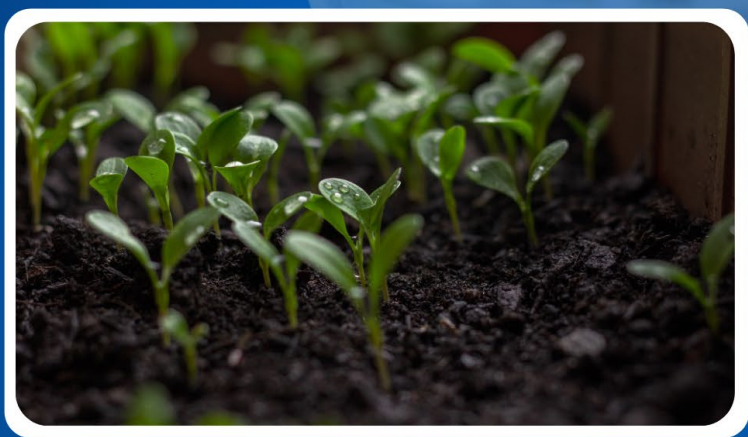


Transformações de Unidades em Química e Fertilidade do Solo



Conceitos Básicos e Aplicações

ARILENE FRANKLIN CHAVES
NATANAEL SANTIAGO PEREIRA



2022

Transformações de Unidades em Química e Fertilidade do Solo



Conceitos Básicos e Aplicações

ARILENE FRANKLIN CHAVES
NATANAEL SANTIAGO PEREIRA



2022

Editora Chefe

Patrícia Gonçalves de Freitas

Editor

Roger Goulart Mello

2022 by Editora e-Publicar **Diagramação**

Copyright © Editora e-Publicar Roger Goulart Mello

Copyright do Texto © 2022 Os autores Dandara Goulart Mello

Copyright da Edição © 2022 Editora e-Publicar **Projeto gráfico e Edição de Arte**

Direitos para esta edição cedidos Patrícia Gonçalves de Freitas

à Editora e-Publicar pelos autores **Revisão**

Os autores

TRANSFORMAÇÕES DE UNIDADES EM QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO: CONCEITOS BÁSICOS E APLICAÇÕES.

Todo o conteúdo desta obra, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais.

A Editora e-Publicar não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Conselho Editorial

Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade Federal de Santa Catarina

Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense

Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia

Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Cristiana Barcelos da Silva – Universidade do Estado de Minas Gerais

Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina

Daniel Ordane da Costa Vale – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes

Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco

Deivid Alex dos Santos - Universidade Estadual de Londrina

Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Edilene Dias Santos - Universidade Federal de Campina Grande

Edwaldo Costa – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás

Fábio Pereira Cerdera – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Francisco Oricelio da Silva Brindeiro – Universidade Estadual do Ceará
Glaucio Martins da Silva Bandeira – Universidade Federal Fluminense
Helio Fernando Lobo Nogueira da Gama - Universidade Estadual De Santa Cruz
Inaldo Kley do Nascimento Moraes – Universidade CEUMA
Jesus Rodrigues Lemos - Universidade Federal do Delta do Parnaíba
João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Jordany Gomes da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Jucilene Oliveira de Sousa – Universidade Estadual de Campinas
Luana Lima Guimarães – Universidade Federal do Ceará
Luma Mirely de Souza Brandão – Universidade Tiradentes
Marcos Pereira dos Santos - Faculdade Eugênio Gomes
Mateus Dias Antunes – Universidade de São Paulo
Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Naiola Paiva de Miranda - Universidade Federal do Ceará
Rafael Leal da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rita Rodrigues de Souza - Universidade Estadual Paulista
Rodrigo Lema Del Rio Martins - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Willian Douglas Guilherme - Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P436t Pereira, Natanael Santiago.
 Transformações de unidades em química e fertilidade do
 solo [livro eletrônico] : conceitos básicos e aplicações / Natanael
 Santiago Pereira, Arilene Franklin Chaves. – Rio de Janeiro, RJ:
 e-Publicar, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5364-076-4
DOI 10.47402/ed.ep.b202216190764

1. Fertilidade do solo. 2. Química do solo. 3. Adubação.
I. Chaves, Arilene Franklin. II. Título.

CDD 361.42

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Editora e-Publicar
Rio de Janeiro, Brasil
contato@editorapublicar.com.br
www.editorapublicar.com.br



2022

Apresentação

A interpretação dos resultados de análises e o impacto dos estudos divulgados tem relação direta com o sistema de unidades utilizado. Portanto, a utilização de diferentes unidades em resultados analíticos com amostras de solo, material vegetal, fertilizantes e corretivos em materiais didáticos pode dificultar a socialização do conhecimento em ciências do solo.

Assim, a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), em 1993, aprovou a adoção do Sistema Internacional de Unidades (SI). O mesmo já sido regulamentado no Brasil desde 1980, pelo Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM).

Muitas das unidades antes utilizadas, por serem conceitualmente obsoletas ou ambíguas, foram substituídas, apesar das dificuldades e resistências, características de qualquer mudança e/ou modernização. Faz necessário, então, que o profissional de ciências agrárias saiba utilizar os conceitos básicos de química e fertilidade do solo e as transformações necessárias entre os sistemas de unidades, para utilizar em suas interpretações e tomadas de decisão.

Nesse sentido, o Grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão do Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (GEPEX-LABSAT) do IFCE-Campus Limoeiro do Norte, criado em 2017, tem primado pela orientação, viabilização e realização de ações de ensino, pesquisa e extensão junto aos produtores rurais e estudantes na área de Ciências Agrárias.

Este material foi originalmente idealizado como subsídio ao curso online de Utilização do sistema internacional de unidades em química e fertilidade do solo, ofertado em 2020, com o objetivo de fornecer aos participantes conhecimentos básicos sobre conceitos e cálculos envolvendo a transformação de unidades, adotando como padrão as unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), na química e fertilidade do solo.

Assim, com este material espera-se fornecer um instrumental mínimo para utilização prática dos conceitos de química e fertilidade do solo em transformações de unidades. O aprofundamento nos temas abordados é assunto de um curso mais amplo na área de química e fertilidade do solo, fugindo, portanto, ao escopo deste material.

No capítulo final são apresentadas as fontes bibliográficas, as quais podem ser utilizadas para consulta e aprofundamento teórico.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| Apresentação | 5 |
| 1 Considerações teóricas | 9 |
| 1.1 Conceitos básicos sobre química do solo | 9 |
| 1.2 Representação de unidades no SI..... | 12 |
| 1.3 Expressão de resultados | 15 |
| 2 Transformação de unidades na química e fertilidade do solo..... | 19 |
| 3 Referências Bibliográficas | 32 |
| Os autores | 35 |

1 Considerações teóricas

A seguir são apresentados alguns conceitos básicos de química e fertilidade do solo, para melhor compreensão das transformações e unidades de medidas utilizadas, que serão discutidas mais à frente.


1.1 Conceitos básicos sobre química do solo

No solo, a liberação e retenção de nutrientes depende principalmente das propriedades de troca iônica, a qual ocorre na superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica (trocadores de íons).

De forma geral, os fenômenos de troca têm maior relevância para cátions, devido ao saldo negativo de cargas elétricas na superfície dos trocadores de íons. Essa propriedade é chamada de capacidade de troca de cátions, ou CTC.

A troca de cátions (íons ou moléculas de carga positiva) obedece ao princípio da equivalência (PRIMAVESI & PRIMAVESI, 2000), em que a quantidade de carga trocada é substituída por valor equivalente na superfície dos argilominerais e da matéria orgânica. Essas quantidades são representadas em números de mol¹ e, por tratar-se de carga, usa-se mol_c (mol de carga). Para resultados de análise de solo, usa-se,

¹ 1 mol equivale a aproximadamente $6,022 \times 10^{23}$ unidades (número de Avogadro), podendo ser moléculas, elementos, etc.



geralmente, o seu submúltiplo, mmol_c (milimol de carga), que equivale a um milionésimo de mol de carga.

A retenção de íons na superfície dos argilominerais e da matéria orgânica do solo é chamada de adsorção. Os íons adsorvidos estão em equilíbrio dinâmico com a solução do solo, regulando a liberação dos nutrientes para esta, à medida que são absorvidos pelas plantas. Quantitativamente, os cátions mais associados com o processo de adsorção no solo são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H^+ , K^+ , Na e NH_4^+ (NOVAIS & MELLO, 2007).

Observe que um mol de Ca irá neutralizar dois moles de cargas negativas, devido a sua valência ser igual a 2. Assim, podemos dizer que 1 mmol de Ca tem 2 mmol_c de Ca e, dessa forma, para substituí-lo no complexo de troca de solo, seriam necessários 2 mmol de K, ou 2 mmol_c de K, já que este tem valência igual a 1. A intensidade com que ocorrem essas trocas depende de vários fatores, incluindo a força de atração dos íons.

Tomando novamente o exemplo do íon Ca^{2+} - como a massa molar do Ca é de aproximadamente 40 mg mmol^{-1} , pode-se dizer que se tem o equivalente a 20 mg para cada mmol_c de Ca.

O valor da divisão entre a massa molar do elemento e a sua valência pode ser chamado de massa equivalente do íon (Tabela 1).

Tabela 1 – Moles de carga, massas molares e equivalente de alguns dos principais elementos associados com trocas iônicas no solo*.

| Elemento | mol de carga | Massa molar (g mol ⁻¹) | Massa equivalente (g mol ^{c-1}) |
|--|--------------|---------------------------------------|---|
| Ca ²⁺ | 2 | 40,0 | 20 |
| Mg ²⁺ | 2 | 24,3 | 12,15 |
| K ⁺ | 1 | 39,1 | 39,1 |
| Na ⁺ | 1 | 23,0 | 23,0 |
| Al ³⁺ | 3 | 27,0 | 9 |
| N-NH ₄ ⁺ ou N-NO ₃ ⁻ | 1 | 14,0 | 14 |

* N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ expressam o elemento N nas formas químicas de NH₄⁺ e NO₃⁻, respectivamente.

Esse conceito é bastante útil na transformação de quantidades expressas em termos de massa para quantidade de carga e, pelo fato das reações de troca iônica ocorrerem com base no número de cargas elétricas, ou número de equivalentes, utilizou-se por muito tempo o termo meq (ou miliequivalente, meq), no lugar de mmol_c, em resultados de análise de solo.

Para exemplificar, considere que um determinado solo contém em sua camada superficial, 440 mg por dm³ de Ca. Ao dividir este valor pela massa equivalente do íon Ca²⁺ e procedendo-se a análise dimensional, tem-se o valor a 22 mmol_c dm⁻³ (ou 22 meq dm⁻³, na unidade antiga):

$$\frac{440 \text{ mg}}{\text{dm}^3} \times \frac{1}{\frac{20 \text{ mg}}{\text{mmol}_c}} = \frac{440 \cancel{\text{mg}}}{\text{dm}^3} \times \frac{\text{mmol}_c}{20 \cancel{\text{mg}}} = \frac{22 \text{ mmol}_c}{\text{dm}^3}$$

Em suma, para a conversão do numerador de mg para mmol_c, basta dividir pela massa equivalente; ou multiplicar, se no sentido inverso (Tabela 1).

A expressão completa dos resultados depende das unidades com que se pretende trabalhar. Por exemplo, como 1 dm^3 equivale a 1000 cm^3 , substituindo este no denominador e, dividindo-se ambos numerador e denominador por 10, tem-se o resultado expresso em mmol_c por 100 cm^3 :

$$\frac{22 \text{ mmol}_c}{\text{dm}^3} = \frac{22 \text{ mmol}_c \div 10}{1000 \text{ cm}^3 \div 10} = \frac{2,2 \text{ mmol}_c}{100 \text{ cm}^3}$$

Diferentes unidades têm sido adotadas pelos laboratórios de análises de solo, dependendo do elemento representado e da região, ou mesmo dentro desta, demandando a troca das tabelas de referências ou o uso de transformações de unidades, tal como demonstrado acima.

Seguindo a tendência de padronização na expressão de resultados, muitos laboratórios têm passado a adotar parcial ou totalmente o Sistema Internacional de Unidades (SI), porém, ainda há certa resistência à uniformização das representações, demandando, dessa forma, conhecimento básicos sobre a transformação de unidades.

1.2 Representação de unidades no SI

O Sistema Internacional de Unidades (SI) é como chamamos o que era antes denominado sistema métrico, sendo um conjunto definido de unidades de

medida que visa padronizar e facilitar as aferições. As unidades básicas do SI são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Unidades básicas do SI¹

| Grandeza | Unidade | Símbolo |
|----------------------------------|----------------|---------------------|
| Comprimento | metro | m |
| Massa | quilograma | kg |
| Tempo | segundo | s |
| Corrente elétrica | ampere | A |
| Temperatura termodinâmica | kelvin | K |
| Quantidade de matéria/substância | mol | mol ^[12] |
| Intensidade luminosa | candela | cd |

¹Fonte: Adaptado de <https://pt.wikipedia.org/>.

A partir das unidades básicas e suplementares (utilizadas para ângulos – não apresentadas aqui), são obtidas as unidades derivadas, ou seja, que podem ser obtidas por divisão e multiplicação das primeiras, como m², para área, m s⁻¹, para velocidade, etc.

No Brasil, os padrões nacionais são amparados pelo Laboratório Nacional de Metrologia (LNM), o qual é vinculado ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), cabendo ao mesmo também a divulgação das unidades do SI (RAIJ et al., 2001). O quadro geral atualizado das unidades do SI pode ser encontrado na Portaria 590, de 02 de fevereiro de 2013 (BRASIL, 2013).

Por conveniência, o uso de algumas unidades não pertencentes ao SI tem sido aceitas, embora com restrições, como litro (L), tonelada (t), etc., enquanto outras tem seu uso desaconselhado. No SI, a molaridade

pode ser expressa como mol m⁻³, sendo aceitos também seus múltiplos (RAIJ, 2001). A fim de adequar as unidades à escala de valores, tem-se adotado os prefixos oficiais do SI, dos quais alguns são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Alguns dos múltiplos e submúltiplos de unidades do SI e suas representações.

| Símbolo | Prefixo | Valor | Símbolo | Prefixo | Valor |
|---------|-----------|-----------------|---------|--------------|------------------|
| ----- | Múltiplos | ----- | ----- | Submúltiplos | ----- |
| G | giga | 10 ⁹ | d | deci | 10 ⁻¹ |
| M | mega | 10 ⁶ | c | centi | 10 ⁻² |
| k | quilo | 10 ³ | m | mili | 10 ⁻³ |
| h | hecto | 10 ² | μ | micro | 10 ⁻⁶ |
| da | deca | 10 ¹ | n | nano | 10 ⁻⁹ |

Fonte: Adaptado de <https://pt.wikipedia.org/>.

Como 1 tonelada equivale a 1.000.000 g, ou 10⁶ g, esta pode ser representada como 1 Mg. Assim, deve-se ter cautela nas interpretações, analisando o contexto, para não confundir com o símbolo do elemento magnésio.

Ao utilizar mol, deve-se especificar a unidade elementar a que se refere, adotando-se, na prática, mol_c, ou seus submúltiplos (como mmol_c, em resultados de análise de solo), para expressar os teores de uma base trocável¹, por exemplo (ALVAREZ & ALVAREZ, 2008).

¹ O subscrito c tem sido amplamente empregado em publicações científicas em ciências do solo, apesar de subscritos não estarem previstos no SI [as formas preferidas seriam 10 mmol (1/2 Ca²⁺) dm⁻³, 1 mmol (K⁺) dm⁻³, etc., dependendo do íon] (RAIJ, 2001).

1.3 Expressão de resultados

A sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) tem contribuído para a adequação da Ciência do Solo ao SI, ao oficializar em 1993, no XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, em Goiânia, o uso do SI em suas publicações e eventos (CANTARELA, 1993). Assim, passou-se a adotar o mmol_c por dm^3 no lugar de meq por 100 cm^3 . Pode-se verificar que este último equivale a cmol_c por dm^3 , o que deve explicar o fato de alguns laboratórios brasileiros utilizarem o cmol_c por dm^3 . Observe a análise dimensional abaixo:

$$\frac{\text{meq}}{100 \text{ cm}^3} = \frac{\text{mmol}_c}{100 \text{ cm}^3} = \frac{10 \text{ mmol}_c}{1000 \text{ cm}^3} = \frac{10 \text{ mmol}_c}{\text{dm}^3} = \frac{\text{cmol}_c}{\text{dm}^3}$$

Porém, como $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ equivale a $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, esta última parece ser mais adequada à realidade para expressão da magnitude dos valores de bases trocáveis no solo - uma das regras adotadas para utilização de unidades é de se utilizar o prefixo que permita indicar valores numéricos entre 0,1 e 999, para harmonizar estes com as unidades (ALVAREZ & ALVAREZ, 2008). Além disso, a SBCS adota o $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Outras regras adotadas nas rotinas de análises de solo para adequação ao SI e padronização na expressão dos resultados incluem o uso de (BATISTA & CORDEIRO, 1998):

- ✓ dm^3 para sólidos e l para líquidos;

- ✓ expoentes negativos para representar denominador, utilizando, por exemplo, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no lugar de $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$;
- ✓ combinação de unidades, no lugar de %, exceto para índices utilizados em representações de conteúdos, como saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V);
- ✓ mg dm^{-3} para resultados antes expressos como ppm, ou $\mu\text{g dm}^{-3}$, como P, micronutrientes e S-SO₄;
- ✓ g dm^{-3} ou g kg^{-1} para resultados de matéria orgânica (MO), podendo eventualmente utilizar dg dm^{-3} ou dg kg^{-1} , no lugar de %;
- ✓ O número máximo de casas dependerá do nível de precisão do método de determinação adotado nas aferições (...).

Vale ressaltar que os resultados de análise de solo podem vir expressos com base em volume (dm^3) ou em massa (kg) de terra fina seca ao ar (TFSA) ou em estufa (TFSE), dependendo da finalidade dos resultados e do nível de precisão demandado. Para análises para fins de avaliação da fertilidade do solo é mais comum a expressão com base em volume, por sua aferição ser mais prática, na rotina laboratorial.

Deve-se ter cautela com unidades como % (porcentagem) e ppm (partes por milhão), tanto por não serem unidades do SI, como por serem ambíguas, uma vez que pode referir-se tanto a relações massa/massa (m/m), como dg kg^{-1} e mg kg^{-1} ; ou massa/volume (m/v), como dg dm^{-3} e mg dm^{-3} . Alguns

fatores de conversão de unidades antigas para o SI são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores para conversão de unidades para o SI¹.

| Unidade anterior | Unidade SI | Fator de transformação |
|---|--|------------------------|
| % (m/m ou m/v) | g kg ⁻¹ ; g dm ⁻³ ; g L ⁻¹ | 10 |
| ppm (m/m ou m/v) | mg kg ⁻¹ ; mg dm ⁻³ ; mg L ⁻¹ | 1 |
| meq (100g) ⁻¹ | mmol _c kg ⁻¹ | 10 |
| meq (100cm ³) ⁻¹ | mmol _c dm ⁻³ | 10 |
| meq L ⁻¹ | mmol _c L ⁻¹ | 1 |
| mmho cm ⁻¹ | dS m ⁻¹ | 1 |

¹Conversão da esquerda para a direita, multiplicando-se pelo fator.

Fonte: Adaptado de Raij et al., 2001.

Você mesmo(a) pode encontrar esses fatores, ao fazer a análise dimensional. Para o caso de representações fracionais, isto é, que fazem referência a proporção de conteúdos, não há que se converter as unidades, a exemplo da saturação por bases da CTC do solo – V (%), mencionada anteriormente.

Cálculos e transformações relacionadas a adubos e adubações também fazem parte do escopo do presente material. Nesse contexto, incluem-se as recomendações de manejo de solo, as quais tem por base os resultados de análise de solo e referências para interpretação e recomendações de adubação, as quais iremos apenas ilustrar com exemplos.

Por força de lei, as concentrações de alguns elementos em fertilizantes são feitas não na sua forma química, mas na forma de óxidos, como P₂O₅ (pentóxido de fósforo), K₂O (óxido de potássio) para P (fósforo) e K (potássio), respectivamente.

A expressão na forma de óxidos pode ser associada aos métodos antigos de determinação de

nutrientes em material orgânico, em que aqueles que não eram volatilizados quando submetidos a altas temperaturas, transformavam-se em óxidos. Nos cálculos e estimativas para recomendação de adubação e em suas tabelas de referência, os quantitativos desses elementos também têm sido expressos na forma de óxidos, com exceção de cálculos para solução de nutrientes em sistemas hidropônicos, para os quais utiliza-se a forma elementar.

Assim, um material que possui 30 % de P_2O_5 teria apenas 13,1 % de P, aproximadamente, mas usa-se o primeiro valor nos cálculos de adubação, tendo em vista que tanto os manuais de recomendação, como as garantias dos fertilizantes potássicos e fosfatados têm sido expressas na forma de óxidos¹. Alguns fatores de transformação podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores de transformação¹ para formas da forma elementar para óxidos.

| Forma de óxidos | Forma elementar | Fator de transformação |
|-----------------|-----------------|------------------------|
| P_2O_5 | P | 0,436 |
| K_2O | K | 0,830 |
| CaO | Ca | 0,715 |
| MgO | Mg | 0,603 |
| SO_3 | S | 0,400 |

¹Multiplicação, da esquerda para a direita. Fonte: Adaptado de IN 39/2018, Art. 5º.

Esses fatores (Tabela 5) podem ser obtidos a partir das massas molares do respectivo nutriente e do

¹ A IN 39/2018 do MAPA, no seu Art. 5º faculta a expressão da forma elementar entre parênteses de P e K, após a indicação obrigatória, na forma de óxidos, em fertilizantes minerais. Também prevê a expressão do Cálcio, Magnésio e Enxofre sob a forma de óxidos (CaO , MgO e SO_3), opcionalmente, além da indicação obrigatória.

oxigênio (16 g mol^{-1}). Ex.: A massa molar do P é 31 g mol^{-1} . Como o P_2O_5 tem duas moléculas de P e 5 de O, um mol da mesma teria 142 g ($2 \times 31 + 5 \times 16$). E para cada 142 g de P_2O_5 , há 62 g de P (2×31). Assim, há $0,436 \text{ g}$ de P para cada 1 g de P_2O_5 :

$$\frac{62 \text{ g de P}}{142 \text{ g de P}_2\text{O}_5} = \frac{0,436 \text{ g de P}}{1 \text{ g de P}_2\text{O}_5}$$

2 Transformação de unidades na química e fertilidade do solo

A seguir, são apresentados exercícios resolvidos, exemplificando transformações comuns em química e fertilidade do solo, com algumas aplicações em manejo de solo e água.

Exercício 1 - Em um laudo de análise de solo é apresentado um valor de K trocável de 88 ppm (massa/volume). Expresse esse valor em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

88 ppm (m/v) corresponde a 88 mg dm^{-3} . Neste caso, é só dividir pela massa molar do K para obter o resultado em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, já que o K^+ tem valência 1:

$$1 \text{ mmol de K} = 1 \text{ mmol}_c \text{ de K} \rightarrow 39,1 \text{ mg}$$

$$x \rightarrow 88 \text{ mg (em } 1 \text{ dm}^3)$$

$$x = \frac{88}{39,1} = 2,25 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$$

1 $cmol_c$ de K \rightarrow 10 $mmol_c$

$x \rightarrow 2,25 mmol_c$ (em 1 dm^3)

$$x = \frac{2,25}{10} = 0,225 \cong 0,23 cmol_c dm^{-3}.$$

Exercício 2 - O teor de Matéria Orgânica em um solo é de 2 % (massa/massa), na camada de 0 a 20 cm. Considerando que esta tem 58% de Carbono (C) e que a relação C/N no solo é de 10/1, qual q quantidade por hectare de N orgânico? (Considere a densidade do solo igual a 1,3 $kg dm^{-3}$).

1 % (m/m) é o mesmo que:

$$\frac{1 g}{100 g} = \frac{10 g}{1000 g} = \frac{10 g}{kg}$$

Para expressar a concentração por unidade de volume é preciso multiplicar pela densidade :

$$\frac{10 g}{kg} \times \frac{1,3 kg}{dm^3} = \frac{13 g}{dm^3}$$

1 ha na camada de 0,20 m corresponde a um volume de:

$$10.000 m^2 \times 0,20 m = 2.000 m^3 = 2.000.000 dm^3$$

Assim, o total de matéria orgânica em 1 ha é de :

$$\frac{13 g}{dm^3} \times 2.000.000 dm^3 = 26.000.000 g = 26.000 kg$$

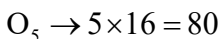
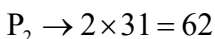
O total de Carbono Orgânico é igual a

$$26.000 \text{ kg ha}^{-1} \times \frac{58}{100} = 15.080 \text{ kg ha}^{-1}$$

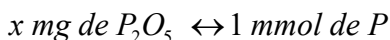
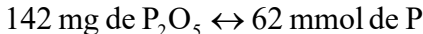
Como a relação C/N é de 10/1, então:

$$\frac{10}{1} = \frac{15.080}{N} \Rightarrow N = \frac{15.080}{10} = 1.508 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N orgânico.}$$

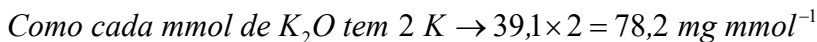
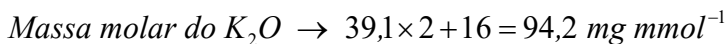
Exercício 3 - Deduza os fatores de transformação de P para P_2O_5 ; e de K para K_2O , quanto às relações de massa.



$$142 \text{ mg mol}^{-1}$$



$$x = \frac{142}{62} = 2,29 \text{ (fator de P para } P_2O_5)$$



Então:

$$\frac{94,2}{78,2} = 1,205 \text{ é o fator de K para } K_2O.$$

Exercício 4 - Suponha que para determinada cultura, a proporção K/Na nas folhas deve ser maior que 3/1, para que não ocorram perdas de produtividade. Verifique se essa exigência foi atendida, sabendo que foram constatados teores foliares de 2,5 % (m/m) e de 2000 ppm (m/m) para K e Na, respectivamente.

A concentração de K, no SI pode ser expressa como :

$$\frac{2,5 \text{ g}}{100 \text{ g}} = \frac{25 \text{ g}}{1000 \text{ g}} = \frac{25 \text{ g}}{\text{kg}} \text{ ou } 25 \text{ g kg}^{-1}$$

Expressando o Na na mesma unidade, tem-se:

$$\frac{2000 \text{ mg}}{\text{kg}} = \frac{2000 \times 10^{-3} \text{ g}}{\text{kg}} = \frac{2 \text{ g}}{\text{kg}} \text{ ou } 2 \text{ g kg}^{-1}$$

A relação K/N é $\frac{25}{2} = 12,5/1$ que é maior que 3/1, portanto, a exigência foi atendida.

Exercício 5 - Calcule quantos mol_e de Ca e de Mg foram adicionados ao solo por tonelada de calcário aplicada e incorporada à camada de 20 cm solo, em 1ha. Considere que trata-se de calcário (CaCO₃) puro.

$$\text{Ca} \rightarrow 40$$

$$\text{C} \rightarrow 12$$

$$\text{O}_3 \rightarrow 3 \times 16 = 48$$

total : 100 g em 1 mol CaCO₃

Assim, tem - se 40 g de Ca em 100 g de CaCO_3 (ou 40% de Ca)
 Como a massa molar do CaO é 56 g mol^{-1} e a do Ca é 40 g mol^{-1} ,
 para obter a proporção de CaO no CaCO_3 , faz - se :

$$\frac{40 \text{ g de Ca}}{100 \text{ g de CaCO}_3} \times \frac{\text{CaO}}{\text{Ca}} = \frac{40 \text{ g de Ca}}{100 \text{ g de CaCO}_3} \times \frac{56 \text{ g de CaO}}{40 \text{ g de Ca}} =$$

$$= \frac{56 \text{ g de CaO}}{100 \text{ g de CaCO}_3} \text{ ou } 56 \% \text{ de CaO no calcário.}$$

$$1000 \text{ kg} \times \frac{56}{100} = 560 \text{ kg de CaO}$$

Massa molar do CaO : $40 + 16 = 56 \text{ mg mol}^{-1}$,

dos quais 40 g é de Ca. Assim :

$$56 \text{ kg de CaO} \leftrightarrow 40 \text{ kg de Ca}$$

$$560 \text{ kg de CaO} \leftrightarrow x \text{ kg de Ca}$$

$$x = \frac{40 \times 560}{56} = 400 \text{ kg de Ca}$$

O volume de 1ha na profundidade de 0,20 m :

$$10.000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 2.000 \text{ m}^3 .:$$

O acréscimo de CaO no solo, em mg dm^{-3} será de :

$$\frac{400 \text{ kg}}{2000 \text{ m}^3} = \frac{400 \times 10^6 \text{ mg}}{2 \times 10^6 \text{ dm}^3} = \frac{200 \text{ mg}}{\text{dm}^3}$$

40 mg de Ca = 1 mmol = 2 mmol_c

Assim, tem-se $\frac{40}{2} = 20 \text{ mg mmol}_c^{-1}$ de Ca;

20 mg \leftrightarrow 1 mmol_c

200 mg \leftrightarrow x

$x = \frac{200}{20} = 10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca = 1 cmol_c dm⁻³ de Ca.

Exercício 6 - Qual a concentração de N, em g L⁻¹, em uma solução contendo 11 mol m⁻³ desse elemento? (Massa molar do N = 14 g mol⁻¹).

$$\frac{11 \text{ mol}}{\text{m}^3} \times \frac{14 \text{ g}}{\text{mol}} = \frac{154 \text{ g}}{\text{m}^3} = \frac{154 \text{ g}}{1000 \text{ L}} = 0,154 \text{ g L}^{-1} \text{ de N}$$

Exercício 7 - Qual teor de K espera-se obter no solo ao se incorporar uniformemente na camada superficial (0-20 cm) 100 kg de K₂O em um hectare. Considere que em uma análise prévia foi constatado um teor de 2 mmol_c dm⁻³ de K para a referida camada. (1 mmol de K = 39,1 mg).

1 mol de K₂O \rightarrow 2 mol de K

94,2 kg 78,2 kg

100 kg \leftrightarrow x

$x = \frac{7820}{94,2} = 83,01 \text{ kg de K (em 1 ha)}$

Considerando que a camada de 0,20 m em 1 ha corresponde a $0,20 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 2.000 \text{ m}^3 = 2.000.000 \text{ dm}^3$ ou $2 \times 10^6 \text{ dm}^3$, tem-se:

$$\frac{83,01 \times 10^6 \text{ mg}}{2 \times 10^6 \text{ dm}^3} = \frac{83,01 \text{ mg}}{2 \text{ dm}^3} = 41,51 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de K}$$

$$\frac{41,51 \text{ mg dm}^{-3}}{39,1 \text{ mg mmol}^{-1}} = 1,06 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ de K}$$

Multiplicando o resultado por 1 (valência do íon K^+), tem-se $1,06 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K.:

Assim, estima-se que o teor de K após a adubação será de $2 + 1,06 = 3,06 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K

Exercício 8 - Qual teor de P espera-se obter em um argissolo de textura arenosa (SOLO A) e em um Cambissolo de textura argilosa (SOLO B) ao se incorporar uniformemente na camada superficial (0-30 cm) 100 kg de P_2O_5 em um hectare. Considere que em análises prévias verificaram-se teores de 10 mg dm^{-3} de P no SOLO A e de 5 mg dm^{-3} de P no SOLO B (extrator Mehlich-1) para a camada de 0-30 cm e que a eficiência de recuperação do P do solo pelo extrator é de 50 % no SOLO A e de 30 % no SOLO B.

SOLO A:

1 mol de $\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow 2 \text{ mol de P}$

142 kg 62 kg

100 kg ↔ x

$$x = \frac{6200}{142} = 43,66 \text{ kg de P (em 1 ha)}$$

Considerando que a camada de 0,30 m em 1 ha corresponde a $0,30 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 3.000 \text{ m}^3 = 3.000.000 \text{ dm}^3$ ou $3 \times 10^6 \text{ dm}^3$, tem-se:

$$\frac{43,66 \times 10^6 \text{ mg}}{3 \times 10^6 \text{ dm}^3} = \frac{43,66 \text{ mg}}{3 \text{ dm}^3} = 14,55 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de P}$$

Como no SOLO A, a eficiência de recuperação pelo extrator utilizado na análise é de 50%, tem-se:

$$14,55 \times \frac{50}{100} = 7,28 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de P}$$

Assim, estima-se que o teor de P após a adubação no SOLO A será de:

$$10 + 7,28 = 17,28 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de P}$$

SOLO B:

Como no SOLO B, a eficiência de recuperação pelo extrator utilizado na análise é de 30%, tem-se:

$$14,55 \times \frac{30}{100} = 4,37 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de P}$$

Assim, estima-se que o teor de P após a adubação no SOLO B será de:

$$5 + 4,37 = 9,37 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de P}$$

Exercício 9 - Suponha que uma determinada cultura extrai cerca de 5 kg ha^{-1} de Magnésio (Mg), durante o seu ciclo. Considerando que a cultura será irrigada com água contendo $0,2 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Mg, sendo o consumo de água durante o seu ciclo estimado em 300 mm . Verifique se o Mg provido pela água de irrigação é suficiente para o atendimento da demanda do nutriente pela cultura, considerando que não há fatores limitantes à sua absorção. (1 mmol de Mg = $24,3 \text{ mg}$).

Em 1 ha (10.000 m^2), uma lâmina de 300 mm corresponde a $300 \times 10^{-3} \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 3.000 \text{ m}^3$ ou $3 \times 10^6 \text{ L}$ (ou dm^{-3})

Estimativa de Mg adicionado via água de irrigação em 1 ha:

$$3 \times 10^6 \text{ L} \times 0,2 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1} = 0,6 \times 10^6 \text{ mmol}_c$$

Como 1 mmol de Mg tem 2 mmol_c do íon Mg^{2+} , tem-se:

$$1 \text{ mmol} \rightarrow 2 \text{ mmol}_c$$

$$\underline{x \rightarrow 0,6 \times 10^6 \text{ mmol}_c}$$

$$x = \frac{0,6 \times 10^6}{2} = 0,3 \times 10^6 \text{ mmol de Mg}$$

$$1 \text{ mmol de Mg} \rightarrow 24,3 \text{ mg}$$

$$\underline{0,3 \times 10^6 \text{ mmol de Mg} \rightarrow x}$$

$$x = \frac{0,3 \times 10^6 \times 24,3}{1} = 7,29 \times 10^6 \text{ mg de Mg (em 1 ha) ou}$$

$7,29 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg, atendendo, portanto, a demanda da cultura (5 kg ha^{-1}), para as condições dadas.

Exercício 10 - Calcule a necessidade de aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) em um solo a fim de baixar a porcentagem de sódio trocável (PST) para 5%. Considere que a análise do solo na camada de 0,20 m indicou uma PST de 15%; CTC de $50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e uma área de 1 tarefa (3.630 m^2 - Ceará).

Concentração de Na trocável atual :

$$\frac{15}{50} \times 50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3} = 7,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$$

Concentração de Na trocável esperada :

$$\frac{5}{50} \times 50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3} = 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$$

$$\text{Fazendo : } 7,5 - 5 = 2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$$

Então, serão necessários $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca para substituir o Na^+ no complexo de troca.

$$1 \text{ mmol de Ca} \leftrightarrow 2 \text{ mmol}_c \text{ de Ca}$$

$$\underline{\quad \quad \quad x \quad \quad \quad \leftrightarrow 2,5 \text{ mmol}_c \text{ de Ca}}$$

$$x = 1,25 \text{ mmol}_c \text{ de Ca (em } 1 \text{ dm}^3)$$

$$\text{Ca} \quad \rightarrow 40$$

$$\text{SO}_4 \quad \rightarrow 32 + 4 \times 16 = 96$$

$$\underline{2\text{H}_2\text{O} \quad \rightarrow 2 \times (2 \times 1 + 16) = 36}$$

$$\text{Total} = 172 \text{ mg mmol}^{-1}$$

1 mmol de Ca = 40 mg \leftrightarrow 2 mmol_c de Ca

x \leftrightarrow 1,25 mmol_c de Ca

25 mg de Ca (em 1 dm³)

Volume de solo: $3.630 \text{ m}^2 \times 0,20 \text{ m} = 726 \text{ m}^3$ ou $726 \times 10^3 \text{ dm}^3$.

Assim, a quantidade de Ca que deve ser adicionada à área é de :

$$\frac{25 \text{ mg}}{\text{dm}^3} \times 726 \times 10^3 \text{ dm}^3 = 18.150.000 \text{ mg ou } 18,15 \text{ kg.}$$

Massa molar do gesso agrícola:

1 mmol de CaSO₄ \rightarrow 1 mmol de Ca

172 kg 40 kg

x \leftrightarrow 18,15 kg

$$x = \frac{18,15 \times 172}{40} = 78,05 \text{ kg de gesso.}$$

Exercício 11 - Calcule a necessidade de fosfato para adubação corretiva de modo a aumentar o teor de P no solo de 10 para 30 mg dm⁻³, na camada de 0 a 20 cm.

$30 - 10 = 20 \text{ mg dm}^{-3}$ (concentração de P a aumentar)

volume de solo:

$$10.000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 2.000 \text{ m}^3 = 2.000.000 \text{ dm}^3$$

Então, em 1 ha:

$$\frac{20\text{mg}}{\text{dm}^3} \times 2.000.000\text{dm}^3 = 40.000.000 \text{ mg} = 40 \text{ kg de P}$$

Utilizando o fator de 2,29 para conversão de P para P_2O_5 calculado no exercício 2.2, tem-se:

$$40 \times 2,29 = 91,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de } P_2O_5$$

Obs.: Caso tivesse sido dado o valor da eficiência de recuperação do P pelo extrator utilizado na análise e esta fosse de 50 %, por exemplo, bastaria dividir o resultado por 0,5, obtendo-se o dobro da dose estimada anteriormente.

O valor de P disponível é mais um índice relacionado à resposta à adubação fosfatada, do que um valor numérico exato do P no solo (TOMÉ Jr, 1997), assim parece ser interessante que se considere a eficiência de recuperação do elemento pelo extrator nos cálculos, principalmente no caso do P, cuja a extratabilidade depende da capacidade tampão de P no solo.

Oliveira et al. (2005) utilizaram valores e funções para estimação da eficiência de recuperação (ER) de vários elementos pelos extratores Mehlich-1 e Resina, com base na literatura - para P (Mehlich-1), a equação utilizada pelos autores foi: $ER = 0,06728 + 0,01216 \times P\text{-rem}^1$. NS Pereira (dados não publicados) verificou uma recuperação pelo extrator Mehlich-1 em torno de 30 % do P aplicado em um Cambissolo de origem calcária com textura média ($P\text{ rem} = 24 \text{ mg dm}^{-3}$) e de 50 %, aproximadamente, em um Argissolo da formação Barreiras, com textura arenosa ($P\text{ rem} = 50 \text{ mg dm}^{-3}$).

¹ P-rem ou fósforo remanescente é um índice correlacionado negativamente com a capacidade tampão de P (CTP) no solo.

Exercício 12 - Considere que um determinado solo contém $3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K e uma CTC de $80 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (camada de 0 a 25 cm). Calcule a quantidade de K_2O necessária para elevar a proporção de K na CTC a 5%, em uma área de 1.000 m^2 para a referida camada.

$$\frac{3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}}{80 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}} = 0,0375 \text{ ou } 3,75\% \text{ (proporção de K na CTC)}$$

$$5\% - 3,75\% = 1,25\%$$

$$\frac{1,25}{100} \times \text{CTC} = \frac{1,25}{100} \times 80 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3} = 1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$$

Sabendo que:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ mmol}_c \text{ de K} = 1 \text{ mmol de K} = 39,1 \text{ mg (em } 1 \text{ dm}^3); \\ 1.000 \text{ m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,25 \times 10^3 \text{ m}^3 = 0,25 \times 10^6 \text{ dm}^3; \\ 1 \text{ kg} = 10^6 \text{ mg} \end{array} \right.$$

Então :

$$\frac{39,1 \text{ mg}}{1 \text{ dm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \times 0,25 \times 10^6 \text{ dm}^3 = 9,78 \text{ kg de K (em } 1.000 \text{ m}^2)$$

$1 \text{ mol de } \text{K}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ mol de K}$

94,2 kg 78,2 kg

9,78 kg \leftrightarrow x

$$x = \frac{78,2 \times 9,78}{94,2} = 8,12 \text{ kg de } \text{K}_2\text{O} \text{ (quantidade a aplicar)}$$

Obs.: Para obter a quantidade do fertilizante comercial a aplicar, deve-se considerar a proporção de K_2O no mesmo.

3 Referências Bibliográficas

ALVAREZ V., V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Sistema Internacional de Unidades (SI). **Informações Agrônomicas**, 124. p. 19-22, 2008.

BATISTA, E. M.; CORDEIRO, D. G. Recomendações para implantação do sistema internacional de unidade na área de química e fertilidade do solo. **Embrapa Acre-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1998.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento, Indústria E Comércio Exterior - Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia - INMETRO. Portaria nº 590, de 02 de dezembro de 2013 Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 24/07/2020.

CANTARELLA, H. O Sistema Internacional de Unidades (SI) agora é oficial na SBCS. **Boletim Informativo da SBCS** 18(2):48. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. **Relação solo-planta: transporte de nutrientes no solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p. 170-186, 2007.

OLIVEIRA, F. H. T. D., NOVAIS, R. F., ALVAREZ V, V. H., & CANTARUTTI, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da

bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 131-143, 2005.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. Transformação de unidades de representação de resultados de análise de solo. **Embrapa Pecuária Sudeste-Circular Técnica, Nº 28 (INFOTECA-E)**, 2000.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba-SP, Brasil. International Plant Nutrition Institute (Eds.), p. 450, 2011.

RAIJ, B. van; ANDRADE, H.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_Internacional_de_Unidades&oldid=58796613>. Acesso em: 24 jul. 2020.

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

OS AUTORES

Natanael Santiago Pereira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Manejo de Solo e Água, IFCE *campus* Limoeiro do Norte, CE.

Arlene Franklin Chaves

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, professora do Instituto Federal do Ceará, *campus* Limoeiro do Norte, CE.

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
[@epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)
[facebook.com.br/epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)

Transformações de Unidades em Química e Fertilidade do Solo

Conceitos Básicos e Aplicações

ARILENE FRANKLIN CHAVES
NATANAEL SANTIAGO PEREIRA



2022

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

Transformações de Unidades em Química e Fertilidade do Solo

Conceitos Básicos e Aplicações

ARILENE FRANKLIN CHAVES
NATANAEL SANTIAGO PEREIRA



2022