

**CIRCULAR TÉCNICA Nº 28**

**ISSN 1516-411X**

**Outubro, 2000**

***Transformação de unidades de  
representação de resultados  
de análise de solo***

*Ana Cândida Primavesi  
Odo Primavesi*



---

***Pecuária Sudeste***

## **Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, Nº 28**

*Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:*

### **Embrapa Pecuária Sudeste**

*Rod. Washington Luiz, km 234*

*Caixa Postal 339*

*Telefone (0xx16) 261-5611 Fax (0xx16) 261-5754*

*13560-970 São Carlos, SP*

*Endereço eletrônico: sac@cppse.embrapa.br*

*Tiragem desta edição: 1000 exemplares*

*Comitê de Publicações:*

*Presidente: Edison Beno Pott*

*Membros: Armando de Andrade Rodrigues*

*Carlos Roberto de Souza Paino*

*Ana Cândida Primavesi*

*Sônia Borges de Alencar*

*Editoração Eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito*

P953 Primavesi, Ana Cândida

Transformação de unidades de representação de resultados de análise de solo / Ana Cândida Primavesi, Odo Primavesi.-- São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2000.

22p. ; 21cm. - (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 28).

1. Solo 0 Análise do solo - Interpretação. I. Primavesi, Odo . II. Título. III. Série.

CDD 636.41

© EMBRAPA

## **SUMÁRIO**

	<b>Pág.</b>
Introdução .....	5
Conceito básico: capacidade de troca catiônica.....	5
Transformação das unidades de representação dos resultados de potássio, fósforo, cálcio e magnésio da análise de solo .....	
Potássio .....	7
Questão 1 .....	
Questão 2 .....	8
Questão 3 .....	
Questão 4 .....	10
Questão 5 .....	11
Fósforo	13
Questão 6 .....	13
Cálcio e Magnésio.....	15
Questão 7.....	15
Questão 8.....	18
Tabelas de transformação de unidades.....	20
Tabela 1. Fatores multiplicativos de transformação de unidades	20
Tabela 2. Fatores para conversão entre unidades .....	
Literatura citada .....	

# **Transformação de unidades de representação de resultados de análise de solo**

Ana Cândida Primavesi<sup>1</sup>, Odo Primavesi

## **Introdução**

A avaliação da fertilidade do solo é necessária para que se possa caracterizar sua capacidade de fornecer nutrientes para as plantas, verificar a presença de acidez e de elementos tóxicos, recomendar as quantidades de calcário e de fertilizantes a serem aplicadas ao solo, e escolher as variedades mais adequadas ao cultivo em determinada área.

A análise química do solo é uma técnica de fácil acesso, que possibilita avaliação direta da fertilidade do solo. Entretanto, nem sempre os resultados de uma análise são apresentados com as mesmas unidades entre laboratórios e por causa disso podem ocorrer dificuldades na sua interpretação.

O objetivo deste trabalho é o de mostrar como fazer a transformação das unidades de representação dos resultados de análise, para que possam ser utilizados da maneira mais clara e mais eficiente possível na avaliação da fertilidade do solo.

## **Conceito básico:** CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC)

A troca de cátions é uma característica dos solos que os possibilita reter nutrientes em forma disponível para as plantas. Os minerais de argila, a matéria orgânica, os óxidos de ferro e de alumínio, e as alofanas (silicatos de alumínio amorfos) originam cargas elétricas negativas, responsáveis pela troca de íons nos solos.

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.

Na maior parte dos solos predomina a troca de cátions. A capacidade de troca de cátions indica a quantidade de cargas negativas ou de cátions retidos por unidade de massa ou de volume de solo.

O fenômeno da troca iônica considera o princípio da equivalência e, por isto, a capacidade de troca catiônica de um solo é expressa em milimol de carga por decímetro cúbico de terra (mmol/dm<sup>3</sup>).

O que é 1 mmol<sub>c</sub> de um cátion? É a massa atômica em gramas (g) deste elemento, dividida pela valência e dividida por 1.000.

Exemplos: 1 mmol<sub>c</sub> de cálcio (Ca) é igual a 20,04 mg (40,08 g/2/1.000); 1 mmol<sub>c</sub> de hidrogênio (H) é igual a 1,008 mg (1,008 g / 1/1.000); 1 mmol<sub>c</sub> de potássio (K) é igual a 39,102 mg (39,102 g / 1/1.000); 1 mmol<sub>c</sub> de magnésio (Mg) é igual a 12,156 mg (24,312 g / 2/1.000); 1 mmol<sub>c</sub> de alumínio (Al) é igual a 8,994 mg (26,981 g/3/1.000).

Sabe-se que 1 mmol<sub>c</sub> de um elemento desloca, troca, substitui 1 mmol<sub>c</sub> de outro elemento. Exemplificando: 20,04 mg de cálcio deslocam 1,008 mg de hidrogênio.

## **Transformação das unidades de representação dos resultados de potássio, fósforo, cálcio e magnésio na análise de solo**

### POTÁSSIO (K)

**Questão 1:** Supondo-se que o resultado da análise de solo tenha indicado teor de potássio de 5,0 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, como transformar este resultado em ppm (partes por milhão de partes) ?

A unidade ppm representa o número de partes em massa do constituinte em um milhão de partes de massa da amostra. Como na análise de solo para fins de fertilidade se usa volume e não massa de amostra, é mais adequado expressar o resultado em mg/dm<sup>3</sup>, em vez de ppm.

Procedimento: Basta multiplicar o resultado em mmol/dm<sup>3</sup> por 39,102.

Explicação:

Como foi visto, 1 mmol<sub>c</sub> de potássio é igual a 39,102 mg, portanto, 1 mmol<sub>c</sub> de K = 39,102 mg de K = 0,039102 g de K.

Admitindo-se densidade da terra = 1, ter-se-á que 1 dm<sup>3</sup> = 1.000 g de terra.

Então, tem-se, por regra de três:

$$\begin{array}{rcl} 0,039102 \text{ g de K} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 1.000 \text{ g (dm}^3\text{)} \\ X & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 1.000.000 \text{ g (ppm)} \end{array}$$

$$X = 0,039102 \times 1.000.000 / 1.000 = 39,102$$

ou 1.000 g de terra (dm<sup>3</sup> de terra) = 1.000.000 mg de terra.

Então,

1 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de K = 39,102 mg de K em 1.000 g (1 dm<sup>3</sup>) de terra.  
Como 1.000 g = 1.000.000 mg de terra, obtém-se então 39,102 mg de K em 1 milhão de partes de massa de terra (1.000.000 mg de terra). Portanto,  
39,102 mg /dm<sup>3</sup> de K = 39,102 ppm de K.

Assim, neste exemplo, 5 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de K x 39,102 = 195,51 ppm de K = 195,51 mg/dm<sup>3</sup>.

**Questão 2:** Como transformar o resultado expresso em ppm (mg/dm<sup>3</sup>) (195,51 ppm de K) para kg/ha de K?

Procedimento: Basta multiplicar o resultado em ppm (mg/dm<sup>3</sup>) por 2.

Explicação:

1 dm<sup>3</sup> de terra com densidade = 1 apresenta 1.000 g ou 1.000.000 mg de terra;

1 mg/dm<sup>3</sup> = 1 mg do elemento em 1.000.000 mg de terra, ou  
1 kg do elemento ————— 1.000.000 kg de terra (ppm)

X —————— 2.000.000 kg (1 ha de solo a 20 cm de profundidade e densidade = 1)

X = 2

ou 1 mg = 0,000001 kg = 10<sup>-6</sup> kg

0,000001 kg do elemento —————— 1 kg de terra (mg/dm<sup>3</sup>)  
X —————— 2.000.000 kg

X = 2

ou

$$195,51 \text{ kg de K} \xrightarrow{\quad} 1.000.000 \text{ kg de terra (ppm)}$$
$$X \xrightarrow{\quad} 2.000.000 \text{ kg (1 ha de solo a 20 cm de profundidade e densidade = 1).}$$

Assim, 195,51 ppm (mg/dm<sup>3</sup>) de K correspondem a 391 kg/ha de K.

**Questão 3:** Como transformar um resultado da análise de K, que tenha sido expresso em mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, em kg/ha de K ?

Procedimento: Basta multiplicar os valores expressos em mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> por 78,204, pois, como foi visto, 1 mmol<sub>c</sub> de K = 39,102 mg = 0,039102 g e 1 dm<sup>3</sup> de terra = 1.000 g de terra (densidade 1).

1 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de K:

$$0,039102 \text{ g de K} \cdot 1.000 \text{ g de terra (dm}^3\text{ )}$$

$$X \xrightarrow{\quad} 2.000.000.000 \text{ g (1 ha de solo com 20 cm de profundidade e densidade = 1)}$$

$$X = 78,20$$

portanto, 5 mmol<sub>c</sub> /dm<sup>3</sup> de K x 78,20 = 391 kg/ha de K;

ou, como foi visto, 1 mmol<sub>c</sub> de K é igual a 39,102 mg (0,039102 g). Então, 5 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> = 5 x 39,102 = 195,51 mg/dm<sup>3</sup> de K = 0,19551 g/dm<sup>3</sup> de K = 0,00019551 kg/dm<sup>3</sup> de K e

$$0,00019551 \text{ kg de K} \xrightarrow{\quad} 1 \text{ kg de solo (dm}^3\text{ )}$$

$$X \xrightarrow{\quad} 2.000.000 \text{ kg de solo (1 ha de solo a 20 cm de profundidade e densidade = 1)}$$

$$X = 391 \text{ kg/ha de K.}$$

**Questão 4:** Como obter o correspondente desta quantidade de K no solo expressa em kg/ha (391 kg/ha de K), em termos de KCl (60% K<sub>2</sub>O) ?

Procedimento: Primeiramente, é preciso transformar K em K<sub>2</sub>O. Para tanto, multiplica-se a quantidade de K pelo fator 1,205.

Explicação:

A massa atômica do K = 39,102 g, portanto, 2 K = 78,204 g (ou kg, ou mg) e a massa atômica do oxigênio (O) = 15,999 g.

$$\begin{array}{rcl} 2 \text{ K} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & \text{K}_2\text{O} \\ (39,102 \times 2) & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & (39,102 \times 2) + 15,999 \\ 78,204 & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 94,203 \end{array}$$

$$X = \text{K}_2\text{O}/2 \text{ K}$$

$$X = 94,203 / 78,204 = 1,205.$$

Portanto, neste caso, 390 kg/ha de K  $\times$  1,205 = 470 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

Sabe-se que o cloreto de potássio (KCl) apresenta 60% de K<sub>2</sub>O. Então,

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg/ha de KCl} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 60 \text{ kg de K}_2\text{O} \\ X & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 470 \text{ kg de K}_2\text{O} \end{array}$$

$$X = 100 \times 470 / 60 = 783 \text{ kg/ha de KCl.}$$

Outra maneira de calcular o correspondente em KCl é multiplicar o valor de K<sub>2</sub>O pelo fator 1,666 (100/60), obtido da seguinte forma:

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg de KCl} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 60 \text{ kg de K}_2\text{O} \\ X & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 1 \text{ kg de K}_2\text{O} \end{array} \quad X = 100 \times 1 / 60 = 1,666.$$

Portanto,  $470 \text{ kg K}_2\text{O} \times 1,666 = 783 \text{ kg/ha de KCl}$

Conseqüentemente,  $5,0 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  de K na análise de solo correspondem a  $783 \text{ kg/ha de KCl}$ .

**Questão 5:** Supondo-se que o resultado da análise de potássio esteja expresso em ppm (30 ppm de K), como transformá-lo em  $\text{mmol}/\text{dm}^3$  de K?

Procedimento: Basta dividir o resultado expresso em ppm por 39,102,

$$30 \text{ ppm} / 39,102 = 0,76722 \text{ mmol}/\text{dm}^3 \text{ de K},$$

ou multiplicar pelo fator 0,025574

$$30 \text{ ppm} \times 0,025574 = 0,76722 \text{ mmol}/\text{dm}^3 \text{ de K}, \\ \text{pois foi visto que } 1 \text{ mmol}_c \text{ K} = 0,039102 \text{ g de K.}$$

$$1 \text{ mmol}/\text{dm}^3 \text{ K} \longrightarrow 0,039102 \text{ g de K}/\text{dm}^3 \text{ de terra}$$

$$X \longrightarrow 1 \text{ ppm de K} = 1 \text{ g K}/1.000.000 \text{ g de terra} = \\ 0,001 \text{ g de K}/1.000 \text{ g de terra} = 0,001 \text{ g de K}/\text{dm}^3 \text{ de terra, logo,} \\ X = 0,025574.$$

Como visto anteriormente, ppm representa o número de partes em massa do constituinte em um milhão de partes de massa da amostra. Então, 30 ppm de K correspondem a 30 g de K em 1.000.000 de g de terra.

Transforma-se em g por 1.000 g:

$$30 \text{ g K} \longrightarrow 1.000.000 \text{ g de terra (ppm)}$$

$$X \longrightarrow 1.000 \text{ g de terra (dm}^3\text{)}$$

$$X = 0,03 \text{ g K}/1.000 \text{ g de terra.}$$

Portanto, para passar de ppm (g/1.000.000 g) para g  $\text{dm}^{-3}$  (g/1.000 g), deve-se dividir os dados em ppm por 1.000.

Considerando-se a densidade do solo = 1, tem-se que 30 ppm de K = 0,03 g/1.000 g = 0,03 g/dm<sup>3</sup> de K.

Foi visto que 1 mmol<sub>c</sub> K = 0,039102 g de K. Então

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mmol}/\text{dm}^3 \text{ de K} \xrightarrow{\quad} 0,039102 \text{ g de K}/\text{dm}^3 \text{ de terra} \\ X \xrightarrow{\quad} 0,03 \text{ g de K}/\text{dm}^3 \text{ de terra} \\ X = 0,76722 \text{ mmol}_c \text{ de K}/\text{dm}^3. \end{array}$$

Portanto, 30 ppm de K = 0,76722 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de K.

**Questão 6:** Suponha-se que o resultado de análise de fósforo do solo tenha dado 3 mg/dm<sup>3</sup> (ppm) e que se pretenda elevar o teor a 10 mg/dm<sup>3</sup>. São necessários, portanto, 7 mg/dm<sup>3</sup> de P. Qual será então a quantidade de superfosfato simples para a aplicação a lanço e a incorporação na camada de 0-20 cm, como adubação fosfatada corretiva ?

Procedimento: Primeiramente, transforma-se 7 mg/dm<sup>3</sup> de P em kg/ha.

Sabe-se que:

1 dm<sup>3</sup> de terra com densidade = 1 apresenta 1.000 g ou 1.000.000 mg.

Então, 7 mg/dm<sup>3</sup> correspondem a 7 mg P em 1.000.000 mg de terra

ou

$$\begin{array}{rcl} 7 \text{ kg de P} & & 1.000.000 \text{ kg de terra} \\ \times & & 2.000.000 \text{ kg (1 ha de solo, 0-20 cm, densidade} \\ = 1) & & \end{array}$$

ou seja, 7 mg de P em 1.000.000 mg de terra equivalem a 14 kg/ha de P.

Ou, como já foi visto, pode-se multiplicar o resultado expresso em mg/dm<sup>3</sup> por 2.

Explicação:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ kg do elemento} & & 1.000.000 \text{ kg de terra} \\ \times & & 2.000.000 \text{ kg (1 ha de solo a 20 cm de} \\ & & \text{profundidade e densidade} = 1), \end{array}$$

ou seja, X = 2.

$$0,000001 \text{ kg} \longrightarrow 1 \text{ kg (mg/dm}^3\text{)}$$

$$X \longrightarrow 2.000.000 \text{ kg}$$

$$X = 2$$

Para calcular a quantidade de superfosfato simples, a seguir transforma-se kg/ha de P para kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$ :

$$2 \text{ P} \longrightarrow \cdot \text{P}_2\text{O}_5$$

$$2 \times 30,974 \longrightarrow 2 \times 30,974 + 5 \times 15,999$$

$$61,948 \text{ kg de P} \longrightarrow 141,943 \text{ kg de P}_2\text{O}_5.$$

$$14 \text{ kg de P} \longrightarrow X.$$

Logo,

$$X = 32,07 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5.$$

Ou pode-se multiplicar pelo fator 2,291, isto é,  $X = \text{P}_2\text{O}_5/2\text{P}$   
 $141,943/61,948 = 2,291$ ,

$$14 \text{ kg/ha de P} \times 2,291 = 32,07 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5.$$

Nos solos arenosos, a fixação do P é de 50% e nos argilosos, de 80%.

Supondo, no presente exemplo, que o solo seja argiloso, tem-se, portanto, eficiência de 20% do superfosfato simples. Então,

$$32,07 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \longrightarrow 20\% \text{ (80\% de fixação)}$$

$$X \longrightarrow 100\%$$

$$X = 160,4 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5.$$

O adubo superfosfato simples apresenta 20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , portanto,

$$100 \text{ kg de superfosfato simples}$$

$$X \longrightarrow 160,4 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$$

$$20 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$$

$$X = 802 \text{ kg/ha de superfosfato simples.}$$

Será então necessária a incorporação de 802 kg/ha de superfosfato simples para elevar o teor de fósforo desse solo a 10 mg/dm<sup>3</sup>.

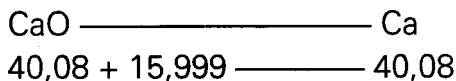
# CÁLCIO E MAGNÉSIO

**Questão 7:** Ao se aplicar uma tonelada de calcário, quantos mmol<sub>c</sub> de Ca e de Mg serão adicionados ao solo, a cada 1% de CaO e 1% de MgO?

## **Cálcio.**

Procedimento: 1% de CaO = 1 kg de CaO/100 kg de calcário  
= 10 kg de CaO/1.000 kg de calcário.

Então, primeiramente transforma-se CaO em Ca:



$$\begin{array}{lcl} 56,079 \text{ kg de CaO} & & 40,08 \text{ kg de Ca} \\ 10 \text{ kg de CaO} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & X \\ 7.147,0603 \text{ g de Ca.} & & X = 7,1470603 \text{ kg de Ca ou} \end{array}$$

Ou, usando-se o fator para transformar CaO em Ca:

$$\begin{array}{lcl} 56,079 \text{ kg de CaO} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 40,08 \text{ kg de Ca} \\ 1 \text{ kg de CaO} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & X \\ X = 40,08/56,079 = 0,714706 & & \end{array}$$

Portanto,  $10 \text{ kg de CaO} \times 0,714706 = 7,14706 \text{ kg de Ca} = 7.147,06 \text{ g de Ca.}$

A seguir transforma-se g de Ca em mmol<sub>c</sub> de Ca:

$$\begin{array}{lcl} 1 \text{ mmol}_c \text{ de Ca} & = & \text{massa atômica do Ca /valência}/1.000 = 40,08/2/ \\ 1.000 & = & 0,02004 \text{ g de Ca} \\ 1 \text{ mmol}_c \text{ de Ca} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 0,02004 \text{ g de Ca} \\ X & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 147,06 \text{ g de Ca} \\ X = 356.639,72 \text{ mmol}_c \text{ de Ca.} & & \end{array}$$

Tem-se então que, para cada 1% de CaO, a aplicação de t/ha de calcário adiciona ao solo 356.639,72 mmol<sub>c</sub> de Ca.

### **Magnésio.**

1% de MgO = 1 kg de MgO/100 kg de calcário = 10 kg de MgO/1.000 kg de calcário:

Primeiramente transforma-se MgO em Mg:

$$\text{MgO} \longrightarrow \text{Mg}$$

$$24,312 + 15,999 \longrightarrow 24,312$$

$$40,311 \text{ kg de MgO} \longrightarrow 24,312 \text{ kg de Mg}$$

$$10 \text{ kg de MgO} \longrightarrow X$$

$$X = 6,031108 \text{ kg de Mg ou } 6.031,108 \text{ g de Mg.}$$

Ou, usando-se o fator para transformar MgO em Mg:

$$40,311 \text{ kg de MgO} \longrightarrow 24,312 \text{ kg de Mg}$$

$$1 \text{ kg de MgO} \longrightarrow X$$

$$X = 24,312/40,311 = 0,6031108$$

$$10 \text{ kg de MgO} \times 0,6031108 = 6,031108 \text{ kg de Mg}$$

$$1 \text{ mmol}_c \text{ de Mg} = \text{massa atômica do Mg/valência}/1.000$$

$$1 \text{ mmol}_c \text{ de Mg} = 24,312/2/1000 = 0,012156 \text{ g de Mg}$$

$$1 \text{ mmol}_c \text{ de Mg} \longrightarrow 0,012156 \text{ g de Mg}$$

$$X \longrightarrow 6031,108 \text{ g de Mg}$$

$$X = 496.142,48 \text{ mmol}_c \text{ de Mg.}$$

Tem-se então que para cada 1% de MgO a aplicação de 1 t/ha de calcário adiciona ao solo 496.142,48 mmol<sub>c</sub> de Mg.

Para cada 1% de CaO e 1% de MgO de um corretivo, quando se aplica 1 t desse corretivo ao solo, tem-se:

$$1\% \text{ de CaO} \longrightarrow 356.639,72 \text{ mmol}_c \text{ de Ca/ha}$$

$$\begin{array}{l}
 1\% \text{ de CaO} \longrightarrow 356.639,72 \text{ mmol}_c \text{ de Ca/ha} \\
 356.639,72 \text{ mmol}_c \text{ de Ca} \longrightarrow 2.000.000 \text{ dm}^3 \text{ de terra} \\
 X \longrightarrow 1 \text{ dm}^3 \text{ de terra} \\
 X = 0,1783198 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3 \text{ de Ca.}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 1\% \text{ de MgO} \quad 496.142,48 \text{ mmol}_c \text{ de Mg/ha} \\
 496.142,48 \text{ mmol}_c \text{ de Mg} \longrightarrow 2.000.000 \text{ dm}^3 \text{ de terra} \\
 X \longrightarrow 1 \text{ dm}^3 \text{ de terra} \\
 X = 0,24807 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3 \text{ de Mg}
 \end{array}$$

Portanto, quando se aplica e se incorpora ao solo 1 t de um corretivo, na camada de 0-20 cm de profundidade, adicionam-se ao solo 0,1783198 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca e 0,24807 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Mg.

Supondo-se que se vá aplicar ao solo calcário com 24% de CaO e 15% de MgO, quantos mmol/dm<sup>3</sup> de Ca e de Mg se adicionam ao solo com a aplicação de 1 t/ha deste calcário?

$$\begin{array}{l}
 1\% \text{ de CaO} - 356.639,72 \text{ mmol}_c \text{ de Ca} \\
 24\% \text{ de CaO} - X \\
 X = 8.559.353,2 \text{ mmol}_c \text{ de Ca}
 \end{array}$$

1 ha de solo na camada de 0-20 cm, densidade = 1, corresponde a 2.000.000 dm<sup>3</sup> de terra.

$$\begin{array}{l}
 8.559.353,2 \text{ mmol}_c \text{ de Ca} \longrightarrow 2.000.000 \text{ dm}^3 \text{ de terra} \\
 X \longrightarrow 1 \text{ dm}^3 \\
 X = 4,28 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3 \text{ de Ca.}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 1\% \text{ MgO} \longrightarrow 496.142,48 \text{ mmol}_c \text{ de Mg} \\
 15\% \text{ de MgO} \longrightarrow X \quad X = 7.442.137,2 \text{ mmol}_c \text{ de Mg}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 7.442.137,2 \text{ mmol}_c \text{ de Mg} \quad 2.000.000 \text{ dm}^3 \text{ de terra} \\
 X \longrightarrow 1 \text{ dm}^3 \\
 X = 3,72 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3 \text{ de Mg}
 \end{array}$$

Então, a aplicação de 1 t/ha deste calcário fornecerá ao solo 4,28 mmol/dm<sup>3</sup> de Ca, e 3,72 mmol/dm<sup>3</sup> de Mg.

**Questão 8:** Suponha-se que se vá aplicar 3 t/ha de calcário que apresente 20% de CaO e 13% de MgO. Quantos mmol/dm<sup>3</sup> de Ca e de Mg estarão sendo adicionados ao solo ?

Procedimento:

$$100 \text{ kg de calcário} \longrightarrow 20 \text{ kg de CaO}$$

$$3.000 \text{ kg de calcário} \longrightarrow X$$

$$X = 600 \text{ kg de CaO.}$$

$$100 \text{ kg de calcário} \longrightarrow 13 \text{ kg de MgO}$$

$$3.000 \text{ kg de calcário} \longrightarrow X$$

$$X = 390 \text{ kg de MgO.}$$

Como foi visto, para transformar CaO em Ca, e MgO em Mg, usam-se os respectivos fatores: 0,714706 e 0,6031108.

Portanto:  $600 \text{ kg/ha de CaO} \times 0,714706 = 428,8 \text{ kg/ha de Ca}$ , e  $390 \text{ kg/ha de MgO} \times 0,6031108 = 235,2 \text{ kg/ha de Mg.}$

Agora transforma-se kg/ha de Ca e de Mg em g/dm<sup>3</sup>.

Tem-se 1 kg de Ca ou de Mg = 1.000 g de Ca ou de Mg

1 ha = 2.000.000 dm<sup>3</sup> de terra

$$1.000 \text{ g Ca ou de Mg} \longrightarrow 2.000.000 \text{ dm}^3 \text{ de terra}$$

$$X \longrightarrow \text{dm}^3 \text{ de terra}$$

$$X = 0,0005.$$

$$428,8 \text{ kg/ha de Ca} \times 0,0005 = 0,2144 \text{ g/dm}^3 \text{ de Ca e}$$

$$235,2 \text{ kg/ha de Mg} \times 0,0005 = 0,1176 \text{ g/dm}^3 \text{ de Mg.}$$

A seguir, transforma-se g de Ca e g de Mg em mmol<sub>c</sub>

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mmol}_c \text{ de Ca} \\ X \text{ } \xrightarrow{\hspace{1cm}} 0,02004 \text{ g de Ca} \\ X = 49,900 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{mmol}_c \text{ de Mg} \\ X \text{ } \xrightarrow{\hspace{1cm}} 0,012156 \text{ g de Mg} \\ X = 82,264 \end{array}$$

$$0,2144 \text{ g/dm}^3 \text{ de Ca} \times 49,900 = 10,70 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Ca}$$

$$0,1176 \text{ g/dm}^3 \text{ de Mg} \times 82,264 = 9,67 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Mg}$$

Ou, usando as constantes já calculadas anteriormente:

quando se aplica e se incorpora ao solo 1 t de um corretivo, na camada de 0-20 cm de profundidade, a cada 1% de CaO e 1% de MgO deste corretivo, adicionam-se ao solo 0,1783198 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca e 0,24807 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Mg.

Portanto,

$$3 \text{ t} \times 20\% \text{ de CaO} \times 0,1783198 \text{ de Ca} = 10,70 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Ca}$$

$$3 \text{ t} \times 13\% \text{ de MgO} \times 0,24807 \text{ de Mg} = 9,67 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3 \text{ de Mg.}$$

As Tabelas 1 e 2 trazem transformações de unidades que possibilitam reduzir o tempo gasto na solução de problemas de cálculos. A Tabela 1 traz os fatores multiplicativos para transformação de resultados analíticos que envolvem g/100 g, mg/100 g, ppm (mg/dm<sup>3</sup>), kg/ha e t/ha. A Tabela 2 traz fatores de conversão que envolvem mmol<sub>c</sub>, gramas na forma elementar, óxido e radical para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

Tabela 1. Fatores multiplicativos de transformação dos resultados analíticos do solo, quando expressos em g/100 g (percentagem), mg/100 g, ppm, kg/ha ou t/ha.

Expressão a transformar	g/100 g	mg/100 g	ppm (mg/dm <sup>3</sup> )	kg/ha*	t/ha*
g/100 g	1	1000	10.000	20.000	20
mg/100 g	0,001	1	10	20	0,02
ppm	0,0001	0,1	1	2	0,002
kg/ha	0,00005	0,05	0,5	1	0,001
t/ha	0,05	50	500	1.000	1

\*Considerando-se 1 ha de 2.000 t de terra (profundidade de 20 cm e densidade aparente = 1).

(Fonte: adaptado de Verdade, 1963).

atores para conversão entre as unidades e representantes macronutrientes primários e secundários\*.

Elemento	Unidade conhecida	mmol <sub>c</sub>	Forma elementar	Forma de óxido	Forma de radical	Forma de sal
Nitrogênio	mmol <sub>c</sub>	mmol <sub>c</sub>	g N	g NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> **	g NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	mmol <sub>c</sub>	1	0,01401	0,06201	0,01804	
	g N	71,377	1	4,42680	1,28783	
	g NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16,126	0,22589	1	0,29092	
	g NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	55,432	0,77650	3,43740	1	
Fósforo	mmol <sub>c</sub>	mmol <sub>c</sub>	g P	g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	g PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	
	mmol <sub>c</sub>	1	0,01032	0,02367	0,03166	
	g P	96,899	1	2,29136	3,06618	
	g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42,265	0,43642	1	1,33812	
	g PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	31,589	0,32614	0,74732	1	
Potássio	mmol <sub>c</sub>	mmol <sub>c</sub>	g K	g K <sub>2</sub> O		
	mmol <sub>c</sub>	1	0,03909	0,04709		
	g K	25,582	1	1,20458		
	g K <sub>2</sub> O	21,236	0,83016	1		
Cálcio	mmol <sub>c</sub>	mmol <sub>c</sub>	g Ca	g CaO		g CaCO <sub>3</sub>
	mmol <sub>c</sub>	1	0,02004	0,02804		0,05004
	g Ca	49,900	1	1,39920		2,49726
	g CaO	35,663	0,71470	1		1,78477
	g CaCO <sub>3</sub>	19,984	0,40044	0,56023		1
Magnésio	mmol <sub>c</sub>	mmol <sub>c</sub>	g Mg	g MgO		g Mg CO <sub>3</sub>
	mmol <sub>c</sub>	1	0,01215	0,02015		0,06807
	g Mg	82,304	1	1,65807		4,24588
	g MgO	49,628	0,60311	1		1,41724
	g Mg CO <sub>3</sub>	23,719	0,28833	0,47807		1
Enxofre	mmol <sub>c</sub>	mmol <sub>c</sub>	g S	—	g SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	g CaSO <sub>4</sub>
	mmol <sub>c</sub>	1	0,01603	—	0,04803	0,06807
	g S	62,375	1	—	2,99588	4,24588
	g SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	20,820	0,33379	—	1	1,41724
	g CaSO <sub>4</sub>	14,691	0,23552	—	0,70560	1

\*Estes fatores, exceto mmol<sub>c</sub>, podem ser usados em outras unidades de peso.

\*\*Não é óxido, mas, sim, radical.

(Fonte: adaptado de Verdade, 1963).

VERDADE, F. C. Representação e conversão dos constituintes do solo, dos adubos e das cinzas das plantas. Campinas: Instituto Agronômico, 1963. 16p. (Boletim Técnico).