

BOLETIM TÉCNICO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA
FORMULAÇÃO E MISTURA DE
FERTILIZANTES

Boletim Técnico - n.º 89 - p. 1-46 ano 2012
Lavras/MG
GOVERNO DO BRASIL

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

MINISTRO: Fernando Haddad

REITOR: Antonio Nazareno Guimarães Mendes

VICE-REITOR: José Roberto Soares Scolforo

Diretoria Executiva: Renato Paiva (Diretor)

Conselho Editorial: Renato Paiva (Presidente), Brígida de Souza, Flávio Meira Borém, Joelma Pereira e Luiz Antônio Augusto Gomes

Administração: Sebastião Gonçalves Filho

Secretaria Geral: Mariana Coelho Alonso

Comercial/ Financeiro: Quele Pereira de Gois, Glaucyane Paula Araujo Ramos

Revisão de Texto: Maria Aparecida Possato

Referências Bibliográficas: Márcio Barbosa de Assis

Editoração Eletrônica: Renata de Lima Rezende, Fernanda Campos Pereira, Patrícia Carvalho de Morais

Impressão: Gráfica/UFLA



ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:

Universidade Federal de Lavras - EDITORA UFLA - Pavilhão 6 (Nave 2) - Caixa Postal 3037 -
37200-000 - Lavras, MG.

Telefax: (35) 3829-1551 Fone: (35) 3829-1089

E-mail: editora@ufla.br

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	4
2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS FERTILIZANTES EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS FÍSICOS E QUÍMICOS.....	4
2.1 Classificação em relação ao critério químico.....	4
2.2 Classificação em relação ao critério físico.....	6
2.2.1 Pó.....	6
2.2.2 Mistura de grânulos.....	6
2.2.3 Mistura granulada.....	6
2.2.4 Complexo granulado.....	7
2.2.5 Líquidos ou fluídos.....	7
2.2.6 Gasosos.....	7
3 CARACTERÍSTICAS DOS FERTILIZANTES.....	7
3.1 Solubilidade.....	7
3.2 Higroscopicidade.....	8
3.3 Salinidade.....	9
3.4 Reação.....	9
3.5 Densidade.....	10
4 COMPATIBILIDADE ENTRE FERTILIZANTES.....	11
5 O QUE É UMA FÓRMULA DE FERTILIZANTE?.....	12
6 CÁLCULOS PARA ENCONTRAR A FÓRMULA DO FERTILIZANTE DESEJADA.....	13
6.1 Relação básica entre nutrientes.....	13
6.1.1 Outras formas de cálculo da relação básica.....	14
6.2 Formulação de misturas de fertilizantes.....	15
6.2.1 Adição de micronutrientes em fórmulas de fertilizantes.....	20
6.3 Combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.....	21
7 DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DA FORMULAÇÃO DO FERTILIZANTE A APLICAR.....	24
8 ADUBAÇÃO FOLIAR.....	27
9 ASPECTOS ECONÔMICOS DA ADUBAÇÃO.....	29
10 SUGESTÃO DE ROTEIRO DE AULA PARA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES DISPONÍVEIS EM FERTILIZANTES.....	32
10.1 Objetivo.....	32
10.2 Conceitos a serem abordados.....	32
10.3 Material a ser utilizado.....	33

10.4 Tempo de aula.....	33
10.5 Resumo da informação a ser divulgada aos alunos.....	33
10.6 Como determinar o percentual de um elemento químico em um composto.....	34
10.7 Como ler um rótulo de fertilizante.....	35
10.8 Exemplos práticos de como calcular a composição química dos fertilizantes.....	35
10.9 Conclusões.....	39
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
13 APÊNDICE.....	40

PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA FORMULAÇÃO E MISTURA DE FERTILIZANTES

Douglas Ramos Guelfi Silva¹
Alfredo Scheid Lopes¹

1 INTRODUÇÃO

Os fertilizantes são materiais que fornecem um ou mais nutrientes necessários para proporcionar o crescimento e desenvolvimento das plantas. Os fertilizantes mais utilizados são os industriais (também chamados de químicos ou fertilizantes minerais), esterco e resíduos de plantas. Os fertilizantes minerais são materiais produzidos por meio de processos industriais com objetivo específico de serem utilizados como fonte de nutrientes de plantas. Hoje em dia, os fertilizantes são essenciais nos sistemas de produção agrícola para reposição de nutrientes extraídos do solo na forma de alimentos (grãos, forragem, bioenergia, dentre outros).

Diante disso, com este material objetiva-se esclarecer alguns conceitos básicos sobre a formulação de fertilizantes.

Espera-se que tais informações possam contribuir para o desenvolvimento das atividades profissionais de todos aqueles envolvidos na agropecuária, seja estudante, agricultor, pecuarista ou técnico, difundindo sempre o uso eficiente de fertilizantes.

2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS FERTILIZANTES EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS FÍSICOS E QUÍMICOS

2.1 Classificação em relação ao critério químico

Os fertilizantes minerais são constituídos de compostos inorgânicos, tanto de origem natural como produzidos industrialmente e podem ser classificados quanto ao critério químico da seguinte maneira:

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS - Caixa Postal 3037 - CEP 37200-000 - Lavras - MG. e-mail: douglasguelfi@dcs.ufla.br; ascheidl@dcs.ufla.br.

Fertilizantes simples: são fertilizantes constituídos por apenas um composto químico, contendo um ou mais nutrientes, que sejam macro e micronutrientes, ou ambos.

Fertilizantes mistos: produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples, complexos ou ambos.

Fertilizantes complexos: produto formado por dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, e que pode conter dois ou mais nutrientes (misturas produzidas com a participação de matérias-primas).

2.2 Classificação em relação ao critério físico

2.2.1 Pó

Quando as partículas estão na forma de pó ou tem pequenas dimensões.

2.2.2 Mistura de grânulos

Consiste simplesmente em uma mistura física de matérias-primas previamente granuladas. Ocorre quando dois ou três tipos de grânulos diferentes estão presentes na mistura.

Exemplo: Mistura de grânulos de sulfato de amônio + Grânulos de SFT + Grânulos de KCl.



2.2.3 Mistura granulada

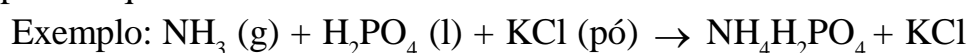
É uma mistura de produtos em pó que passa pelo processo de granulação para que os diferentes nutrientes fiquem no mesmo grânulo. Não ocorre reação entre os componentes da mistura.

Exemplo: N-P-K no grânulo



2.2.4 Complexo granulado

É uma mistura de matérias-primas cujo resultado é o surgimento de novos compostos químicos.



2.2.5 Líquidos ou fluídos

São fertilizantes que se encontram no estado líquido. Podem ser divididos em duas classes:

Soluções: são os fertilizantes líquidos que se apresentam na forma de soluções verdadeiras, isto é, isentas de material sólido.

Suspensões: são os fertilizantes líquidos que se apresentam na forma de suspensões, isto é, uma fase sólida dispersa num meio líquido.

Exemplos: Aquamônia e URAN.

2.2.6 Gasosos

São os fertilizantes que se apresentam no estado gasoso, nas condições normais de temperatura e pressão. O único fertilizante que se apresenta nesta forma é a amônia anidra.

3 CARACTERÍSTICAS DOS FERTILIZANTES

As características dos fertilizantes têm relação direta com a produção de misturas e formulados e com a eficiência e o manejo da adubação.

As principais características dos fertilizantes são descritas resumidamente a seguir.

3.1 Solubilidade

Para avaliação da solubilidade de fertilizantes nitrogenados e potássicos (Tabela 1) geralmente são utilizados os teores solúveis em água, enquanto que em

fertilizantes fosfatados, são utilizados para recomendação os teores solúveis em água e em citrato neutro de amônio e ácido cítrico.

Tabela 1 – Produto de solubilidade de diferentes fertilizantes utilizados na agricultura.

Fertilizantes	Produto da solubilidade ⁽¹⁾
Ácido fosfórico	45,7
Ácido bórico	5,0
Cloreto de cálcio	60
Cloreto de potássio	34
DAP	40
MAP	22
Gesso	0,241
Nitrato de amônio	190
Nitrato de potássio	31
Sulfato de amônio	73
Sulfato de potássio	11
Superfosfato simples	2
Superfosfato triplo	4
Sulfato de manganês	105
Sulfato de zinco	75
Sulfato de cobre	22
Uréia	100

⁽¹⁾O produto de solubilidade pode ser definido como a quantidade do fertilizante que pode ser dissolvida em 100 mL de água.

3.2 Higroscopicidade

Refere-se à capacidade do fertilizante absorver água da atmosfera e tem implicação direta sobre a compatibilidade entre fertilizantes na produção de misturas. Essa tendência do fertilizante em absorver água é expressa pela umidade relativa crítica (UR_c) que é a umidade relativa máxima a que determinado fertilizante pode ser exposto sem que ocorra absorção de água. Algumas misturas de fertilizantes são incompatíveis porque ocorre uma diminuição do valor da UR_c . Um exemplo é a mistura de ureia e nitrato de amônio que possui $UR_c = 18,1\%$.

Uma das principais maneiras de reduzir o problema da higroscopicidade em fertilizantes é a granulação. Outra alternativa é o recobrimento dos grânulos com

materiais como caulim, enxofre, parafina, polímeros, formaldeído e fosfatos naturais, dentre outros.

3.3 Salinidade

É caracterizada pelo índice salino (IS) do fertilizante, que é a pressão osmótica causada pelo fertilizante quando aplicado no solo. A referência é o nitrato de sódio: NaNO_3 (IS = 100); (Tabela 2).

Tabela 2 – Índice salino de fertilizantes, determinado em relação ao nitrato de sódio, tomado como padrão com índice 100.

Fertilizantes	Produto da solubilidade ⁽¹⁾
Nitrato de sódio	100
Nitrato de amônio	105
Sulfato de amônio	69
MAP	30
DAP	34
Nitrocálcio	61
Ureia	75
Amônia anidra	47
Superfosfato simples	8
Superfosfato triplo	10
Cloreto de potássio	116
Sulfato de potássio	46
Sulfato de potássio e magnésio	43

3.4 Reação

É a capacidade de alterar a reação do meio no qual eles são solubilizados (reação ácida ou alcalina); (Tabela 3).

- Reação ácida: expressa em termos da quantidade de CaCO_3 necessária para corrigir a acidez gerada pelo fertilizante.

- Reação alcalina: expressa em termos da quantidade de CaCO_3 que gera alcalinidade equivalente à gerada pelo fertilizante.

Tabela 3 – Poder acidificante e alcalinizante⁽¹⁾ de alguns fertilizantes.

Fertilizantes	Equivalente CaCO ₃ (kg t ⁻¹)
Amônia anidra	1480
Sulfato de amônio	1100
DAP	880
MAP	600
Nitrato de amônio	600
Nitrocálcio	280
Sulfonitrato de amônio	840
Ureia	840
Salitre do Chile	- 290
Salitre de potássio	- 260
Cloreto de potássio	0
Sulfato de potássio	0
Sulfato de potássio em magnésio	0
Superfosta simples	0
Superfosfato triplo	0
Termofosfato magnésiano	- 8
Farelo de algodão	90
Composto de lixo	- 70
Caule da planta de fumo	- 250

⁽¹⁾ kg de CaCO₃ equivalente, em excesso.

3.5 Densidade

É a característica dos fertilizantes que relaciona massa e volume do produto. O conhecimento da densidade é importante no dimensionamento de áreas de armazenamento e de embalagens. Como exemplos de densidade de fertilizantes sólidos podem ser citados os valores da ureia: 1,33 g cm⁻³; fosfato diamônico: 1,78 g cm⁻³ e; KCl: 1,99 g cm⁻³.

A densidade é uma característica muito importante em adubos líquidos porque afeta diretamente a fluidez e a viscosidade e, conseqüentemente, a dosagem a ser aplicada do fertilizante líquido.

Como exemplos de densidade de fertilizantes líquidos podem ser citados os valores do URAN, 1,326 g cm⁻³, sulfuran 1,26 g cm⁻³ e Aquamônia 0,89 g cm⁻³.

4 COMPATIBILIDADE ENTRE FERTILIZANTES

Em virtude das possíveis reações físicas, químicas e físico-químicas que podem ocorrer na mistura de fertilizantes, pode-se dizer que existem três tipos de misturas entre eles, de acordo com a compatibilidade das mesmas:

Misturas compatíveis: Não ocorre nenhuma reação na mistura dos fertilizantes que possam promover alterações nas suas características.

Exemplo: mistura de ureia e cloreto de potássio

Misturas semi-compatíveis: A mistura deve ser feita pouco tempo antes da aplicação para evitar a ocorrência de reações entre os fertilizantes.

Exemplo: mistura de ureia e superfosfato

Misturas semi-compatíveis: A mistura deve ser feita pouco tempo antes da aplicação para evitar a ocorrência de reações entre os fertilizantes.

Misturas incompatíveis: São misturas de fertilizantes que não podem ocorrer, porque são incompatíveis e podem prejudicar a eficiência dos fertilizantes.

Exemplos: mistura de ureia e termofosfato, fertilizantes contendo cálcio e fertilizantes que contenham sulfato, ureia e nitrato de amônio, nitrato de cálcio e cloreto de potássio e DAP + MAP.

Na Figura 1 são apresentadas as possíveis combinações entre fertilizantes ilustrando a compatibilidade entre possíveis misturas.

Adubos Orgânicos		
C	Nitrato de Sódio	
C C	Nitrato de Potássio	
C C C	Nitrocálcio	
C C C C	Nitrato de Amônio	
C C C C C	Sulfato de Amônio	
C C C I I C	Uréia	
C C C C C C C	Farinha de Ossos	
C C C C C C C C	Fosfatos Naturais	
C C C C C C C CI C C	Superfosfato Simples	
C C C C C C C CI C C C	Superfosfato Triplo	
C C C C C C C C C C C	MAP	
C C C C C C C C C C CI CI C	DAP	
I C CI I I I I I I I I I I	Escórias	
I C CI I I I I I I I I I I C	Termofosfato	
C C C C C C C C C C C C CI CI	Cloreto de Potássio	
C C C C C C C C C C C C CI CI C	Sulfato de Potássio	
C C C C C C C C C C C C I I C C	Sulfato de Potássio e Magnésio	
I C CI I I I I I I I I I I C C CI CI I	Cal Virgem, Hidratada, Calcários Calcinados	
I C CI I I I I I I I I I I C C CI CI C C	Calcários	

C COMPATÍVEIS: Podem ser misturados

CI COMPATIBILIDADE LIMITADA: Devem ser misturados pouco antes da aplicação

I INCOMPATÍVEIS: Não podem ser misturado

Figura 1 – Compatibilidade entre fertilizantes e corretivos para misturas a serem aplicadas no solo.

5 O QUE É UMA FÓRMULA DE FERTILIZANTE?

É habitual para se referir a determinada fórmula de fertilizante mineral utilizar uma série de números separados por traços. Essa série de números é chamada de “fórmula do fertilizante”. Cada um dos números representa a quantidade de nutrientes que o fabricante garante ter no fertilizante comercializado. Esse número inclui o total de nutriente encontrado em análise analítica oficial, excluindo qualquer nutriente que é considerado indisponível para a nutrição da planta. O conteúdo de cada nutriente na mistura é expresso em porcentagem, em outras palavras, em kilogramas de nutrientes por peso de 100 kg de fertilizante mineral. Essas porcentagens são o mínimo garantido pelo fabricante e, às vezes, podem ser ligeiramente maiores.

Normalmente, três números são usados para representar a concentração dos nutrientes nos fertilizantes e estes três números sempre se referem, na ordem, à concentração dos macronutrientes primários: nitrogênio, fósforo e potássio. Se houverem outros nutrientes, a sua concentração, também, pode ser indicada na fórmula do fertilizante; cada número adicional é seguido pelo símbolo do elemento químico considerado nutriente. Muitos países indicam a concentração de fósforo e potássio no fertilizante, não na sua forma química, mas na forma de óxido, P_2O_5 e K_2O . Quando são feitas referências à concentração de fósforo no fertilizante é usual chamá-lo de fosfato, que é a forma de fósforo presente na maioria dos fertilizantes, apesar de todos os cálculos e formulações serem apresentadas na forma de óxidos (P_2O_5) ou na forma elementar (P).

A seguir são apresentados alguns exemplos de fórmulas de fertilizantes e suas garantias de concentração de nutrientes:

- Um fertilizante com uma fórmula 18-46-0 tem a garantia do fabricante de ter a seguinte concentração de nutrientes:
18% de N ou 18 kg de N por 100 kg fórmula do fertilizante; 46% de P_2O_5 ou 46 kg de P_2O_5 por 100 kg fórmula do fertilizante; 0% de K_2O , ou seja, sem K_2O na fórmula do fertilizante.
 - Um fertilizante com uma fórmula 12-6-22 + 2% de MgO tem a garantia do fabricante de ter a seguinte concentração de nutrientes: 12% de N ou 12 kg de N por 100 kg fórmula do fertilizante; 6% de P_2O_5 ou 6 kg de P_2O_5 por 100 kg fórmula do fertilizante; 22% de K_2O ou 22 kg de K_2O por 100 kg fórmula do fertilizante; 2% MgO ou 2 kg de MgO por 100 kg fórmula do fertilizante.
-

Os fertilizantes mistos ou complexos (misturas) são produtos que contêm NPK, NP, NK ou PK. Na legislação brasileira sobre fertilizantes, corretivos e inoculantes é relatado que a concentração mínima dos nutrientes na fórmula deve ser de 24% e a máxima 54%.

6 CÁLCULOS PARA ENCONTRAR A FÓRMULA DO FERTILIZANTE DESEJADA

6.1 Relação básica entre nutrientes

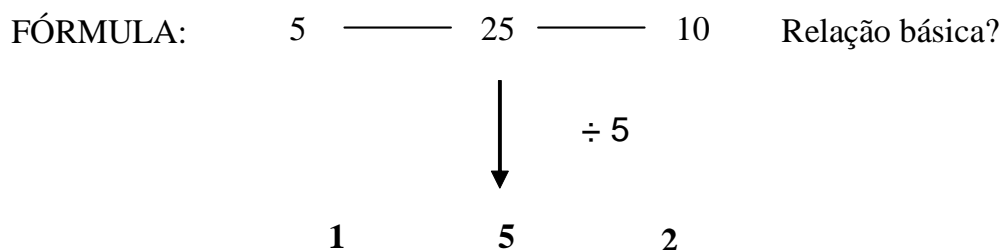
A relação básica é a proporção encontrada entre os nutrientes presentes nos fertilizantes. Com os resultados da análise de solo o técnico pode consultar quais as doses de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) devem ser aplicadas. Essas doses apresentam relação definida. Para efeito de simplificação, essa relação é conhecida como N:P:K.

A seguir é apresentado um exemplo de cálculo de como obter a relação básica entre os nutrientes presentes na fórmula dos adubos. Por exemplo, caso se tenha tivemos em mãos a recomendação de 15 kg de N/ha; 75 kg de P_2O_5 /ha; 30 kg de K_2O /ha, para uma determinada cultura, pode-se encontrar a relação básica da seguinte maneira:

RECOMENDAÇÃO:

	N	P_2O_5	K_2O
	15	75	30
	—	—	—
		↓	
		÷ 15	
RELAÇÃO BÁSICA:	1	5	2
			{
			1 kg de N
			5 kg de P_2O_5
			2 kg de K_2O
			}

Dessa forma, pode-se afirmar que para se encontrar as relações básicas em fertilizantes formulados, deve-se dividir os números da fórmula pelo menor deles, desde que ele seja diferente de zero.



Significado: 100 kg da mistura da fórmula 5-25-10 têm:

- 5 kg de N
- 25 kg de P_2O_5
- 10 kg de K_2O

OBSERVAÇÃO: Vale a pena ressaltar que, pela legislação brasileira, o somatório do teor dos nutrientes nas formulações deve ficar no intervalo de 24 a 54%:

- $\sum \% N + \% P_2O_5 + \% K_2O \geq 24$ e ≤ 54

6.1.1 Outras formas de cálculo da relação básica

a) Por tentativa:

Quantidades determinadas $\div 10$:

Exemplo: Para a cultura do feijão: 20-80-40 (N - P_2O_5 - K_2O) em kg/ha.

- $20-80-40 \div 10 = 2 - 8 - 4$

A partir daí multiplica-se esta razão entre os nutrientes por 2, 3, 4...

$2 - 8 - 4 \times 2 = 4 - 16 - 8$ (Esse fertilizante formulado já atingiria a concentração mínima de 24%, porém, o técnico ou o agricultor deve confirmar a existência da fórmula na indústria de fertilizantes).

$2 - 8 - 4 \times 4 = 8 - 32 - 16$ (O somatório das porcentagens de N - P_2O_5 - K_2O está maior do que o limite máximo de 54%)

b) Divisor máximo ou concentração máxima:

$20 + 80 + 40 = 140$, dividindo 140 pela concentração máxima (54%) = 2,59.

O próximo passo é dividir a quantidade desejada pelo fator 2,59:

$20-80-40 \div 2,59 = 7,7 - 30,9 - 15,4$

Como a fórmula deve conter números inteiros poder-se-ia chegar à fórmula:
8 - 30 - 15.

c) Divisor comum:

Qual o divisor comum de 20-80-40? \Rightarrow 20, logo:

$20 - 80 - 40 \div 20 = 1 - 4 - 2$, na sequência multiplica-se por 2, 3, 4, 5...

$1 - 4 - 2 \times 2 = 2 - 8 - 4$ (Não atingiu 24%)

$1 - 4 - 2 \times 4 = 4 - 16 - 8$

$1 - 4 - 2 \times 5 = 5 - 20 - 10$

$1 - 4 - 2 \times 6 = 6 - 24 - 12$

$1 - 4 - 2 \times 8 = 8 - 32 - 16$ (ultrapassou 54%)

6.2 Formulação de misturas de fertilizantes

De acordo com Malavolta (1981), para se obter a quantidade (kg) de nutrientes dos fertilizantes em uma mistura pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$W = (A \times B)/C$, em que:

W = quantidade do fertilizante a ser utilizado na mistura (kg);

A = quantidade da mistura a preparar (kg);

B = porcentagem do nutriente na mistura;

C = porcentagem do nutriente no fertilizante.

Para aplicação da fórmula vai-se utilizar como exemplo o preparo de uma tonelada da mistura 4-14-8 utilizando as seguintes fontes de nutrientes:

Sulfato de amônio - 20% N;

Super fosfato simples (SFS) - 18% P_2O_5 ;

Super fosfato triplo (SFT) - 40% P_2O_5 ;

Cloreto de potássio (KCl) - 60% K_2O ;

Nitrogênio:

A = 1000 kg; B = 4 kg; C = 20%.

Então temos que:

$W = (1000 \times 4)/20 = 200$ kg de sulfato de amônio.

Fósforo:

No caso do fósforo tem-se a disponibilidade de duas fontes (SFS e SFT). O agricultor deseja fornecer 4% do fósforo como SFT e 10% como SFS, tem-se então:

Quantidade de SFS = $(1000 \times 10)/18 = 556$ kg de SFS;

Quantidade de SFT = $(1000 \times 4)/40 = 100$ kg de SFT.

Potássio:

$$W = (1000 \times 8) / 60 = 134 \text{ kg de KCl.}$$

Portanto, para se obter uma tonelada de 4-14-8 é preciso misturar:

200 kg de sulfato de amônio;

556 kg de super simples;

100 kg de SFT e;

134 kg de KCl.

O total da quantidade de fertilizantes a ser utilizada na mistura é igual a 990 kg, ainda faltam 10 kg para completar uma tonelada. Esses 10 kg podem ser fornecidos como enchimento que pode ser gesso, calcário, esterco seco, turfa, dentre outros materiais.

Outra forma para o cálculo de misturas é por meio de regra de três simples. Utiliza-se como exemplo o preparo de uma tonelada de 4 -12 -8, utilizando sulfato de amônio, SFS e KCl:

$$1000 \text{ kg} \left\{ \begin{array}{l} 40 \text{ kg de N} \\ 120 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \\ 80 \text{ kg de K}_2\text{O} \end{array} \right.$$

$$100 \text{ kg de sulfato de amônio} \text{ ----- } 20 \text{ kg de N}$$

$$X \text{ ----- } 40 \text{ kg de N}$$

$$X = 200 \text{ kg de sulfato de amônio}$$

$$100 \text{ kg de super fosfato simples} \text{ ----- } 20 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$$

$$X \text{ ----- } 120 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$$

$$X = 600 \text{ kg de SFS}$$

100 kg de cloreto de potássio ----- 60 kg de K_2O

X ----- 80 kg de P_2O_5

$$X = 133 \text{ kg de KCl}$$

$$\text{Mistura final} = 200 + 600 + 133 = 933 \text{ kg}$$

Novamente terá que ser utilizado 67 kg enchimento para compor uma tonelada. Assim supondo que no preparo de uma tonelada da fórmula 4 14-8 foram utilizados ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Se houver enchimento e se este for feito com torta de semente de algodão, que possui 1,5% de N, 2% de P_2O_5 e 1,0% de K_2O , como ficaria a fórmula final?

1000 kg { 40 kg de N
140 kg de P_2O_5
80 kg de K_2O

100 kg de ureia ----- 45 kg de N

X ----- 40 kg de N

$$X = 89 \text{ kg de ureia}$$

100 kg de super fosfato triplo ----- 40 kg de P_2O_5

X ----- 140 kg de P_2O_5

$$X = 350 \text{ kg de SFT}$$

100 kg de cloreto de potássio ----- 60 kg de K_2O

X ----- 80 kg de K_2O

$$X = 133 \text{ kg de KCl}$$

$$\text{Mistura final} = 89 + 350 + 133 = 572 \text{ kg}$$

Portanto, tem-se que:

$$\rightarrow 1000 - 572 = 428 \text{ kg de enchimento.}$$

Será utilizada para enchimento a torta de algodão que fornecerá as seguintes quantidades de N, P_2O_5 e K_2O :

$$100 \text{ kg de torta de algodão} \quad \text{-----} \quad 1,5 \text{ kg de N}$$

$$428 \text{ kg de torta de algodão} \quad \text{-----} \quad \text{X}$$

$$\text{X} = 6,4 \text{ kg de N}$$

$$100 \text{ kg de torta de algodão} \quad \text{-----} \quad 2,0 \text{ kg de } \text{P}_2\text{O}_5$$

$$428 \text{ kg de torta de algodão} \quad \text{-----} \quad \text{X}$$

$$\text{X} = 8,6 \text{ kg de } \text{P}_2\text{O}_5$$

$$100 \text{ kg de torta de algodão} \quad \text{-----} \quad 1,0 \text{ kg de } \text{K}_2\text{O}$$

$$428 \text{ kg de torta de algodão} \quad \text{-----} \quad \text{X}$$

$$\text{X} = 4,3 \text{ kg de } \text{K}_2\text{O}$$

Dessa forma, a nova fórmula da mistura ficaria \rightarrow **10,4 - 22,6 - 12,3**

Existem casos em que ocorre a necessidade de utilização de mais de uma fonte para o mesmo nutriente na fabricação do formulado. Cita-se como exemplo o preparo de uma tonelada da mistura 5-20-25 (50 kg de N; 200 kg de P_2O_5 ; 250 kg de K_2O) utilizando como fontes de nitrogênio o sulfato de amônio e ureia; fonte de fósforo o superfosfato triplo e; de potássio o KCl.

Primeiramente deve ser feito o cálculo de quanto será gasto das fontes de fósforo e potássio na preparação do formulado 5-25-20:

• **SFT:**

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg de SFT} & \text{-----} & 45 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \\ X & \text{-----} & 200 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \end{array}$$

$$X = 444,4 \text{ kg de SFT}$$

• **KCl:**

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg de KCl} & \text{-----} & 60 \text{ kg de K}_2\text{O} \\ Y & \text{-----} & 250 \text{ kg de K}_2\text{O} \end{array}$$

$$Y = 416,7 \text{ kg de KCl}$$

Ainda restam para o término formulação da mistura:

$$\bullet \quad 1000 - (444,4 + 416,7) = 138,9 \text{ kg}$$

Portanto, a ureia e o sulfato de amônio devem suprir os 50 kg de N que restam não ultrapassando a quantidade de 138,9 kg dessas fontes. Para saber quanto vai se gastar desses fertilizantes nitrogenados para o fechamento da fórmula 5-20-25 deve-se realizar os cálculos da seguinte maneira:

$$\text{UR} + \text{SA} = 138,9 \text{ kg (Equação 1)}$$

$$\text{UR} = 138,9 - \text{SA (Equação 2)}$$

$$(45/100) (138,9 - \text{SA}) + (20/100) \text{SA} = 50 \text{ kg de N}$$

Substituindo o UR na equação 3, tem-se que o valor necessário de sulfato de amônio:

$$(45/100) (138,9 - \text{SA}) + (20/100) \text{SA} = 50 \text{ kg de N}$$

$$0,45 (138,9 - \text{SA}) + (0,2) \text{SA} = 50 \text{ kg de N}$$

$$62,5 - 0,45SA + 0,2SA = 50 \text{ kg de N}$$

$$12,5/0,25 = SA$$

SA = 50 kg dessa fonte

Porém, ainda falta a quantidade de ureia que pode ser obtida substituindo valor de SA na equação 2:

$$UR = 138,9 - SA$$

$$UR = 138,9 - 50$$

$$UR = 88,9 \text{ kg}$$

Diante disso, para o preparo de uma tonelada da fórmula 5-20-25 sem enchimento, precisa-se de: 50 kg de sulfato de amônio; 88,9 kg de ureia; 444,4 kg de SFT e; 416,7 kg de KCl, totalizando 1t de fertilizantes a serem utilizados no preparo do formulado.

6.2.1 Adição de micronutrientes em fórmulas de fertilizantes

Para aplicação de micronutrientes na forma de adubos simples, o cálculo é semelhante ao mostrado para N, P, K, por meio de regra de três simples. Porém, quando é necessário adicionar a fórmula N-P-K o cálculo é diferente. Como exemplo, tem-se a aplicação de 500 kg de 8-28-16 por hectare e a esse formulado tenha que se adicionar, também, 5 kg de Zn e 1 kg de B por hectare.

Para se obter a concentração em porcentagem (%) desses micronutrientes na fórmula deve-se multiplicar a quantidade necessária a aplicar por 100 e dividir pela quantidade da fórmula que será aplicada. O cálculo é feito da seguinte maneira:

- $[M] = Q_a \times 100/Q_f$, em que:

[M] = concentração do micronutriente no formulado (%);

Q_a = quantidade necessária a aplicar (kg po hectare);

Q_f = quantidade da fórmula que será aplicada.

Então temos para o Zn e B:

- $[Zn] = 5 \text{ kg por hectare} \times 100/500$

$[Zn] = 1\%$ de Zn no formulado

- $[B] = 1 \text{ kg por hectare} \times 100/500$

$[B] = 0,2\%$ de B no formulado

Então a nova fórmula do fertilizante com os micronutrientes ficaria assim:

- **8-28-16 + 1% Zn + 0,2% B**

6.3 Combinação de fertilizantes minerais e orgânicos

Em algumas situações o profissional da área de Ciências Agrárias precisa saber como proceder no cálculo da mistura de fertilizantes minerais e orgânicos.

Para ilustrar como isso pode acontecer, supõe-se que a recomendação para a cultura a ser adubada seja igual 80 kg de N por hectare, 80 kg de P_2O_5 por hectare, 50 kg de K_2O por hectare. Ele tem a disposição esterco bovino com 1% de N, 0,8% P_2O_5 e 0,4% de K_2O . Qual a quantidade de esterco a ser aplicada?

Para se definir a dose de esterco a ser aplicada o primeiro passo é saber quantos kg de N, P_2O_5 e K_2O tem-se no esterco da seguinte maneira:

$N = ?$

$1\% N = 1 \text{ kg N}/100 \text{ kg esterco} = 10 \text{ kg N}/1000 \text{ kg esterco} = 10 \text{ kg N}/t \text{ esterco}$

$P_2O_5 = ?$

$0,8\% P_2O_5 = 0,8 \text{ kg } P_2O_5/100 \text{ kg esterco} = 8 \text{ kg } P_2O_5/1000 \text{ kg esterco} = 8 \text{ kg } P_2O_5 /t \text{ esterco}$

$K_2O = ?$

$0,4\% K_2O = 0,4 \text{ kg } K_2O /100 \text{ kg esterco} = 4 \text{ kg } K_2O /1000 \text{ kg esterco} = 4 \text{ kg } K_2O /t \text{ esterco}$

Cada tonelada do esterco acrescentará ao solo:

- 10 kg N
- 8 kg P_2O_5
- 4 kg K_2O

A partir de agora pode-se calcular a estimativa da quantidade de esterco a ser aplicada por meio de regra de três simples.

Nitrogênio:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ kg de esterco} \quad \text{-----} \quad 10 \text{ kg de N} \\ X \quad \text{-----} \quad 80 \text{ kg de N} \\ X = 8 \text{ toneladas de esterco} \end{array}$$

Fósforo:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ kg de esterco} \quad \text{-----} \quad 8 \text{ kg de } P_2O_5 \\ Y \quad \text{-----} \quad 80 \text{ kg de } P_2O_5 \\ Y = 10 \text{ toneladas de esterco} \end{array}$$

Potássio:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ kg de esterco} \quad \text{-----} \quad 4 \text{ kg de } K_2O \\ Y \quad \text{-----} \quad 50 \text{ kg de } K_2O \\ Y = 12,5 \text{ toneladas de esterco} \end{array}$$

Qual dose deve ser utilizada? X, Y ou Z?

A quantidade de esterco calculada pelo potássio igual a 12,5 t/ha, levará ao solo uma quantidade de N e de P_2O_5 maior que a recomendada pela análise de solo.

Portanto, a saída para esse problema é se basear na quantidade calculada pelo nitrogênio (menor 8 t/ha), que vai levar ao solo uma quantidade de P_2O_5 e de K_2O inferior àquelas recomendadas, porém, elas podem ser complementadas com fertilizantes minerais, não havendo, assim, aplicação em excesso de nenhum dos nutrientes recomendados.

Para fazer a complementação com os fertilizantes minerais, podem ser utilizados, por exemplo, o super fosfato triplo - SFT (45% P_2O_5) e o cloreto de potássio - KCl (60% K_2O).

O cálculo da complementação com fertilizantes minerais deve ser realizado da seguinte maneira:

1t de esterco ----- 10 kg de N

8t de esterco ----- X

X = 80 kg de N por hectare (igual a recomendada)

1t de esterco ----- 8 kg de P_2O_5

8t de esterco ----- X

X = 64 P_2O_5 por hectare (inferior a recomendada)

1t de esterco ----- 4 kg de K_2O

8t de esterco ----- X

X = 32 kg de K_2O por hectare (inferior a recomendada)

Complementação com SFT:

80 kg de P_2O_5 (recomendado) – 64 kg de P_2O_5 (fornecido pelo esterco) = Falta adicionar **16 kg de P_2O_5** .

100 kg de SFT ----- 45 kg de P_2O_5

X ----- **16 kg de P_2O_5**

X = 35,6 kg de SFT

Complementação com KCl:

50 kg de K_2O (recomendado) – 32 kg de K_2O (fornecido pelo esterco) = Falta adicionar **18 kg de K_2O** .

100 kg de KCl ----- 60 kg de K_2O

X ----- 18 kg de K_2O

X = 35,6 kg de KCl

Portanto para fornecer 80 kg de N por hectare, 80 kg de P_2O_5 por hectare, 50 kg de K_2O por hectare devem ser aplicados 8 t de esterco, 35,6 kg de SFT e 30 kg de KCl.

7 DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DA FORMULAÇÃO DO FERTILIZANTE A APLICAR

Para distribuição do fertilizante, na área de cultivo, é necessário conhecer a metodologia de cálculo para obter a quantidade da mistura a aplicar por hectare.

Dessa forma, supondo que um agricultor obteve, com base na análise de solo, a seguinte recomendação de adubação de plantio do milho para uma área de um hectare:

- 20 kg de N; 130 kg de P_2O_5 ; 70 kg de K_2O ; 5 kg de Zn.

Primeiramente é necessário fazer o cálculo da relação básica entre os nutrientes:

Para isso deve-se obter o divisor comum de 20-130-70 → **20**, logo:

20 – 130 – 70 ÷ **20** = 1 – 6,5 – 3,5.

Na sequência multiplica-se por **4**:

1 – 6,5 – 3,5 **x4** = 4 – 26 – 14 ($\Sigma > 24$);

Dessa maneira, pode-se utilizar a fórmula 4-26-14. Porém, qual será a quantidade (kg ha⁻¹) a aplicar da mistura 4-26-14 a aplicar no plantio?

Para esse cálculo pode-se utilizar a fórmula:

$$Q_{NA} = (\Sigma \text{ Nutrientes cultura } \times 100) / \Sigma \text{ nutrientes na mistura), em que:}$$

Q_{NA} = quantidade a aplicar da mistura (kg ha⁻¹)

Σ nutrientes cultura = somatório da quantidade de nutrientes recomendada, com base na análise de solo, para a cultura a ser adubada;

Σ nutrientes mistura = somatório da quantidade de nutrientes presentes na fórmula;

Portanto, no exemplo tem-se:

Q_{NA} = a definir;

Σ nutrientes cultura = 20 + 130 + 70 = 220;

Σ nutrientes mistura = 4 + 26 + 14 = 44.

Substituindo na fórmula, tem-se:

$Q_{NA} = (220 \times 100) / 44 = 500$ kg de 4-26-14 por hectare.

Com a quantidade da mistura a aplicar pode-se fazer a adição de 5 kg de Zn à mistura final. Para isso, faz-se uma regra de três simples:

500 da mistura 4-26-14 ----- 100%

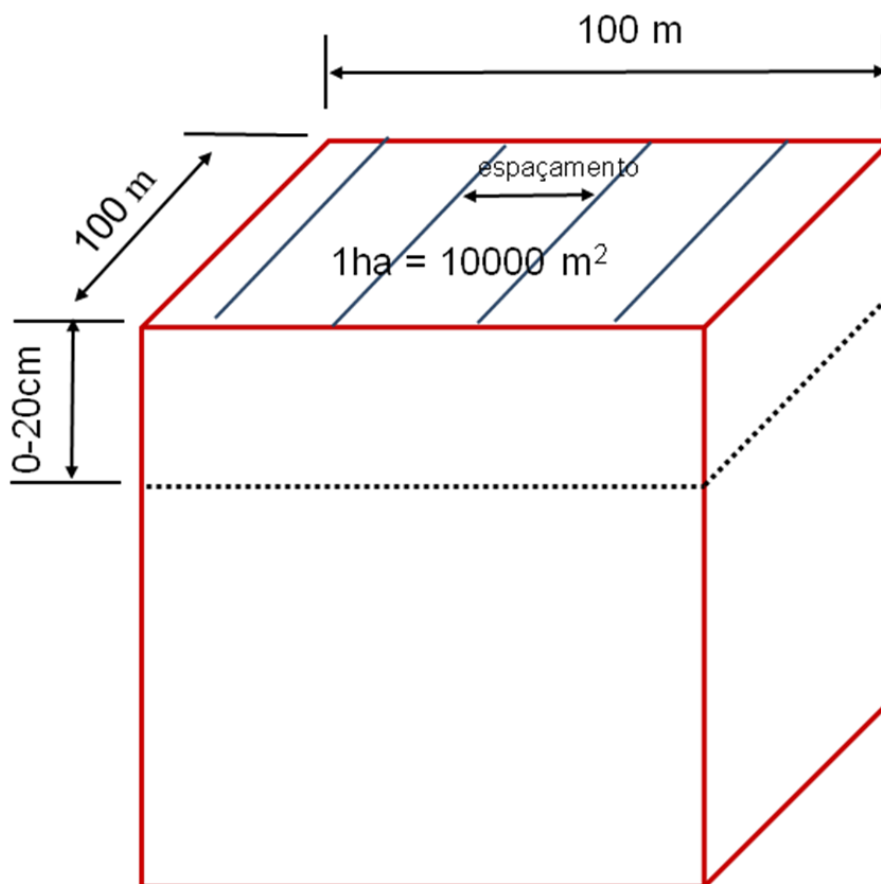
5 kg de Zn ----- X

X = 1% de Zn

Dessa forma, a mistura final a ser utilizada no plantio é:

• 4 - 26 - 14 + 1% Zn

Para finalizar é necessário saber quanto do formulado deve ser distribuído na linha de plantio. Para isso deve-se saber qual o espaçamento da cultura (Figura 2) e o número de linhas de plantio presentes em um hectare (ha).



$$V = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 2.000.000 \text{ dm}^3$$

Figura 2 – Esquema com as linhas de plantio em determinado espaçamento na área de 1 hectare.

Dessa maneira, se utilizado o espaçamento de 0,9 m para a cultura do milho, tem-se que:

- Número de linhas em 1 ha ? $100/\text{espaçamento} = 100/0,9 = 111$ linhas com 100 metros de comprimento. Portanto, haverá 11.100 metros lineares.

Para distribuir na área de plantio 500 kg de 4 - 26 - 14 + 1% Zn em 1 ha divide-se a quantidade da mistura a aplicar pelo número de metros lineares:

→ 500 kg de 4 - 26 - 14 + 1% Zn por ha/11.100 metros lineares = 45 g da mistura por metro linear. Isso quer dizer que a cada metro de movimento da semeadora tem que cair na linha de plantio 45 g da mistura. Com esse valor o técnico pode fazer a

regulagem da máquina no campo. Para isso, deve marcar no campo (na área a ser semeada) duas estacas com uma distância conhecida, por exemplo, 50 m. Nesses 50 metros devem cair 2.250 g da mistura.

Para fazer essa verificação o responsável deve retirar o tubo que liga o compartimento de armazenamento do fertilizante ao sistema distribuidor (Figura 3) e amarrar um saco plástico a saída do fertilizante para aferir a quantidade que está sendo distribuída.

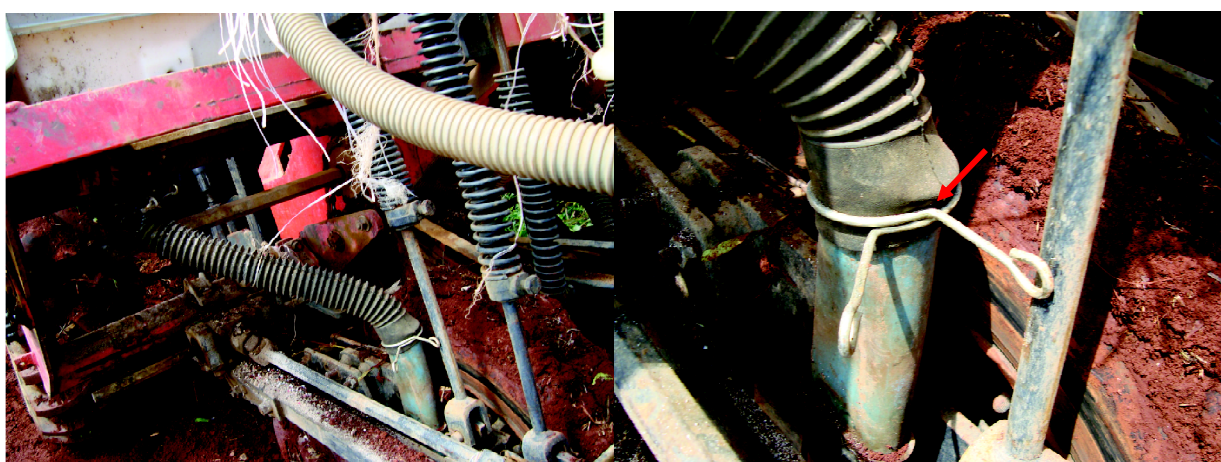


Figura 3 – Esquema com as linhas de plantio em determinado espaçamento na área de 1 ha.

8 ADUBAÇÃO FOLIAR

A adubação foliar é uma das alternativas que deve ser utilizada em situações específicas ou como forma de servir de complemento para a adubação via solo.

De acordo com Faquin (2005), existem quatro situações nas quais deve-se utilizar a adubação foliar:

- Adubação foliar corretiva: Tem como objetivo corrigir deficiências nutricionais que venham a ocorrer durante o ciclo da cultura tendo em vista respostas rápidas à aplicação do adubo foliar;
- Adubação foliar preventiva: Deve ser realizada, quando um nutriente está fora da faixa considerada ideal e sua aplicação via solo não é eficiente. Essa situação ocorre na maioria dos casos com os micronutrientes;

- Adubação foliar complementar: Nesse caso, a adubação foliar serve de complemento para adubação via solo, ou seja, parte do(s) nutriente(s) é aplicada via solo e o restante complementado via adubação foliar;
- Adubação foliar suplementar: É um caso específico em que a adubação foliar é realizada como um investimento a mais, como por exemplo, em culturas de alta produtividade.

Existe uma variedade muito grande de fertilizantes, contendo macro e micronutrientes, que podem ser utilizados na adubação foliar.

Os principais fertilizantes contendo macronutrientes primários (N, P, K) utilizados para adubação foliar são: ureia, MAP e cloreto de potássio purificado. Para macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e micronutrientes as fontes mais utilizadas são os cloretos, sulfatos e óxidos.

Essas fontes são aplicadas na formas de caldas e assim como, para misturas sólidas, a adubação foliar requer atenção em algumas situações para o preparo da calda de aplicação de nutrientes.

Não deve ser feita a mistura de sulfato de zinco com óleos minerais, nesse caso deve-se utilizar o óxido de zinco que é compatível com as emulsões.

O mesmo sulfato de zinco, calda sulfocálcica e outras fontes com reação alcalina não devem ser misturados com reguladores do crescimento. Situação que pode ocorrer na cultura do algodão.

O sulfato de zinco, também, é incompatível com o boráx e nessa situação a fonte de boro a ser utilizada no preparo da mistura é o ácido bórico. O ácido bórico é incompatível com a ureia e óxido de zinco.

Para ilustrar um pouco mais os métodos de cálculo de adubação foliar a seguir serão apresentados alguns exemplos teóricos de cálculos de adubação foliar.

O primeiro exemplo é a aplicação de uréia a concentração de 2% na calda a ser aplicada em plantas de café bem enfolhadas. Para isso, deseja-se utilizar um volume de calda de 250 mL por planta. Portanto tem-se:

100 mL da calda com ureia 2% ----- 2 g de ureia

250 mL da calda com ureia 2% ----- X

$$X = 5\text{g de ureia/planta}$$

Então tem-se:

1 g de ureia/planta ----- 0,45 g de N

5g de ureia/planta ----- Y

$Y = 2,25$ g de N aplicados nas folhas de cada planta de cafeeiro

Supondo-se o cafeeiro com 3 anos e considerando que cada planta tenha 3000 g de massa seca de folhas e que a adubação foliar tenha uma eficiência de 65%. Tem-se que $2,25 \text{ g de N} \times 0,65 \text{ (eficiência)}/3000\text{g} = 0,0004875\%$ de N foliar quantidade insignificante ao teor adequado na faixa de 3,0 a 3,5 % de N foliar.

9 ASPECTOS ECONÔMICOS DA ADUBAÇÃO

Para o entendimento do mecanismo econômico que propicia a utilização de plantas cada vez mais responsivas a doses crescentes de fertilizantes, representasse, no mesmo gráfico, em um dos eixos, a despesa por hectare com adubos minerais (todos os fertilizantes e corretivos somados e supostamente bem recomendados) e, no outro eixo do gráfico, o produto (rendimento x preço) no hectare obtido para uma variedade dada em função da dose de adubo utilizado (Figura 4); Mazoyer & Roudart (2010).

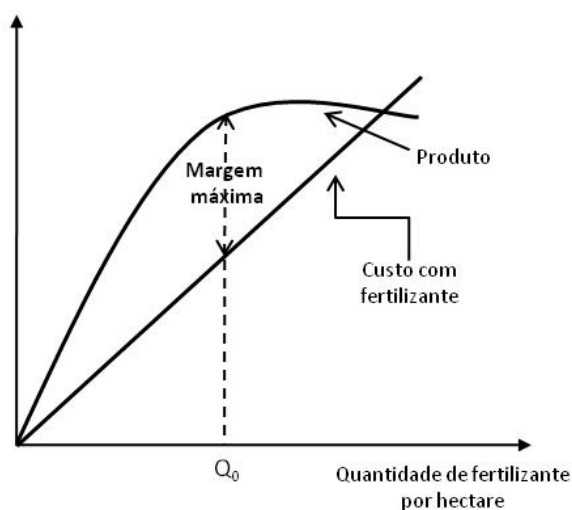


Figura 4 – Dose ideal de fertilizante (Q_0) por hectare.

A Figura 4 mostra que a margem M , ou seja, a diferença entre o produto bruto e as despesas com fertilizantes, varia em função da quantidade de fertilizantes Q utilizada por hectare. Para uma quantidade de fertilizante igual a zero, a margem tem valor M_0 ; em seguida essa margem aumenta com a quantidade de fertilizantes utilizados até atingir um máximo M_{\max} que corresponde a uma quantidade de fertilizante "ótima ou ideal" Q_0 ; enfim, com quantidades de fertilizantes ainda mais elevadas, a margem de lucro diminui, mesmo se o produto bruto por hectare continua a crescer até seu máximo P_{\max} .

A dose de fertilizante considerada "ideal" Q_0 , ou seja, a que reflete em uma margem mais elevada M_{\max} , não se confunde com a dose de fertilizante proporcionada pelo produto bruto máximo P_{\max} : no geral essa dose é muito inferior em relação ao produto bruto. Além disso, torna-se necessário enfatizar que, se o preço dos fertilizantes ou do produto colhido aumenta no mercado, a dose ideal do fertilizante, também, varia: se os preços dos fertilizantes aumentam, a dose "ideal" Q_0 e a margem máxima M_{\max} diminuem e, inversamente (Figura 5); se o preço do produto colhido aumenta, a dose de adubos "ideal" Q_0 e a margem M_{\max} aumentam e, inversamente (Figura 6).

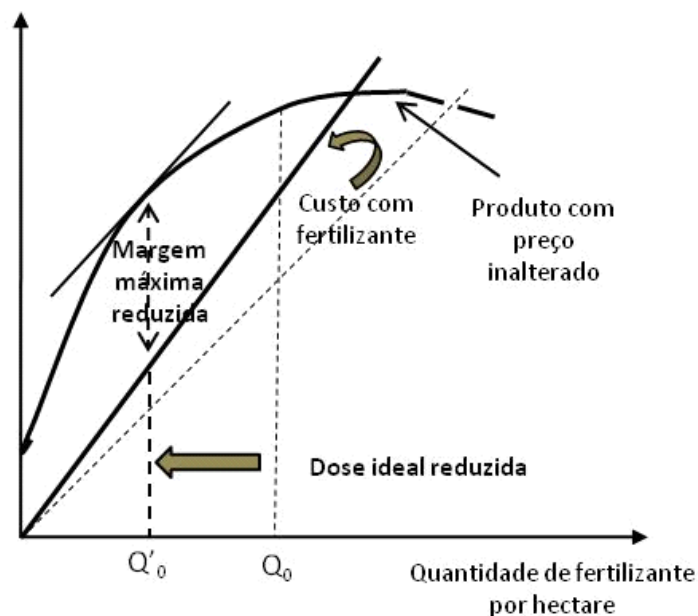


Figura 5 – Diminuição da dose ideal quando o preço dos fertilizantes aumenta ($Q'_0 < Q_0$).

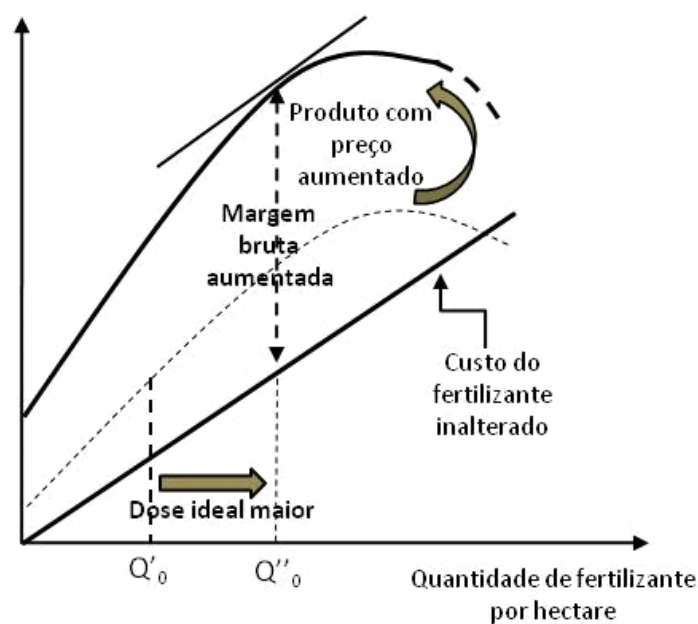


Figura 6 – Aumento da dose ideal dos fertilizantes quando o preço do produto colhido aumenta ($Q''_0 > Q_0$).

Considerando agora quatro variedades de milho M^1 , M^2 , M^3 , M^4 , sucessivamente selecionadas e cada vez mais produtivas e representadas as quatro variedades em função de doses crescentes de fertilizantes (Figura 7).

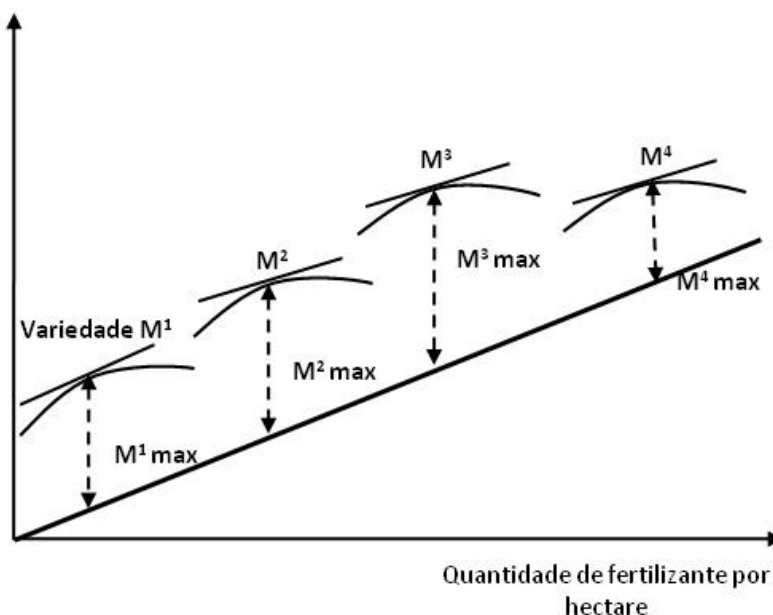


Figura 7 – Produto bruto, despesas com fertilizantes e margens por hectare em função da dose de fertilizante utilizada por quatro variedades de milho M^1 , M^2 , M^3 , M^4 .

A Figura 7 mostra que a margem máxima acessível para as três variedades M^1 , M^2 , M^3 , continua crescendo ($M^1_{\max} < M^2_{\max} < M^3_{\max}$). Ao contrário, ainda que o produto máximo da variedade M^4 seja mais elevado que todos os outros, a margem máxima acessível com esta variedade (M^4_{\max}) é inferior àquela obtida com a variedade M^3 , pois, a variedade M^4 , mais produtiva, mas muito exigente, valoriza menos os fertilizantes. Nessas condições, as variedades M^1 , M^2 , M^3 , serão adotadas uma após a outra porque elas alcançam um benefício crescente. Ao contrário, a variedade M^4 , embora mais produtiva, não será adotada, pois, o benefício que ela alcançaria seria inferior àquele obtido com a variedade M^3 .

10 SUGESTÃO DE ROTEIRO DE AULA PARA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES DISPONÍVEIS EM FERTILIZANTES

10.1 Objetivo

Como consumidores e consultores, profissionais da área de Ciências Agrárias e agricultores, precisam aprender a tomar decisões informadas sobre os produtos que compram. Dessa forma, o objetivou-se neste roteiro de aula ensinar aos alunos a tomar decisões corretas sobre a compra de fertilizantes. Os alunos irão aprender como calcular a quantidade de nutrientes disponíveis em qualquer fertilizante e, posteriormente, comparar os custos dos fertilizantes em relação à quantidade de nutrientes disponíveis às plantas.

10.2 Conceitos a serem abordados

Todos os fertilizantes não contêm o mesmo percentual de cada um dos nutrientes primários; fertilizantes são preparados em diferentes composições. Para o agricultor só se pode aplicar o que é necessário para o solo?

Embora os fertilizantes sejam uma parte importante da produção agrícola eles podem ser prejudiciais ao meio ambiente?

Para ser eficaz, qualquer fertilizante deve ser utilizado corretamente.

10.3 Material a ser utilizado

- Etiqueta(s) de fertilizantes comercializados pela indústria.
- Calculadora.
- Tabela Periódica.

10.4 Tempo de aula

40 minutos

10.5 Resumo da informação a ser divulgada aos alunos

Os agricultores decidem qual fertilizante deve ser aplicado com base no tipo de solo, análise de solo, de acordo com as exigências da cultura e, principalmente em relação ao custo do fertilizante. Primeiramente deve ser realizada análise de solo para avaliação de quais nutrientes devem ser aplicados por meio da utilização de fertilizantes e corretivos. O agricultor escolhe então qual a melhor combinação de fertilizantes que irá atender as necessidades da área de cultivo. Fertilizantes minerais e orgânicos, corretivos, rotação de culturas e adubação verde são opções a serem consideradas em uma abordagem integrada para fornecimento de nutrientes para as plantas. Quando a adubação é reduzida ocorre diminuição da produtividade das culturas e com o tempo esgotamento da fertilidade do solo. Por outro lado, quando ela é feita em excesso também pode reduzir a produtividade das culturas e pode custar caro para o agricultor e ser danoso ao meio ambiente. Muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de diminuir problemas ambientais e aumentar a eficiência da adubação de fertilizantes utilizados em áreas agrícolas. A indústria de fertilizantes percebeu que deve fazer o seu trabalho na proteção e melhoria da qualidade ambiental. A tendência atual é que as atividades ligadas ao agronegócio sejam cada vez mais sustentáveis. Isso significa que os agricultores devem repor as substâncias, dentre elas os nutrientes extraídos pelas culturas, que são retirados dos ecossistemas. Fertilizantes minerais e orgânicos são substâncias utilizadas para essa reposição. Cálculos com base em princípios químicos são importantes para determinar quanto de um nutriente está disponível no fertilizante para reposição ao solo. Os consumidores precisam analisar os fertilizantes com o intuito de utilizar os mais eficientes e com menor custo. Dessa forma é necessário

que os alunos aprendam a calcular as porcentagens de vários nutrientes no fertilizante e em suas misturas. Eles vão ver como essa informação é útil para si, bem como para as principais operações agrícolas.

10.6 Como determinar o percentual de um elemento químico em um composto

A composição percentual de um composto é uma indicação da massa relativa de cada elemento que contribui para a massa do composto como um todo. Um químico, muitas vezes compara a composição percentual de um composto desconhecido com a composição percentual calculada a partir de uma fórmula assumida. Este tipo de cálculo deve ser utilizado na aula.

O sal (NaCl) é composto por dois elementos: sódio e cloro na proporção 1 para 1. Portanto, os dois elementos estão presentes na mesma proporção em massa. Dessa forma, o percentual de sódio em toda a amostra de cloreto de sódio é a massa atômica do elemento dividida pela massa da fórmula e multiplicada por 100.

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{massa atômica do Na}}{\text{massa do NaCl}} \times 100$$

$$\% \text{ Na} = \frac{23}{35} \times 100$$

35

$$\% \text{ Na} = 39,3\%$$

É tão fácil de calcular a composição percentual de um composto, como o etanol, em que mais de um átomo de um elemento aparece. A fórmula do etanol é $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ e sua massa molecular é 46,1. Pode-se observar que uma molécula de etanol contém dois átomos de carbono com uma massa molecular combinada de 24. Sendo assim, o percentual de carbono no composto é:

$$\% \text{ C} = \frac{24}{46,1} \times 100$$

46,1

$$\% C = 52,1\%$$

10.7 Como ler um rótulo de fertilizante

Após os cálculos, pode ser realizada uma atividade intitulada “Como ler o rótulo de fertilizantes”. Para isso, deve ser utilizado o rótulo ou a embalagem de um ou vários fertilizantes para dar explicações aos alunos das informações presentes.

10.8 Exemplos práticos de como calcular a composição química dos fertilizantes

1. O nitrato de amônio e a amônia são utilizados como fertilizantes. Calcule o percentual de nitrogênio de cada um. Se o custo da tonelada desses dois fertilizantes é igual qual a melhor alternativa de compra?

Nitrato de amônio – NH_4NO_3	Amônia – NH_3
N = 14	N = 14
$\text{H}_4 = 4 \times 1 = 4$	$\text{H}_3 = 3 \times 1 = 3$
N = 14	
$\text{O}_3 = 3 \times 16 = 48$	
Massa molecular = 80	Massa molecular = 17
$\% N = \frac{28}{80} \times 100$	$\% N = \frac{14}{17} \times 100$
80	17
$\% N = 35 \%$ de N no nitrato de amônio	$\% N = 82 \%$ de N da amônia

A amônia é a melhor compra e deve ser aplicada como amônia anidra, um gás incolor. Esse gás é injetado no solo a cerca de cinco centímetros de profundidade. Embora a amônia anidra seja a fonte mais barata de N, muitos cuidados são necessários para sua aplicação, porque ela pode causar danos aos olhos, nariz, garganta, pulmão e pele, se o aplicador entra em contato com o gás. Os alunos devem entender que outros fatores, além de preço, são considerados na escolha do fertilizante.

2. Um agricultor de dois fertilizantes diferentes armazenados na sua propriedade. Um deles é o sulfato de potássio (K_2SO_4) e o outro o cloreto de potássio (KCl). Os dois fertilizantes têm o mesmo custo por tonelada, mas ele quer usar o que tem a percentagem mais elevada de potássio. Qual fertilizante ele deve utilizar? Fundamentar sua explicação com os cálculos.

K_2SO_4	KCl
$K_2 = 39 \times 2 = 78$	$K = 39$
$S = 32$	$Cl = 35$
$O_4 = 4 \times 16 = 64$	
Massa molecular = 174	Massa molecular = 74
$\% K = \frac{78}{174} \times 100$	$\% K = \frac{39}{74} \times 100$

$\% K = 45 \%$ de K no sulfato de potássio $\% K = 52 \%$ de N do cloreto de potássio

Portanto, o agricultor deve utilizar o cloreto de potássio.

3. Vamos supor que um agricultor precise saber o teor de nutrientes presentes em amostras do fertilizante adquirido para comprar com o rótulo e saber se os teores estão dentro da garantia. A análise da amostra A de 45 g do fertilizante contém 35,1 g de Fe e 9,9 g de SO_4 . Já 215 g do fertilizante B contém 167,7 g de Fe e 47,3 g de SO_4 .

Amostra A:

$$\% Fe = \frac{35,1}{45} \times 100$$

$$45$$

$$\% Fe = 78 \%$$
 de Fe

$$\% SO_4 = \frac{9,9}{45} \times 100$$

$$45$$

$$\% SO_4 = 22 \%$$
 de SO_4

Amostra B:

$$\% \text{ Fe} = \frac{167,7}{215} \times 100$$

$$215$$

$$\% \text{ Fe} = 78 \% \text{ de Fe}$$

$$\% \text{ SO}_4 = \frac{47,3}{215} \times 100$$

$$215$$

$$\% \text{ SO}_4 = 22 \% \text{ de SO}_4$$

Portanto, as duas amostras têm a mesma composição.

4. O nitrato de cálcio e o nitrato de amônio são utilizados como fertilizantes. Calcule o percentual de N de cada um. Se os custos do nitrato de cálcio são de R\$ 1225,00 por tonelada e do nitrato de amônio R\$ 1275,00 por tonelada, qual dos dois é mais economicamente viável? (Dica: Determinar o custo por quilo de nitrogênio para cada composto).

Primeiramente para resolver este problema, é necessário encontrar a % de N em cada material cálculo semelhante à questão 1.

Ca(NO₃)₂	NH₄NO₃
Ca = 40	N = 2 x 14 = 28
N = 2 x 14 = 28	H = 4 x 1 = 4
O = 6 x 16 = 96	O = 3 x 16 = 48
Massa molecular = 164	Massa molecular = 80
$\% \text{ N} = \frac{28}{164} \times 100$	$\% \text{ N} = \frac{28}{80} \times 100$
$\% \text{ N} = 17,1 \% \text{ de N no nitrato de cálcio}$	$\% \text{ N} = 35 \% \text{ de N no nitrato de amônio}$

Para cada tonelada de nitrato de cálcio apenas 17,1% é N. Dessa forma, na aplicação de 300 kg/ha de nitrato de cálcio, somente (0,171 x 300 = 51,3 kg de N) 51,3 kg são na verdade nitrogênio. No caso do nitrato de amônio, 35 % dos compostos é nitrogênio, então uma 300 kg desse fertilizante tem (0,35 x 300 = 105 kg de N) 105 kg de N.

Para o cálculo do custo para saber qual dos dois fertilizantes é mais barato devem ser levados em consideração o custo de cada material por unidade de N aplicada.

Custo do N

presente	<u>R\$ 1225,00</u> x	<u>300 kg de Ca(NO₃)₂</u> =	<u>R\$ 1225,00</u>
no nitrato	300 kg do	51,3 kg N	51,3 kg N
de cálcio	Ca(NO ₃) ₂		

Custo do N do nitrato de cálcio = R\$ 23,88 por kg de N

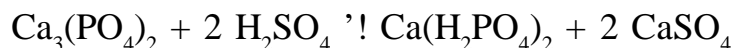
Custo do N

presente no	<u>R\$ 1275,00</u> x	<u>300 kg de NH₄NO₃</u> =	<u>R\$ 1275,00</u>
nitrato de	300 kg do	105 kg N	105 kg N
amônio	NH ₄ NO ₃		

Custo do N do nitrato de amônio = R\$ 12,14 por kg de N

O princípio básico é que o custo da tonelada do fertilizante e a porcentagem de N presente na fonte, determinam qual fertilizante é mais rentável. Neste exemplo, embora o custo da tonelada do nitrato de amônio seja maior (R\$ 1275,00 versus R\$ 1225,00) ele tem maior porcentagem de N (35% versus 17,1 do nitrato de cálcio). A maior concentração de N diluiu o custo do N fato que torna o nitrato de amônio a fonte de N mais barata em comparação ao nitrato de cálcio.

5. O super fosfato é fabricado por meio do tratamento da rocha fosfática Ca₃(PO₄)₂ com ácido sulfúrico de acordo com a reação a seguir:



Se a reação acima tem um rendimento de 52,5 %, quanto Ca(H₂PO₄)₂ poderia ser obtido de 5,2 toneladas de rocha fosfática?

$$5,2 \text{ t} \times 0,525 \times \frac{\text{massa molecular do } \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2}{\text{massa molecular do } \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2}$$

1,98 toneladas de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

10.9 Conclusões

Compreender a química dos fertilizantes é uma parte importante da agricultura. Profissionais de Ciências Agrárias podem se beneficiar econômica e ambientalmente, se usarem a química básica e a matemática, antes de tomar decisões sobre quais fertilizantes comprarem e aplicar.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o cálculo de misturas de fertilizantes seja simples, alguns conceitos e princípios básicos de formulação de fertilizantes foram apresentados com o intuito de ajudar no aprendizado de profissionais da área de Ciências Agrárias.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C. Fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 737-768.

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: ANDA, 1989. 35 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. Botucatu: UNESP, 2010. 568 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Estimulantes. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1996. p. 37-41. (Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, H. V. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

VERDADE, F. C. **Representação e conversão dos constituintes do solo, dos adubos e das cinzas das plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1963. 16 p. (Boletim, 71).

13 APÊNDICE

Anexo 1 – Fatores multiplicativos de transformação dos resultados de análise de solos, quando expressos em g/100g (%), g/kg, mg/dm³, kg/ha e t/ha. Fonte: Adaptado de Verdade, 1963.

Expressões a transformar	g/100 (%)	g/kg	mg/dm ³ (*)	kg/ha(**)	t/ha(**)
g/100 (%)	1	10	10.000	20.000	20
g/kg	0,1	1	1.000	2.000	2
mg/dm ³ (*)	0,0001	0,001	1	2	0,002
kg/ha(**)	0,00005	0,005	0,5	1	0,001
t/ha(**)	0,05	0,5	500	1.000	1

(*) Considerando-se densidade aparente de 1,0 kg/dm³ tem-se que 1 mg/dm³ = 1 ppm.

(**) Considerando-se 1 ha de 2.000 t (20 cm de profundidade e densidade do solo: 1,0 kg/dm³).

Anexo 2 – Quantidade de adubo por aplicar no sulco, em função do espaçamento.

Quantidade do adubo kg/ha	Espaçamento										
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
	-----g/10m-----										
100	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
150	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225
200	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
250	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
300	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
350	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525
400	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600
450	225	270	315	360	405	450	495	540	585	630	675
500	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
550	275	330	385	440	495	550	605	660	725	770	825
600	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
650	325	390	455	520	585	650	715	780	845	910	975
700	350	420	490	560	630	700	770	840	910	980	1.050
750	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1.050	1.125
800	400	480	560	640	720	800	880	960	1.040	1.120	1.200
850	425	510	595	680	765	850	935	1.020	1.105	1.190	1.275
900	450	540	630	720	810	900	990	1.080	1.170	1.260	1.350
950	475	570	665	760	855	950	1.045	1.140	1.235	1.330	1.425
1.000	500	600	700	800	900	1.000	1.110	1.200	1.300	1.400	1.500
1.100	550	660	770	880	990	1.100	1.210	1.320	1.430	1.540	1.650
1.200	600	720	840	960	1.080	1.200	1.320	1.440	1.560	1.680	1.800
1.300	650	780	910	1.040	1.170	1.300	1.430	1.560	1.690	1.820	1.950
1.400	700	840	980	1.120	1.260	1.400	1.550	1.680	1.820	1.960	2.100
1.500	750	900	1.050	1.200	1.350	1.500	1.660	1.800	1.950	2.100	2.250

Anexo 3 – Cálculo da quantidade de adubo (kg) necessária para fabricação de uma tonelada da mistura.

Porcentagem do elemento na mistura	Porcentagem do elemento no adubo													
	6	8	12	14	16	18	20	27	30	45	46	48	50	60
1	167	125	88	72	63	56	50	38	34	23	22	21	20	17
2	333	250	167	143	125	111	100	75	66	45	44	42	40	33
3	500	375	250	215	188	167	150	112	100	67	66	62	60	50
4	667	500	333	286	250	222	200	150	134	90	88	83	80	67
5	833	625	417	357	313	278	250	186	167	112	109	104	100	83
6	1000	750	500	429	375	333	300	223	200	134	131	125	120	100
7		875	583	500	438	389	350	260	234	156	152	146	140	117
8		1000	667	572	500	444	400	297	267	178	174	167	160	133
9			750	643	563	500	450	334	300	200	196	188	180	150
10			833	714	625	556	500	370	334	223	220	208	200	167
11			917	786	688	611	550	410	367	245	240	229	220	183
12			1000	857	750	667	600	445	400	267	261	250	240	200
13				929	813	722	650	482	434	290	283	271	260	217
14				1000	875	778	700	520	467	312	305	292	280	233
15					938	833	750	556	500	334	327	313	300	250
16					1000	889	800	593	534	356	348	334	320	267

Fonte: Malavolta (1981).

Anexo 4 – Principais fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura.

Fertilizante	Garantia mínima	Observações
Amônia amidra	82% de N	
Nitrato de sódio	15% de N	Teor de perclorato de sódio não pode exceder a 1%
Uréia	44% de N	Teor de biureto até 1,5 % para aplicação no solo e 0,3% para adubação foliar
Nitrato de amônio	32% de N	
Nitrato de amônio e cálcio (Nitrocálcio)	20 % de N	2 a 8% de cálcio e 1 a 5% de magnésio
Sulfato de amônio	20% de N	O teor de tiocianato de amônio não poderá exceder 1%. Possui 22 a 24% de enxofre
Cloreto de amônio	25% de N	62 a 66% de cloro
Nitrato de cálcio	14% de N	18 a 19% de cálcio; 0,5 a 1,5% de magnésio

Anexo 5 – Principais fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura.

Fertilizante	Garantia mínima	Observações
Fosfato diamônico (DAP)	16% de N 45% de P ₂ O ₅	
Fosfato monoamônico (MAP)	9% de N 48% de P ₂ O ₅	
Fosfato natural	34% de P ₂ O ₅	23 a 27% de cálcio
Hiperfosfato	30% de P ₂ O ₅ (pó) 28% de P ₂ O ₅ (granulado)	30 a 34% de cálcio
Superfosto simples	18% de P ₂ O ₅	18 a 20% de cálcio; 10 a 12% de enxofre
Superfosfato triplo	41% de P ₂ O ₅	12 a 14% de cálcio
Fosfato natural parcialmente acidulado	34% de P ₂ O ₅	25 a 27% de cálcio; 0 a 6 % de enxofre; 0 a 2% de magnésio
Termofosfato magnésiano	17% de P ₂ O ₅	7% de magnésio; 18 a 20% de cálcio
Fosfato natural reativo	28% de P ₂ O ₅	Mínimo de 30% de cálcio
Escória de Thomas	12% de P ₂ O ₅	20 a 29% de cálcio; 0,4 a 3% de magnésio
Fosfato bicálcico	38% de P ₂ O ₅	12 a 14% de cálcio

Anexo 6 – Principais fertilizantes potássicos utilizados na agricultura.

Fertilizante	Garantia mínima	Observações
Cloreto de potássio	58% de K ₂ O	45 a 48% de cloro
Sulfato de potássio	48% de K ₂ O	15 a 17% de enxofre; 0 a 1,2% de magnésio
Sulfato de potássio e magnésio	18% de K ₂ O 4,5% de Mg	22 a 24% de enxofre; 1 a 2,5% de cloro
Nitrato de potássio	44% de K ₂ O 13% de N	

Anexo 7 – Principais fertilizantes contendo macronutrientes secundários utilizados na agricultura.

Fertilizante	Garantia mínima	Observações
Sulfato de cálcio (gesso agrícola)	16% de Ca 13% de S	
Cloreto de cálcio	24% de Ca	
Sulfato de magnésio	9% de Mg	12 a 14% de enxofre
Óxido de magnésio	55% de Mg	
Carbonato de magnésio	27% de Mg	
Enxofre	99% de S	
Nitrato de magnésio	8% de Mg	11% de nitrogênio
Cloreto de magnésio	10% de Mg	29% de cloro

Anexo 8 – Principais fertilizantes contendo micronutrientes utilizados na agricultura.

Fertilizante	Garantia mínima	Observações
Boráx	11% de B	
Ácido bórico	17% de B	
Sulfato de cobre	13% de Cu	
Óxido cúprico	75% de Cu	
Óxido cuproso	89% de Cu	
Sulfato férrico	23% de Fe	
Sulfato ferroso	19% de Fe	
Sulfato manganoso	26% de Mn	14 a 15% de enxofre
Óxido manganoso	41% de Mn	
Molibdato de amônio	54% de Mo	5 a 7% de nitrogênio
Molibdato de sódio	39% de Mo	
Óxido de zinco	50% de Zn	
Sulfato de zinco	20% de Zn	16 a 18% de enxofre
Cloreto de cobalto	34% de Co	
Óxido de cobalto	75% de Co	

Anexo 9 – Composição dos fertilizantes e resíduos orgânicos de origem animal, vegetal e agroindustrial (elementos na matéria seca)⁽³⁾.

Materiais orgânicos	C/N	Umidade	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca
	-	%	%	-- Porcentagem na massa seca --			
Esterco bovino fresco	16	62	26	1,6	1,6	1,8	0,5
Esterco bovino curtido	21	34	48	2,3	4,1	3,8	3,0
Cama de frango de corte	22	28	48	2,2	2,4	2,7	2,3
Esterco de galinha	11	54	34	3,0	4,84	2,4	5,1
Esterco de suíno	10	78	27	2,8	4,1	2,9	3,5
Esterco de equino	25	61	35	1,4	1,3	1,7	1,1
Casca de café ⁽¹⁾	28	11	50	1,8	0,3	3,6	0,4
Farinã de ossos	4	6	16	4,1	27,3	4,3	23,2
Composto de lixo ⁽²⁾	27	41	27	1,0	0,8	0,7	1,9
Lodo de esgoto ⁽²⁾	11	50	34	3,2	3,6	0,4	3,2
Vinhaça <i>in natura</i>	17	95	20	1,2	0,4	8,0	2,0
Torta de filtro	21	65	32	1,5	1,7	0,3	4,6
Torta de mamona	9	9	49	5,2	1,8	1,6	2,0
<i>Mucuna</i> sp	20	87	46	2,3	1,1	3,1	1,5
<i>Crotalaria juncea</i>	25	86	50	2,0	0,6	2,9	1,4
Milho	46	88	50	1,1	0,4	3,3	0,4
Materiais orgânicos	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	--- % na massa seca ---			----- mg kg ⁻¹ na massa seca -----			
Esterco bovino fresco	0,3	0,3	15	16	2100	276	87
Esterco bovino curtido	0,9	0,3	24	38	3512	335	329
Cama de frango de corte	0,6	0,4	36	93	1300	302	228
Esterco de galinha	1,1	0,4	27	230	3200	547	494
Esterco de suíno	1,3	0,6	16	937	3700	484	673
Esterco de equino	0,5	0,2	10	22	2732	226	85
Casca de café ⁽¹⁾	0,1	0,1	33	18	150	30	70
Farinã de ossos	0,4	-	0,4	2	11	2	18
Composto de lixo ⁽²⁾	0,2	0,2	3	181	8300	-	432
Lodo de esgoto ⁽²⁾	1,2	0,4	37	870	36000	408	1800
Vinhaça <i>in natura</i>	0,8	1,0	-	100	144	13	60
Torta de filtro	0,5	0,6	11	119	22189	576	143
Torta de mamona	0,9	0,2	30	80	1423	55	141
<i>Mucuna</i> sp	0,3	0,3	30	23	370	103	66
<i>Crotalaria juncea</i>	0,3	0,2	20	7	281	60	14
Milho	0,2	0,2	16	10	120	110	25

Fonte: adaptado de Berton (1997)

⁽¹⁾Produto obtido a partir do beneficiamento do café em coco, formado pela casca do fruto e o pergaminho. ⁽²⁾Resíduos urbanos (composto de lixo e lodo de esgoto) têm uso proibido em hortaliças, raízes e tubérculos conforme resolução do CONAMA 375/06. ⁽³⁾Para cálculos de adubação orgânica devem ser utilizados os teores na massa seca. Quando necessária, a conversão das quantidades dos elementos em peso úmido para peso seco deve ser calculada por meio da seguinte fórmula: concentração do nutriente no resíduo seco em g kg⁻¹ ou mg kg⁻¹ = concentração no material sem secar em g kg⁻¹ ou mg kg⁻¹ x 1000 / (1000 - umidade em g kg⁻¹).

Anexo 10 – Fatores multiplicativos (fm)⁽¹⁾ entre as unidades e formas dos macronutrientes.

	Centimol de carga	Forma elementar	Forma de óxido	Forma de radical	Forma de sal
Para N	Y cmol _c	Y g N	Y g de NO ₃ ^{-3/}	Y g NH ₄ ⁺	X g NH ₄ NO ₃
X cmol _c	1 ⁽²⁾	0,14007	0,62007	0,18039	0,80046
X g N	7,1393	1	4,42686	1,28786	2,85736
X g de NO ₃ ⁻	1,6127	0,22589	1	0,29092	1,29092
X g NH ₄ ⁺	5,5435	0,77648	3,43739	1	4,43739
X g NH ₄ NO ₃	1,2493	0,34997	0,77464	0,22536	1
Para P	Y cmol _c	Y g P	Y g de P ₂ O ₅	X g PO ₄ ³⁻	Y g Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O
X cmol _c	1	0,10325	0,23658	0,31658	1,26037
X g P	9,6855	1	2,29140	3,006624	4,06912
X g de P ₂ O ₅	4,2269	0,43641	1	1,33815	1,77582
X g PO ₄ ³⁻	3,1588	0,32613	0,74730	1	1,32707
X g Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	0,7934	0,24575	0,56312	0,75354	1
Para K	Y cmol _c	Y g K	Y g de K ₂ O	-	Y g KCl
X cmol _c	1	0,39098	0,47098	-	0,74551
X g K	2,5577	1	1,20461	-	1,90677
X g de K ₂ O	2,1232	0,83014	1	-	1,58289
X g KCl	1,3414	0,52445	0,63176	-	1
Para Ca	Y cmol _c	Y g Ca	Y g de CaO	-	Y g CaCO ₃
X cmol _c	1	0,20039	0,2839	-	0,50045
X g Ca	4,9903	1	1,39922	-	2,49736
X g de CaO	3,5665	0,71468	1	-	1,78482
X g CaCO ₃	1,9982	0,40042	0,56028	-	1
Para Mg	Y cmol _c	Y g Mg	Y g de MgO	-	Y g MgCO ₃
X cmol _c	1	0,12153	0,20153	-	0,42158
X g Mg	8,2288	1	1,65830	-	3,46908
X g de MgO	4,9622	0,60303	1	-	2,09195
X g MgCO ₃	2,3720	0,28826	0,47802	-	1
Para S	Y cmol _c	Y g S	-	Y g de SO ₄ ²⁻	Y g CaSO ₄ .2H ₂ O
X cmol _c	1	0,16033	-	0,48033	0,86072
X g S	6,2371	1	-	2,99588	5,36843
X g de SO ₄ ²⁻	2,0818	0,33379	-	1	1,79193
X g CaSO ₄ .2H ₂ O	1,1618	0,18627	-	0,55806	1

⁽¹⁾ Y = fm.x. ⁽²⁾ Esses fatores, exceto cmol_c, podem ser usados em outras transformações com unidades ponderais. Não é óxido, mas sim radical.