

Capítulo 5

Aubos e corretivos

David Vilas Boas de Campos

Luiz Rodrigues Freire

Everaldo Zonta

Paulo Augusto da Eira

Fernando Faria Duque[†]

Helvécio De-Polli

Sebastião Manhães Souto

Gabriel de Araújo Santos

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

O solo, mesmo quando detentor de adequada fertilidade natural, tende a apresentar, após cultivos sucessivos, diminuição em sua capacidade de fornecimento de nutrientes e de elementos benéficos em quantidade necessária para a manutenção dos níveis de produtividade das lavouras. Para que não ocorra uma redução da disponibilidade de nutrientes no solo, devem ser adotadas medidas para a correção, a manutenção ou o aumento da sua fertilidade, pois a atividade agrícola é exportadora de nutrientes. Essas medidas são realizadas pela aplicação de corretivos e adubos orgânicos e/ou minerais no solo e de adoção de práticas de manejo que preserve as características físicas, químicas e biológicas do solo, pois somente assim pode-se manter a fertilidade do solo entendida em sentido mais amplo.

Entretanto, as práticas de adubação antes preconizadas nos modelos de produção agrícola podem se mostrar não sustentáveis, pelos riscos de contaminação de aquíferos e mananciais hídricos, pela lixiviação de íons e pela eutroficação de ambientes aquáticos. Modelos atuais de manejo da fertilidade do solo pressupõem uso de doses, produtos e formas de aplicação que proporcionam melhor aproveitamento dos nutrientes pelas culturas, assim resultando em economia para o produtor e redução da poluição do solo e da água.

A correção da acidez do solo faz-se necessária quando os solos apresentam características químicas inadequadas, como teores elevados de alumínio e acidez acentuada. Solos corrigidos e bem manejados possibilitam: aumento de produtividade das culturas, maior atividade biológica, aumento da disponibilidade de nutrientes no solo e aumento da eficiência de utilização dos adubos.

Como, na maioria dos solos do Estado do Rio de Janeiro onde há atividade agrícola, a fertilidade natural é baixa, é preciso adotar a prática de correção para tornar satisfatória a produtividade das culturas. Em algumas áreas do estado, sobretudo na Região Serrana, o uso da terra para a produção de hortaliças elevou a fertilidade do solo para níveis em que é suficiente a prática da adubação de manutenção. A correção do solo é feita, como em todo o Brasil, por calagem e fosfatagem. O uso de calcário é a mais econômica e eficiente forma de correção da acidez do solo e ainda fornece quantidades apropriadas de Ca e Mg para as plantas. A fosfatagem é pouco praticada, mas se trata da correção do elemento mais limitante à produtividade no Estado do Rio de Janeiro, que é o fósforo, com o uso de fosfatos naturais de baixa reatividade. Tendo em vista a baixa eficiência da maioria dos nossos fosfatos naturais, nem sempre, do ponto de vista ecológico e econômico, é conveniente usá-los. É importante ressaltar que a correção da fertilidade do solo é fator determinante para garantir a eficiência dos nutrientes aplicados por meio do uso de adubos minerais ou orgânicos.

Atualmente, além de calcário, são utilizados o gesso agrícola e silicatos de cálcio como corretivos de solo no Estado do Rio de Janeiro, sobretudo para fruteiras e na cultura da cana-de-açúcar. O gesso agrícola atua fornecendo sulfato solúvel ao solo, que é fonte de enxofre, e também é condicionador químico do solo, o que, entre outros benefícios, melhora a distribuição de nutrientes e neutraliza a acidez ativa em profundidade. O uso do gesso agrícola nessas culturas é um

fator preponderante da produtividade, pois causa melhor distribuição do sistema radicular em profundidade, que é essencial para a tolerância a estresses hídricos e também para o melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis no solo. Em termos gerais, a recomendação de gesso agrícola é relativa à necessidade de calagem, pois é possível substituir até um terço da quantidade de calcário recomendada por gesso agrícola no momento da correção do solo. Porém, essa prática é pouco recomendada em solos com reduzida permeabilidade e não deve ser usada em solos com salinidade ou tiomorfismo (Capítulo 2).

Atualmente, o uso de plantas que acumulam nitrogênio através do processo de fixação biológica de N_2 , sobretudo as leguminosas, é um excelente recurso para a correção da disponibilidade de nitrogênio, sobretudo nas propriedades onde se pratica a agricultura familiar. Outra prática importante para a manutenção da fertilidade do solo é baseada na reciclagem de nutrientes, sobretudo de resíduos agrícolas e agroindustriais. O uso de escórias, subprodutos da agroindústria, cama de aviários, esterco bovino e, ainda, dejetos de suínos é relevante para a sustentabilidade dos sistemas de produção, principalmente em arranjos produtivos locais, garantindo a economia de fertilizantes e dos recursos naturais.

Um dos fatores mais importantes para uma ótima produtividade das culturas é a adubação racional, eficiente e equilibrada. A adubação maximiza a produtividade dos cultivos agrícolas, porém, o uso de fertilizantes também aumenta os custos de produção. A eficiência das adubações é influenciada pelas características específicas dos fertilizantes, pela dosagem, pelo método e pela forma de aplicação, e também pelas práticas de manejo e características do solo.

Para otimizar a eficiência agrônômica dos nutrientes nos sistemas de produção, principalmente os provenientes de adubos minerais, é preciso utilizar práticas que potencializem a fertilidade física e biológica do solo, como a manutenção da palhada sobre o solo e a rotação de culturas.

Os adubos ou fertilizantes são compostos químicos, minerais ou orgânicos, naturais ou sintéticos, que contenham um ou mais nutrientes empregados para suprir as necessidades nutricionais das plantas. A Instrução Normativa do Ministério da Agricultura nº 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009), define as normas sobre as especificações

e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

Neste capítulo, são apresentados os principais tipos de adubo mineral e de corretivos disponíveis no mercado nacional, com ênfase aos mais adequados para o Estado do Rio de Janeiro.

5.1 Fertilizantes ou adubos minerais

Fertilizante ou adubo mineral é um produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, que fornece um ou mais nutrientes às plantas. Os fertilizantes minerais podem ser simples, quando constituídos basicamente de um composto químico, que contém um ou mais nutrientes minerais; mistos, quando resultantes da mistura de dois ou mais fertilizantes simples; e complexos, quando resultantes de processo tecnológico em que se formam dois ou mais compostos químicos.

A utilização de fertilizantes minerais em doses exageradas pode ser prejudicial às plantas tanto pela concentração exagerada de sais quanto pela presença de substâncias tóxicas; ademais, doses exageradas podem produzir impactos ambientais indesejados e/ou acumular substâncias incompatíveis com a qualidade dos alimentos.

5.1.1 Fertilizantes minerais nitrogenados

Os principais produtos usados como adubos minerais nitrogenados são fornecedores de nitrogênio, principalmente na forma amoniacal, amídica e nítrica. Em alguns casos, também pode fornecer cálcio, magnésio e/ou enxofre. Suas fórmulas e os teores de nutrientes que apresentam podem ser verificados na Tabela 1.

Atualmente, a ureia tem merecido destaque na pesquisa agropecuária, pois corresponde a 60% dos fertilizantes nitrogenados em uso no Brasil, seguida do sulfato de amônio. Esses dois fertilizantes tendem a aumentar a acidez do solo, em virtude da sua transformação microbológica.

Os adubos nitrogenados são solúveis em água. No solo, liberam rapidamente íons nitrogenados na solução, principalmente na forma de amônio. Essa forma de nitrogênio é instável no solo e pode ser perdida

em grande quantidade, pela volatilização de NH_3 para o ar, ou na forma de NO_3^- . Ao ser convertida, por transformações microbianas, em nitrato, aumentam-se as chances de perdas por lixiviação.

Tabela 1. Adubos minerais nitrogenados (teores em %).

Produto	N total	N nítrico	N amoniacal	N amídico	CaO	MgO	S
Amônia anidra (NH_3)	82	–	82	–	–	–	–
Aquamônia ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$)	16–21	–	16–21	–	–	–	–
Nitrato de amônio (NH_4NO_3)	34	17	17	–	–	–	–
Nitrato de cálcio [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$]	14	14	–	–	28	–	–
Nitrato de sódio (NaNO_3)	14	14	–	–	–	–	–
Nitrocálcio ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{calcário}$)	22–27	13,5	13,5	–	7	3	–
Sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]	20	–	20	–	–	–	24
Sulfonitrato de amônio ($\text{NH}_4 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$)	25–26	13	13	–	–	–	15
Ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]	45	–	–	45	–	–	–

Fonte: Brasil (2009).

5.1.2 Fertilizantes minerais fosfatados

Os adubos fosfatados são avaliados em função dos teores solúveis em água, em soluções de ácido cítrico e em soluções de citrato neutro de amônio, cujos valores representam o fósforo assimilável, bem como em função do fósforo total. A diferença entre os teores solúveis em ácido cítrico ou em citrato e o fósforo total indica a quantidade de fósforo passível de ser utilizada pelas plantas. Para fins de apreciação da qualidade do adubo fosfatado, deve ser dada atenção à fração disponível, e não à quantidade de fósforo total, especialmente para culturas de ciclo curto.

Em atenção à legislação pertinente, os teores de fósforo são expressos sob a forma de P_2O_5 , composto este que não está presente no adubo. A forma de representação é uma maneira de se expressar a quantidade de fósforo, e é mantida na legislação por convenção e por ser a forma tradicional de representar os teores desse elemento.

Os principais adubos minerais fosfatados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Adubos minerais fosfatados (teores em %).

Produto	P_2O_5 total	P_2O_5 solução em ácido citríco	P_2O_5 solução em água	CaO	Tipo/ Observação
Superfosfato simples	19–21	18	16	25–28	Solúvel em água, contém enxofre (12% a 14%)
Superfosfato 30	30	30	22	28	Solúvel em água, contém enxofre (8%)
Superfosfato triplo	42–48	40–44	37	17–23	Solúvel em água
Termofosfato	19	18	–	30	Fosfossilicatos, contém 18% de Mg, expresso como MgO
Fosfato monoamônico (MAP)	48–60	48–60	48–60	–	Fosfato amoniacal, contém 11% de N
Fosfato diamônico (DAP)	44–52	44–52	44–52	–	Fosfato amoniacal, contém 18% de N
Fosfato de Araxá	28–30	5–6	–	42–45	Fosfato natural
Fosfato de Patos de Minas	24	4	–	28	Fosfato natural
Fosfato natural parcialmente acidulado	26	11	10	35	Solúvel em água, contém enxofre (7%)
Fosforita da Flórida	30–31	7–8	–	42–45	Fosfato natural
Fosforita de Olinda	28–30	6–8	–	42–45	Fosfato natural
Hiperfosfato	32	12–14	–	40–42	Fosfato natural

Os adubos fosfatados são, em geral, fontes também de cálcio, e alguns deles contêm, ainda, magnésio (termofosfato), nitrogênio (MAP e DAP) e enxofre (superfosfato simples e fosfato natural parcialmente acidulado).

Para culturas com alto retorno econômico, em cuja exploração o custo dos fertilizantes representa uma pequena parcela do custo de produção, a preferência pode recair sobre os fosfatos de alta eficácia imediata, como os solúveis em água; por exemplo, o superfosfato simples, o superfostato triplo e o MAP.

5.1.3 Fertilizantes minerais potássicos

Na Tabela 3, são apresentados os produtos mais usados, como adubos minerais potássicos simples, com teores de potássio, cálcio, magnésio e enxofre com os quais são encontrados.

De maneira similar ao exposto para o fósforo, em atenção à legislação pertinente, os teores de potássio são expressos sob a forma de K_2O , composto este que não está presente no adubo. A forma de representação é uma maneira de se expressar a quantidade de potássio, e é mantida na legislação por convenção e por ser a forma tradicional de representar os teores desse elemento.

Tabela 3. Adubos minerais potássicos (teores em %).

Produto	K_2O	CaO	MgO	S
Cloreto de potássio (KCl)	58–62	0–3	0–3	0–3
Sulfato de potássio (K_2SO_4)	48–52	0–2,5	0–2	15–19
Nitrato de potássio (KNO_3 contém 12% de N)	44	–	–	–
Sulfato de potássio e magnésio [$K_2Mg(SO_4)_2$]	20–22	–	18–19	20–22

Todos os fertilizantes potássicos são solúveis em água e compatíveis para serem misturados com a maioria dos fertilizantes comerciais. O fertilizante potássico mais consumido no Estado do Rio de Janeiro é o cloreto de potássio (KCl), por ser o de menor custo por quilo de potássio aplicado. A maior parte consumida no Brasil é importada; portanto, o manejo da adubação potássica deve ser o mais adequado possível para que a eficácia agronômica seja maximizada.

Uma prática recomendada a ser associada à adubação potássica é o uso de plantas de cobertura ou de fertilizantes verdes, sobretudo leguminosas, como *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, feijão-de-porco e mucuna-cinza, e/ou gramíneas, como o capim-elefante (*Panicum maximum*) e o milheto (*Sorghum bicolor*). Essas espécies adicionam, no caso das leguminosas, expressiva quantidade de N-fixado biologicamente e também reciclam grande quantidade de potássio. Nesse caso, as gramíneas são as grandes “bombas recicladoras” de potássio nos sistemas produtivos com rotação de culturas. Milheto, por exemplo, emite raízes com até 2 m de profundidade e reciclam para a superfície do solo grandes quantidades de potássio (até 120 kg ha⁻¹ de K₂O) por ciclo. Portanto, a prática da reciclagem de potássio é fator preponderante para os cálculos de adubação potássica para os cultivos, sobretudo em solos com fertilidade já construída.

5.1.4 Adubos com enxofre

Os principais produtos que podem ser usados como fonte de enxofre para as culturas são apresentados na Tabela 4.

Como pode ser observado na Tabela 4, dependendo do adubo escolhido, o enxofre poderá ser fornecido, acompanhando a adubação nitrogenada, a fosfatada ou a potássica, ou com a aplicação de gesso agrícola (sulfato de cálcio).

A deficiência de enxofre tem sido observada em muitas culturas, principalmente em solos cultivados há muito tempo sem receber adubações que forneçam esse elemento. Nos programas de adubação, o equilíbrio entre os nutrientes merece atenção, pois a utilização de fertilizantes concentrados com elevados teores de P e/ou de N pode provocar a deficiência de S quando o teor nos solos é baixo, e provocar desbalanceamento entre ânions. Para prevenir tais ocorrências, uma

boa estratégia para os produtores é a de utilizar adubos que contenham também o S ou, pelo menos, uma das fontes de macronutrientes (N, P ou K) que o contenha.

Tabela 4. Adubos com enxofre (teores em %).

Produto	Porcentagem de S
Enxofre elementar	98–99
Fosfato natural parcialmente acidulado	7
Sulfato de amônio	24
Sulfato de cálcio (gesso agrícola)	15–16
Sulfato de magnésio	13–14
Sulfato de potássio	15–19
Sulfato de potássio e magnésio	20–22
Sulfonitrato de amônio	15
Superfosfato simples	12–14
Ureia + enxofre (com 40% de N)	7–12

5.1.5 Fertilizantes com micronutrientes

Os minerais mais utilizados com fontes inorgânicas de micronutrientes, com suas características principais, são apresentados na Tabela 5.

As fontes inorgânicas de micronutrientes apresentadas nessa tabela podem ser solúveis ou insolúveis em água. A solubilidade em água é fator determinante da eficiência agrônômica em curto prazo, para aplicações localizadas em sulco e produtos na forma granulada (ABREU et al., 2007).

Entre as fontes orgânicas, deve ser ressaltada a dos quelatos, que são estruturas cíclicas de um átomo metálico e um componente orgânico. Os quelatos podem ser aplicados no solo ou nas folhas. Alguns exemplos de quelatos sintéticos são apresentados a seguir,

Tabela 5. Fontes inorgânicas de micronutrientes.

Elemento/Produto	Concentração do elemento (%)	Solubilidade em água (g L⁻¹)
Boro		
Ácido bórico (H_3BO_3)	17	63
Bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)	11	20
Borato 46 ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$)	14	226
Borato 65 ($Na_2B_4O_7$)	20	10
Solubor ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$)	20	–
Ulexita ($Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10H_2O$ $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$)	–	Insolúvel
Cobre		
Sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	25	316
Óxido de cobre (CuO)	75	Insolúvel
Ferro		
Sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)	19	156
Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$)	23	4.400
Manganês		
Sulfato manganoso ($MnSO_4 \cdot 3H_2O$)	26–28	742
Óxido manganoso (MnO)	41–68	Insolúvel
Molibdênio		
Molibdato de amônio [(NH_4) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O]	54	430
Molibdato de sódio ($Na_2SO_4 \cdot 7H_2O$)	39	562
Óxido de molibdênio (MoO_3)	66	1
Zinco		
Sulfato de zinco ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	23	965
Óxido de zinco (ZnO)	78	Insolúvel

Fonte: adaptado de Abreu et al. (2007).

com o teor do metal, em percentual, neles contidos: Na₂Cu EDTA (13); NaFe EDTA (5-14); e Na₂Zn EDTA (14).

Outra fonte de micronutrientes existente no mercado é a dos silicatados (*fritted trace elements*) no Brasil, conhecidos como F. T. E. ou “fritas”. Esse produto é apresentado, comercialmente, como um fertilizante quimicamente neutro, não higroscópico, que pode ser misturado com outros fertilizantes, sem problema de incompatibilidade química, ou que, em virtude de sua incompatibilização gradativa, reduz o perigo da fitotoxicidade e apresenta efeito residual por não ser lixiviado no solo. Contudo, há reduzida pesquisa científica no Brasil que confirme todas essas vantagens.

5.1.6 Fórmulas NPK

A necessidade de uso simultâneo de diferentes nutrientes, em especial nitrogênio, fósforo e potássio, pode ser atendida pela aplicação dos fertilizantes chamados compostos ou formulados. Nesses adubos, a composição é definida por três números, que expressam, respectivamente, as porcentagens de N, P₂O₅ e K₂O equivalentes aos produtos que compõem a fórmula NPK.

No mercado, existem diversas formulações que permitem muitas opções de uso. As principais considerações a respeito são as que se seguem.

A proporção entre os nutrientes, calculada pela divisão dos três números pelo menor deles (geralmente o referente ao nitrogênio), define a fórmula ou a proporção básica e permite a comparação entre os diferentes adubos (Capítulo 7, item 7.4.1).

A escolha de uma fórmula é condicionada pela proporção em que aparecem os nutrientes N, P e K na recomendação específica. Assim, para atender à necessidade de adubação de uma cultura para a aplicação no plantio, por hectare, das doses de 30 kg de N, 90 kg de P₂O₅ e 60 kg de K₂O, deve-se escolher uma fórmula NPK cuja proporção básica seja igual a 1:3:2. Exemplos desses adubos são as fórmulas 5-15-10, 6-18-12 e 8-24-16, que deverão ser aplicadas, nesse caso, nas quantidades de 600 kg ha⁻¹, 500 kg ha⁻¹ e 375 kg ha⁻¹, respectivamente.

O procedimento para os cálculos é representado pelos seguintes passos:

- Obter a proporção básica entre os nutrientes, o que se consegue pela divisão das quantidades recomendadas de N, P_2O_5 e K_2O pelo menor número; no exemplo dado, 30/30, 90/30 e 60/30 geram 1:3:2.
- Verificar, entre os adubos formulados disponíveis no mercado, quais são os que apresentam idêntica proporção de N, P_2O_5 e K_2O .
- Proceder à avaliação econômica dos produtos comerciais (ver Capítulo 12).
- Calcular a quantidade do adubo comercial que atenda às doses recomendadas. No exemplo dado, e considerando-se a fórmula 8-24-16, sabe-se que em 100 kg de 8-24-16 há 8 kg de N; portanto, para o fornecimento de 30 kg de N, são necessários 375 kg dessa fórmula. Como a proporção básica é igual tanto para as quantidades recomendadas quanto para as existentes de adubo, o uso de 375 kg da fórmula 8-24-16 fornecerá ao solo 30 kg de N, 90 kg de P_2O_5 e 60 kg de K_2O , por hectare.

A fórmula NPK pode ser preparada na propriedade, por meio da mistura de quantidades adequadas dos fertilizantes simples ou mistos. Dessa forma, cuidados devem ser tomados para evitar misturas malfeitas ou reações indesejadas pelos componentes a serem misturados. As incompatibilidades entre os produtos da mistura a ser feita as quais devem ser consideradas são as relacionadas com a granulometria dos componentes, com a sua higroscopicidade e com a possibilidade de ocorrência de reações químicas que provoquem perdas ou diminuam a eficiência dos nutrientes (Tabela 6).

Na forma sólida, os fertilizantes NPK poderão ser apresentados como granulados (cada grânulo contém os elementos garantidos do produto), mistura de grânulos (os grânulos contém, separadamente, os nutrientes na proporção especificada do produto) ou, ainda, como mistura de pós ou farelados. Os fertilizantes fluidos (suspensão, solução ou emulsão) apresentam vantagens quanto a sua aplicação, por serem mais homogêneos que os fertilizantes sólidos.

Na aquisição de fertilizantes já misturados ou que deverão sê-lo, é fundamental verificar o tamanho das partículas que compõem a mistura. À exceção das fórmulas NPK granuladas ou fluidas, se os componentes apresentarem granulometria variada, poderá ocorrer sua

segregação, que consiste na separação das partículas que compõem a mistura dos fertilizantes, por ordem de tamanho. Esse fenômeno implica a distribuição irregular dos nutrientes, com prejuízos decorrentes da distribuição heterogênea no campo, o que resulta em aplicação irregular dos nutrientes.

Outras características físicas e químicas dos fertilizantes, igualmente importantes, devem ser observadas, como: a solubilidade, a higroscopicidade, a salinidade, o empedramento e a reação no solo. Vale a pena observar que, dependendo do fertilizante escolhido, esse pode acidificar o solo, como o sulfato de amônio, a ureia, o MAP e o DAP; ou, então, alcalinizar o solo, como o fosfato natural. Os fertilizantes potássicos podem ser considerados de reação neutra.

Tabela 6. Compatibilidade entre alguns adubos simples.

Mistura de adubos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sulfato de amônio (1)	–	c ⁽¹⁾	c	c	c	c	c	c	c	c	i	c
Nitrato de sódio (2)	c	–	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Nitrato de potássio (3)	c	c	–	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Nitrocálcio (4)	c	c	c	–	c	c	c	c	c	c	i	c
Nitrato de amônio (5)	c	c	c	c	–	c	c	c	c	c	i	c
Sulfonitrato de amônio (6)	c	c	c	c	c	–	c	c	c	c	i	c
Ureia (7)	c	c	c	c	c	c	–	c	c	c	ix	c
Superfosfatos (8)	c	c	c	c	c	c	c	–	c	c	i	c
Fosfato monoamônico (MAP) (9)	c	c	c	c	c	c	c	i	–	c	i	c
Fosfato diamônico (10)	c	c	c	c	c	c	c	i	c	–	i	c
Termofosfatos (11)	i	c	c	i	i	i	ix	i	i	i	–	i
Fosfatos naturais (12)	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	i	–

⁽¹⁾ c = compatíveis; i = incompatíveis; x = podem ser misturados para aplicação imediata.

5.2 Corretivos

Os solos brasileiros são predominantemente ácidos, apresentando toxidez para a maioria das plantas, por excesso de alumínio, e possuem baixos níveis de cálcio e magnésio. Para solucionar esse problema, a recomendação técnica é a utilização de corretivos do solo. O uso adequado de corretivos como, por exemplo, o calcário, além de diminuir a acidez do solo, estimula a atividade microbiana, promove a fixação simbiótica de N pelas bactérias e aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Os materiais que podem ser utilizados na correção da acidez dos solos são aqueles que contêm, em sua composição química, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio. Entre esses materiais, o calcário – rocha calcária moída – é o mais usado como corretivo, graças à frequência e à abundância com que ocorre na natureza. Em sua composição, predomina o carbonato de cálcio, associado ou não ao carbonato de magnésio.

Outros materiais que podem ser usados como corretivos são: óxido de cálcio e óxido de magnésio, obtidos pela calcinação do calcário, conhecido também como cal virgem; hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, obtidos pela hidratação dos óxidos de cálcio e de magnésio; calcário calcinado, obtido pela calcinação parcial do calcário, sendo um produto intermediário entre o calcário e a cal. Também são usadas como corretivos as escórias de siderurgia, subprodutos da indústria do aço, em que os componentes principais são o silicato de cálcio e o silicato de magnésio, que apresentam teores relativamente altos de micronutrientes. Também se pode utilizar como corretivos da acidez do solo: as conchas moídas (de 5% a 90% de CaCO_3); os resíduos das usinas de açúcar, resultantes do tratamento do caldo com cal; e as cinzas de madeira (de 20% a 25% de CaO), em que o cálcio inicialmente está na forma de óxido, passando à forma de hidróxido e carbonato tão logo é exposto ao ar e à umidade.

O sulfato de cálcio, conhecido como gesso agrícola, é um composto que, além de ser encontrado nessa forma na natureza, pode ser também obtido como subproduto no processo de fabricação de ácido fosfórico. O sulfato de cálcio não afeta significativamente a reação do solo. Além de servir como fonte de enxofre e cálcio, ele tem sido recomendado em processos de recuperação de solos com excesso de

sódio, com a finalidade de substituir o sódio trocável, que apresenta efeito dispersante, pelo cálcio, que, por sua vez, possui efeito agregador na estrutura do solo.

Uma característica positiva do gesso agrícola é o transporte de cálcio para camadas mais profundas do solo. Contudo, sua aplicação no solo feita de forma isolada pode acarretar alguns problemas, sendo o mais importante o da lixiviação de potássio e magnésio, decorrente da passagem desse sal através do perfil do solo. Há necessidade de mais estudos no Estado do Rio de Janeiro para que se possa definir sob quais condições, tipos de solos, e em que quantidade o uso do gesso pode ser vantajoso.

Os óxidos de Ca e Mg reagem instantaneamente com água, passando a hidróxidos. Esses têm solubilidade relativamente alta, e a base neles contida é forte. Por seu turno, os carbonatos e os silicatos apresentam solubilidade relativamente baixa e bases fracas. A solubilidade e a força das bases que apresentam tornam os óxidos e os hidróxidos mais reativos do que os carbonatos e os silicatos. Além disso, a reatividade dos óxidos e dos hidróxidos é também fornecida pela granulometria, pois são materiais bastante finos. Apesar dessas vantagens, os óxidos e os hidróxidos de cálcio e de magnésio apresentam algumas desvantagens, quanto à aplicação e ao manuseio, pois provocam corrosão nas máquinas e irritação na pele e nos olhos dos trabalhadores, além de seu custo ser mais alto.

Em solos tropicais, com baixa saturação de bases, o uso excessivo de aplicações de calcário para elevações substanciais do pH pode causar interações negativas no complexo de troca, acarretando desequilíbrio nutricional. Alguns dos efeitos do excesso de corretivos são: aumento da velocidade de decomposição da matéria orgânica, acelerando sua perda; imobilização ou redução da disponibilidade de nutrientes, como fósforo, ferro, manganês, zinco, boro e cobre; e alteração da relação Ca/K, com possível indução de deficiência de K.

Outro aspecto que deve ser observado é o material corretivo que está sendo aplicado, pois o uso continuado, excessivo e exclusivo de calcário calcítico (CaCO_3) em um mesmo solo reprime a absorção de Mg, em virtude do antagonismo Ca/Mg, e poderá provocar, a médio ou longo prazos, problemas nutricionais, por deficiência de Mg.

Na Tabela 7, são apresentados alguns materiais usados como corretivos e as faixas de teores de óxidos em que são encontrados no mercado.

Tabela 7. Composição de alguns materiais usados com corretivos (teores em %).

Produto	CaO	MgO	SiO₂	Fe₂O₃	Al₂O₃	MnO
Calcário calcítico	45–55	1–5	1–6	< 1	1–3	< 0,5
Calcário magnesiano	30–39	6–12	1–6	< 1	1–3	< 0,5
Calcário dolomítico	25–32	14–21	1–6	< 1	1–3	< 0,5
Escória de alto forno	36–44	2–10	15–35	2–5	10–20	1–3
Escória de forno Siemens-Martin	25–35	5–15	15–25	15–30	6–12	5–10

As características que influenciam a qualidade de um corretivo, além do teor de nutrientes, são o tamanho de suas partículas (granulometria) e o poder de neutralização da acidez, definida pela sua composição química.

A granulometria é uma característica de qualidade dos corretivos de fundamental importância para o calcário. Esse é um material de baixa solubilidade; dessa forma, quanto menor for o tamanho de suas partículas, maior será a superfície de contato entre o corretivo e o solo e, conseqüentemente, sua eficácia para a neutralização da acidez do solo.

A atual legislação sobre o assunto exige que, para a obtenção de seu registro no Mapa, os corretivos de acidez terão a natureza física sólida, apresentando-se em pó, caracterizado como produto constituído por partículas que deverão passar 100% (cem por cento) em peneira de 2 mm (ABNT nº 10), no mínimo 70% (setenta por cento) em peneira de 0,84 mm (ABNT nº 20) e no mínimo 50% (cinquenta por cento) em

peneira de 0,3 mm (ABNT n° 50). Neste capítulo, é adotada a designação de Eficiência Relativa (ER) para a reatividade do calcário. Para o cálculo da ER de um calcário conforme for sua composição granulométrica, não considerando as partículas retidas na peneira ABNT n° 10, cuja ER é zero, pode-se usar a seguinte fórmula:

$$ER = (\% \text{ retida na peneira } 20 \times 0,2) + (\% \text{ retida na peneira } 50 \times 0,6) + (\% \text{ fundo} \times 1,0)$$

Exemplo 1. Cálculo da eficiência de um calcário.

Considere-se um calcário cuja análise granulométrica apresentou os seguintes resultados: 100% do produto passaram na peneira ABNT n° 10; 80% passaram na peneira ABNT n° 20; e 60% passaram na peneira ABNT n° 50.

Nesse caso:

Partículas < 2 mm e > 0,84 mm: $100 - 80 = 20\%$ das partículas ficaram na peneira 20.

Partículas < 0,84 mm e > 0,30 mm: $80 - 60 = 20\%$ das partículas ficaram na peneira 50.

Partículas < 0,30 mm: 60%.

Aplicando-se a fórmula, obtém-se: $ER = (20 \times 0,2) + (20 \times 0,6) + (60 \times 1,0) = 4 + 12 + 60 = 76\%$.

A eficiência relativa desse calcário é, portanto, de 76%.

O poder de neutralização é a medida química da capacidade potencial total de bases neutralizantes contidas no material que pode reagir com os ácidos do solo. É expresso em equivalente em carbonato de cálcio (% CaCO_3) quimicamente puro, ao qual se atribui o valor 100, correspondente à capacidade de neutralização da acidez (Tabela 8).

A legislação determina que os produtos registrados expressem os teores de carbonatos de cálcio e de magnésio sob a forma de porcentagem de CaO e de MgO, os quais, estequiometricamente, podem ser convertidos em porcentagem de CaCO_3 e MgCO_3 , multiplicando-se pelos fatores de 1,79 e 2,48, respectivamente.

Tabela 8. Equivalente em carbonato de cálcio de vários materiais empregados como corretivos.

Material	E CaCO_3	E CaCO_3 (%)
Carbonato de cálcio (CaCO ₃)	1,00	100
Carbonato de magnésio (MgCO ₃)	1,19	119
Hidróxido de cálcio [Ca(OH) ₂]	1,35	135
Hidróxido de magnésio [Mg(OH) ₂]	1,72	172
Óxido de cálcio (CaO)	1,79	179
Óxido de magnésio (MgO)	2,48	248
Silicato de cálcio (CaSiO ₃)	0,86	86
Silicato de magnésio (MgSiO ₃)	1,00	100

Tendo-se os teores de óxido de cálcio e de óxido de magnésio de um corretivo, determinados por meio da análise química, pode-se calcular a % E CaCO_3 , ou o poder de neutralização (PN) do corretivo, usando-se a fórmula:

$$\text{PN} = \% \text{CaO} \times 1,79 + \% \text{MgO} \times 2,48$$

Exemplo 2. Cálculo do poder de neutralização de um calcário.

A análise química do calcário mencionado no exemplo 1 apresentou os seguintes resultados:

$$\text{CaO} = 27,0\% \text{ e } \text{MgO} = 12\%$$

Aplicando-se a fórmula, obtém-se:

$$\text{PN} = 27,0 \times 1,79 + 12,0 \times 2,48$$

$$\text{PN} = 48,33 + 29,76 = 78,09\%$$

Em uma avaliação preliminar, pode-se depreender que, quanto maior o teor de neutralização, melhor a qualidade do corretivo. No entanto, é necessário lembrar que esse maior valor no poder de neutralização pode ser decorrente de alterações nas características químicas e físicas dos corretivos, que acarretam algumas desvantagens, como é o caso dos óxidos e hidróxidos, já mencionados anteriormente.

Englobando a granulometria e o poder de neutralização, foi estabelecido um índice para exprimir a eficiência de um corretivo, denominado Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), que é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{PRNT} = (\text{ER} \times \text{PN}) / 100$$

em que

ER = eficiência relativa, % em função da granulometria.

PN = poder de neutralização.

% ECaCO_3 conforme forem os teores de CaO e MgO.

Esse índice, por englobar duas importantes características dos corretivos, é de grande utilidade, pois define a qualidade do calcário, considerando sua capacidade de, efetivamente, corrigir a acidez do solo.

Exemplo 3. Cálculo do PRNT de um calcário.

Usando o mesmo calcário mencionado nos exemplos 1 e 2, tem-se:

Análise granulométrica:

Partículas < 2 mm e > 0,84 mm = 20%.

Partículas < 0,84 mm e > 0,30 mm = 20%.

Partículas < 0,30 mm = 60%.

A eficiência relativa desse calcário é:

$$\text{ER} = (20 \times 0,2) + (20 \times 0,6) + (60 \times 1,0).$$

$$\text{ER} = 4 + 12 + 60 = 76\%.$$

Análise química:

$$\text{Ca} = 27,0\%.$$

$$\text{Mg} = 12\%.$$

O poder de neutralização desse calcário é:

$$\text{PN} = 27,0 \times 1,79 + 12,0 \times 2,48.$$

$$\text{PN} = 48,33 + 29,76 = 78,09 \approx 78,1\%.$$

Aplicando-se os valores de ER e PN na fórmula:

$$\text{PRNT} = (76 \times 78,1)/100, \text{ ou } \text{PRNT} = 59,36\%.$$

O PRNT desse calcário é, então, de 59,4%.

As recomendações de calagem fornecidas aos usuários nos boletins de resultados dos laboratórios de análise de amostras de terra são feitas com base em calcário com PRNT de 100%. Assim, ao ser utilizado um calcário com PRNT menor do que 100%, fato que ocorre com frequência, a quantidade do produto a ser aplicada deve ser proporcionalmente maior, havendo necessidade de efetuar a correção da quantidade recomendada para que o efeito desejado seja alcançado.

Suponha-se que a recomendação recebida pelo usuário tenha sido a de aplicar 2 t de calcário por hectare, e que o calcário que ele possui é o mencionado no exemplo 3, portanto, com PRNT de 59,4%. Será necessário aplicar maior quantidade desse calcário com PRNT de 59,4% para se alcançar efeito semelhante ao que seria obtido com a aplicação da quantidade recomendada do calcário com PRNT de 100%.

Nesse caso, tem-se:

quantidade recomendada: 2 t de calcário (PRNT = 100%) ha⁻¹.

$$(2 \times 100) / 59,4 = 3,37 \approx 3,4 \text{ t ha}^{-1}.$$

Assim sendo, a quantidade a ser aplicada, por hectare, é de 3,4 t do calcário com PRNT de 59,4%.

Pelo exemplo, deduz-se que, quanto mais alto o PRNT de um calcário, menor a quantidade a ser aplicada para atingir o pH desejado.

A calagem é a técnica de incorporação desses materiais corretivos ao solo, com o objetivo de proporcionar maior suprimento de cálcio e de magnésio às plantas e eliminar os efeitos nocivos da acidez do solo, destacando-se a toxidez do alumínio (Al^{+++}).

A calagem somente deve ser feita com base em análise de amostras de terra da área e em nível adequado à espécie ou à cultivar que será explorada. Deve também ser acompanhada da adubação necessária para o bom desenvolvimento da cultura. Em níveis mais altos de aplicação de calcário, atenção especial deve ser dada à possível necessidade de micronutrientes.

Para Organossolos (Capítulo 2), deve ser evitada a calagem em doses elevadas, e métodos de recomendação diferenciados devem ser usados.

As quantidades de calcário a serem aplicadas devem ser determinadas também levando em consideração critérios econômicos a médio e longo prazos. Recomenda-se que a quantidade máxima de calcário a ser aplicada não ultrapasse $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. No caso de necessidade superior a 4 t ha^{-1} , aconselha-se o fracionamento da dose calculada em duas ou mais aplicações, respeitando-se esse limite anual.

A aplicação do calcário deve ser feita com antecedência de 2 a 3 meses do plantio, para que possam ocorrer as reações do material corretivo com o solo.

Para a obtenção de bons resultados, o calcário deve ser muito bem misturado ao solo. Recomenda-se, sempre que possível, aplicar uma metade da dose antes da aração e a outra metade após, seguindo-se, então, nova incorporação, por meio de gradagem.

5.3 Fiscalização de fertilizantes, corretivos e inoculantes

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento possui a atribuição legal de fiscalizar a produção e o comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes, conforme disposto na Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, regulamentada pelo Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004.

Os estabelecimentos que produzem, importam, exportam e comercializam esses insumos ficam obrigados a se registrar no Mapa, assim como os produtos por eles fabricados ou importados.

5.3.1 Legislação sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes

É importante conhecer as normas legais que regem a matéria. A seguir, está apresentada a legislação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a respeito, com as ementas respectivas.

Lei e Decreto

Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências.

Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências.

Instruções Normativas

Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

Instrução Normativa nº 20, de 2 de junho de 2009. Altera a Instrução Normativa nº 10, de 6/5/2004.

Instrução Normativa nº 31, de 23 de outubro de 2008. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007.

Instrução Normativa nº 40, de 30 de junho de 2008. Dispõe sobre a importação de animais, vegetais, seus produtos, derivados e partes, subprodutos, resíduos de valor econômico e dos insumos agropecuários constantes do Anexo desta Instrução Normativa, a qual

atenderá aos critérios regulamentares e aos procedimentos de fiscalização, inspeção, controle de qualidade e sistemas de análise de risco, fixados pelos setores competentes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e observarão as normas para registro no Siscomex.

Instrução Normativa nº 21, de 16 de abril de 2008.

Altera a Instrução Normativa nº 5, de 23/2/2007.

Anexo VI – atualizado em 29/6/2009.

Anexo II – atualizado em 28/12/2009.

Instrução Normativa nº 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial (CGAL/SDA/Mapa), na Biblioteca Nacional de Agricultura (Binagri) e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Instrução Normativa nº 24, de 20 de junho de 2007. Reconhece os métodos para a determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas, conforme o art. 71, do Anexo do Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004.

Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa.

Instrução Normativa nº 5, de 23 de fevereiro de 2007. Aprova as definições e as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura, conforme Anexos a esta Instrução Normativa.

Anexo III – atualizado em 30/10/2008.

Anexo IV – atualizado em 14/4/2009.

Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006. Ficam aprovadas as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa.

Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, os quais deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, a animais e a plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.

Instrução Normativa nº 14, de 15 de dezembro de 2004. Aprova as Definições e as Normas sobre as Especificações e as Garantias, as Tolerâncias, o Registro, a Embalagem e a Rotulagem dos Substratos para Plantas, constantes do Anexo desta Instrução Normativa.

Para mais esclarecimentos sobre a fiscalização de fertilizantes, corretivos e inoculantes, entrar em contato com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento por meio do site².

²Disponível em: <www.agricultura.gov.br>