâncio 262*

17 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate, produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia.** Lavras. UFLA, 393p. 2004.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande, UFBP, 1991. 218p.

ALVAREZ V.; V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação.** Viçosa-MG, 1999. 359p.

BENINI, S.; RYPNIEWSKI, W. R.; WILSON, K. S.; MANGANI, S.; CIURLI, S. Molecular Details of Urease Inhibition by Boric Acid: Insights into the Catalytic Mechanism. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 126, p. 3714-3715, 2004.

BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. **Informações Agronômicas**, v.120, n.01, p.08-10, 2007.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, p.397-401, 2008.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.769-850.

CHIEN, S. H., PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

CHITOLINA, J. C. **Fertilizantes de lenta liberação de N**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5° Aproximação**. Viçosa-MG, 1999. 359p.

GIOACCHINI, P., NASTRI A., MARZADORI C., GIOVANNINI C., ANTISARI L. V., GESSA C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, n.2, p.129-135, 2002.

GIOVANNINI, C.; GARCIA-MINA, J. M.; CIAVATTA, C.; MARZADORI, C. Ureic nitrogen transformation in multi-layer soil columns treated with urease and nitrification inhibitors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, p.4883-4887, 2009.

GUARÇONI M., A.; ALVAREZ V. V. H; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; LEITE, H. G; FREIRE, F. M. Diâmetro de trado necessário à coleta de amostras num cambissolo sob plantio direto ou sob plantio convencional antes ou depois da aração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:947-959, 2007.

GUARÇONI, M., A.; SILVA, J. G. da. **Solos afetados por sais e qualidade da água para irrigação**. Vitória-ES: Incaper, 2008. 28p (Incaper. Documentos, 156).

JUAN, Y. H.; CHEN, L. J.; WU, Z. J.; WANG, R. Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutricion Vegetal**, v.9, n.2, p.125-133, 2009.

KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.59, p.9-21, 2009.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria or micronutrients in soil. In MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M. & LINDSAY, W. L., eds. **Micronutrients in agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.

LUCAS, R. E. Organic soils (Histosols): formation, distribution, physical and chemical properties and management for crop production. **Research Report, Farm Science**, Michigan State University. n.435, 80p, 1982.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1992, 124p.

MALHI, S. S.; GRANT, C. A.; JOHNSTON, A. M.; GILL, K. S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.101-122, 2001.

MORELI, A. P. **Avaliação de um sistema de remoção de sólidos para maximização do uso da água no processamento dos frutos do cafeeiro**. 2010, 86p Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias. Alegre, ES, 2010.

MENGEL, D. R. & KAMPRATH, E. J. Effect of soil pH and liming on growth and nodulation of soybeans in Histosols. **Agronomy Journal**, v. 70, n.6, p.959-963, 1978.

NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OERTLI, J. J. Controlled-release fertilizers. **Fertilizer Research**, v.1, p.103-123, 1980.

POTASH PHOSPHATE INSTITUTE. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1989. 177p.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo** – 5º aproximação. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996 285p (Boletim técnico, 100)

RICHARDS, L. A. **Diagnóstico y rehabilitación de Suelos salinos y sodicos**. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, Manual de Agricultura Núm. 60, 1970. 172 p.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. IN: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1º ed. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SOUZA, D. M. G; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1995. 20p (Embrapa-CPAC, Circular Técnica, 32).

SOUZA, D. M. G.; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no Cerrado**. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1995. 20p (Embrapa-CPAC, Circular Técnica, 32).

SOUZA, J. L.; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M, A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Idesia** (Chile), v.30, n. 1. p. 7-15, 2012.

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.



GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO
*Secretaria da Agricultura, Abastecimento,
Aquicultura e Pesca*

