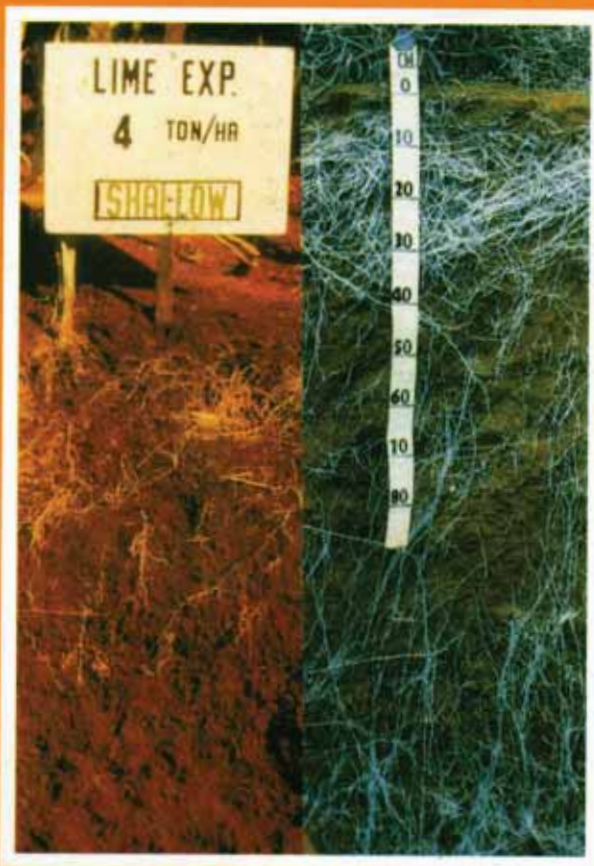


Saber

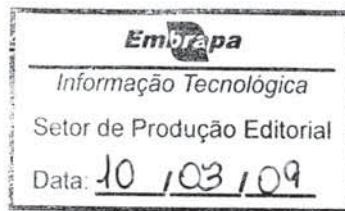
coleção

Calagem e Adubação



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Calagem e Adubação



**Serviço de Produção de Informação - SPI
Brasília, DF
1995**

Coleção Saber, 1

Coordenação editorial: *Araquem Calhao Motta e Marina A. Souza de Oliveira*

Editor responsável: *Carlos M. Andreotti, M.Sc., Sociologia*

Projeto gráfico: *Mayara Rosa Carneiro e Sirlene Siqueira*

Editoração eletrônica: *Carlos Eduardo Felice*

Copy desk e revisão editorial: *Francisco C. Martins e Terezinha S. Gomes Quazi*

1ª edição:

1ª impressão (1995): 5.000 exemplares

2ª impressão (2000): 500 exemplares

3ª impressão (2001): 1.000 exemplares

4ª impressão (2002): 700 exemplares

5ª impressão (2003): 1.000 exemplares

6ª impressão (2006): 1.000 exemplares

7ª impressão (2008): 1.000 exemplares

Edição especial para o **Fome Zero** (2004): 1.500 exemplares

Edição especial para o **Fome Zero** (2007): 1.500 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Informação Tecnológica

GODERT, W. J. Calagem e Adubação. – Brasília: Embrapa-CPAC : EMBRAPA-SPI, 1995.
59p.: il. – (Coleção Saber, 1).

Nome atual da editora: Embrapa Informação Tecnológica

ISBN 85-85007-64-8

I. Solo-Adubação. 2. Solo-Calagem. 3. Solo-Manejo.
I. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). II. EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação (Brasília, DF). III. Título. IV. Série.

CDD 631.08831.42

© Embrapa - 1995

Autor

Wenceslau J. Goedert

Eng^o Agr^o, Ph.D., Ciência do Solo

Apresentação

O Brasil já dispõe de um volume substancial de conhecimentos, gerados a partir da pesquisa agrícola. A inserção desses conhecimentos junto a segmentos mais amplos da sociedade tem exigido considerável esforço, no sentido de assegurar a qualidade técnica das informações e, ao mesmo tempo, tornar disponíveis textos que possam ser consumidos por todas as pessoas interessadas nos temas referentes à agropecuária, à agroindústria e ao meio ambiente, independentemente de os leitores serem ou não especialistas nesses assuntos.

A exemplo da *Coleção Plantar*, que tem alcançado grande sucesso editorial, atendendo às necessidades de informação de produtores, técnicos, sítiantes, chacareiros, donas-de-casa e demais interessados em práticas agrícolas que lhe reduzam desperdícios, permitindo-lhes maior sucesso em suas atividades rurais, a EMBRAPA lança, com este número, a *Coleção Saber*.

Trata-se de tornar acessível, em linguagem simples, aos públicos já citados e também a estudantes e técnicos, conceitos que dão fundamento às recomendações originadas na pesquisa científica ou mesmo apresentar técnicas e processos que podem ser empregados em negócios agrícolas ou agroindustriais.

A EMBRAPA, por meio de seus centros de pesquisa, do seu Serviço de Produção de Informação - SPI e de colaboradores de tantas outras importantes instituições de pesquisa no País, espera, sinceramente, estar contribuindo para a melhoria do entendimento de questões tão importantes para o desenvolvimento sustentável de nosso País.

Lucio Brunale

Gerente-Geral

Sumário

Introdução	9
Calagem	11
Efeitos	12
Dosagem	16
Manejo	20
Adubação	24
Nutrientes Essenciais	26
Dosagem	33
Fontes de Fertilizantes	42
Perdas de Nutrientes	48
Manejo	50
Eficiência Agronômica e Econômica	54
Conclusões	57

Introdução

Os solos agricultáveis brasileiros, em sua maioria, são ácidos e de baixa fertilidade natural, principalmente com relação ao nutriente fósforo. Essa afirmação é especialmente válida para as ecorregiões dos Cerrados e dos trópicos úmidos.

Em conseqüência, a produção de alimentos e matérias-primas agrícolas é muito dependente das práticas de calagem e da adubação, tanto de origem mineral quanto orgânica.

O objetivo desse título é apresentar e discutir essas práticas largamente utilizadas na agropecuária brasileira, particularmente em termos de seus efeitos, dosagens e manejos, considerando que a meta dessas práticas é aumentar a produtividade do sistema agrícola e preservar o ambiente.

A acidez dos solos é normalmente refletida pelo baixo pH (entre 4 e 5,5), elevada saturação de alumínio e baixos teores de bases trocáveis (soma de cálcio, magnésio, potássio e sódio trocáveis). O pH é um índice que reflete o equilíbrio entre a concentração dos íons H^+ e OH^- existente na solução do solo, em determinado momento. Íons trocáveis são aqueles adsorvidos (adsorção é a retenção temporária de íons ou moléculas na superfície de substância sólida) na fração sólida do solo, mas em equilíbrio com a solução do solo e portanto, potencialmente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas.

Em solos ácidos, as plantas têm pouco desenvolvimento de raízes, o que limita o aproveitamento da água e dos nutrientes adicionados ao solo, por meio dos adubos

ou fertilizantes. É necessário corrigir a acidez para se obter melhor absorção dos nutrientes, melhor aproveitamento dos fertilizantes e, conseqüentemente, produtividades mais altas das plantas. O corretivo mais utilizado na agricultura brasileira é o **calcário dolomítico** (mistura natural de carbonato de cálcio e de magnésio).

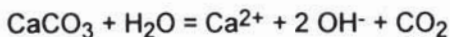
Efeitos

A calagem, ou seja, a aplicação e incorporação de calcário ao solo, tem os seguintes efeitos imediatos e diretos:

- aumento do pH;
- diminuição do teor de alumínio trocável (Al^{3+}) e da saturação de alumínio no complexo de troca (expressa pelo percentual dos sítios de troca ocupados por Al);
- aumento do teor de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis e da saturação de bases.

Esses efeitos são explicados pelas seguintes reações que acontecem quando o calcário é aplicado ao solo:

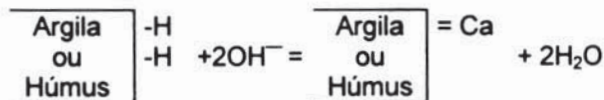
Reação 1:



Reação 2:



Reação 3:



Verifica-se que a reação do calcário com o solo úmido (Reação 1) produz íons hidroxilas (OH^-), os quais reagem com alumínio trocável (Reação 2) e com o hidrogênio trocável (Reação 3). O resultado dessas reações é que a acidez é neutralizada, resultando num

solo com maior pH, menos alumínio tóxico e mais cálcio e magnésio trocáveis, ou seja, um solo mais adequado para o crescimento das raízes e das culturas.

Além desses efeitos químicos, a calagem resulta em outras melhorias para o solo, tais como: aumento da capacidade de troca de cátions (mais cargas negativas), favorecimento da atividade biológica e aproveitamento mais eficiente de nutrientes adicionados pela adubação. O aumento das cargas negativas reflete-se na menor lixiviação ou perda de nutrientes, especialmente do potássio. A atividade biológica do solo, a fixação de nitrogênio atmosférico e a mineralização da matéria orgânica são favorecidas com a aplicação de calcário ao solo.

A principal resultante prática da calagem, contudo, está na produtividade das culturas, conforme mostra a Fig. 1 em relação ao cultivo de milho, em solo ácido da Região

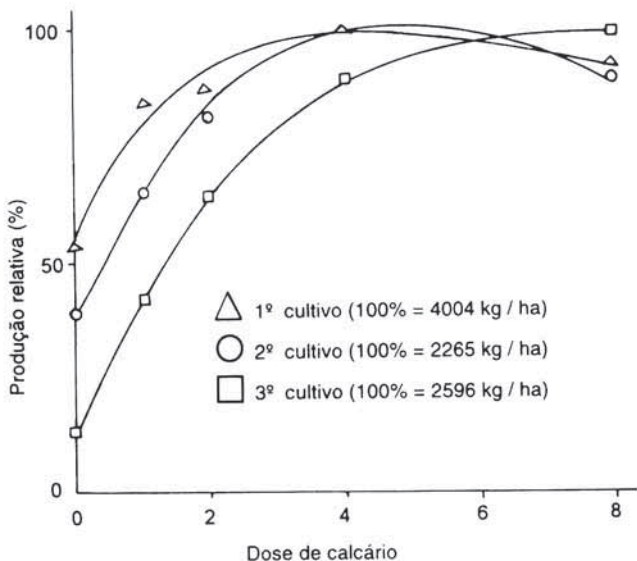


Fig. 1. Produção relativa de uma seqüência de culturas de milho, em função de doses de calcário, aplicadas a lanço num solo argiloso, por ocasião do primeiro cultivo.

dos Cerrados. Verifica-se que a produção de milho, sem calagem (mesmo com adubação adequada), é muito baixa, mas cresce com a aplicação de calcário. Observa-se também o efeito residual da calagem por vários anos,

ou seja, a produção de milho mantém-se alta quando doses altas de calcário foram aplicadas no primeiro ano. Inversamente, observa-se nesta figura, um decréscimo de produção ao longo dos anos quando não foi aplicado calcário no primeiro ano ou mesmo quando doses baixas foram aplicadas.

Como toda prática agrícola, a calagem tem dosagem ótima de calcário. Aplicações acima da necessidade podem causar prejuízos na produção e efeitos negativos no solo, principalmente na menor disponibilidade de alguns nutrientes. Por isso, é muito importante aplicar a dose correta.

Dosagem

Os métodos para estimar a necessidade de calagem têm como fundamento a elevação de pH do solo ou a redução de um efeito tóxico a um nível desejado, levando em conta os componentes de acidez do solo.

Os métodos mais utilizados são:

1. Método SMP

O método conhecido por SMP, bastante difundido no Sul do País, tem como princípio o decréscimo do pH de uma solução-tampão (solução que resiste à mudança de pH) após equilíbrio com o solo. Com o valor do pH SMP, utiliza-se uma tabela (ou função) para estimar a necessidade de calagem. Essa tabela (ou função) deve ser obtida em cada região, pois os dados obtidos numa região podem subestimar ou superestimar a necessidade real de calcário em outra região.

2. Método do Al, Ca e Mg

O método baseado nos teores de alumínio, cálcio e magnésio, extraídos com solução normal de cloreto de potássio é bastante utilizado no Brasil Central. Estima a necessidade de calcário (N.C.), em t/ha, através de fórmulas, às vezes consideradas empíricas, tal como:

$$\text{N.C.} = (\text{Al} \times 2) + [2 - (\text{Ca} + \text{Mg})]$$

sendo o Al e Ca + Mg expressos em miliequivalentes/100 cm³ de solo.

3. Método de saturação de bases

Este método é baseado na correlação verificada pela pesquisa entre o pH e a saturação de bases do solo. A fórmula utilizada é a seguinte:

$$\text{N.C.} = \frac{\text{CTC} (V_2 - V_1)}{100}$$

Onde,

CTC = capacidade de troca de cátions obtida pela soma de bases (Ca, Mg, K, Na) e H + Al extraídos com acetato de cálcio 1N pH 7,0;

V1 = Saturação de bases atual do solo, obtida pela relação soma de base x 100/CTC;

V2 = saturação de bases desejada, geralmente 50% a 60%.

Na seleção de um método para estimar a necessidade de calcário é necessário conhecer a relação entre o rendimento das diferentes culturas e o pH do solo. As tabelas de recomendação de calagem e adubação, disponíveis em cada estado ou região, fornecem os detalhes dessa relação.

Finalmente, deve-se ressaltar que as doses calculadas através desses métodos ou fórmulas partem do princípio de que o calcário a ser utilizado tem um Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 100%. Caso o calcário tenha um índice diferente, é necessário corrigir a dose calculada por um fator (f), obtido pela equação:

$$f = \frac{1}{\text{PRNT}}$$

Manejo

Uma vez definida a dose de calcário, a primeira preocupação do produtor diz respeito à escolha do melhor produto a ser adquirido, considerando sua qualidade e seu preço.

A qualidade de um calcário é medida pela sua composição química (teor de óxidos de cálcio e magnésio) e pela sua granulometria (expressa pelo tamanho das partículas de calcário). A combinação desses fatores é expressa pelo PRNT. Em termos gerais, um bom calcário deve ter:

- a) alto teor de óxidos de Ca e Mg;
- b) adequada relação Ca/Mg trocáveis (em torno de 5);
- c) alta percentagem de partículas finas, ou seja, ser finamente moído;
- d) preço compatível com sua qualidade ou com seu PRNT.

Adquirido o calcário, surge a necessidade de definir os procedimentos de sua aplicação ao terreno e incorporação ao solo.

A época de aplicação varia em função das condições climáticas e do manejo da propriedade. Sempre que possível é recomendado aplicar o calcário com antecedência de três a seis meses do plantio, já que é necessário tempo para sua reação com o solo. Mas sua reação só ocorre com a existência de umidade no solo.

O método mais comum de aplicação é a distribuição uniforme na superfície do solo (manual ou com máquinas distribuidoras de calcário), com posterior incorporação.

O método e a profundidade de incorporação do calcário são fatores de grande relevância e muitas vezes determinam o menor ou maior sucesso dessa prática.

A recomendação para se obter melhor uniformidade de incorporação é a aplicação da metade da dose antes da lavração e a outra

metade após a lavração, antes da gradagem. Essa recomendação é especialmente válida quando o solo é virgem (1^o cultivo) e quando a dose recomendada é alta.

De modo geral, é importante incorporar o calcário à maior profundidade possível, criando condições adequadas para o crescimento das raízes em camadas mais profundas de solo (Fig. 2). Incorporações rasas (inferiores a 20cm) resultam em concentração das raízes na superfície do solo, camada que seca mais rapidamente nos períodos de estiagem.



Fig. 2. Distribuição normal do sistema radicular do milho em perfil de solo calcareado do Cerrado.

O manejo da calagem, contudo, varia de propriedade para propriedade. Geralmente é função das condições climáticas e da disponibilidade de tempo e de maquinaria adequada. Em resumo, o manejo deve ser decidido pelo produtor em função desses fatores.

Adubação

A maioria dos solos agricultáveis do Brasil apresenta média a baixa capacidade de suprir os elementos nutritivos ou nutrientes de que as plantas necessitam para produzir economicamente. Mesmo solos com alta fertilidade natural tendem a diminuir sua capacidade produtiva em consequência da extração ou retirada dos nutrientes por sucessivas colheitas e, muitas vezes, também em função da perda de nutrientes por lixiviação e erosão.

A solução para esse problema é a adubação, ou seja, a incorporação de produtos naturais ou industrializados que contêm, em sua composição, altos teores dos nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas.

Em síntese, a adubação é a prática agrícola que trata da utilização racional dos adubos ou fertilizantes.

Os adubos podem ser de origem orgânica ou mineral. Recentemente, tem havido discussões sobre adubação mineral *versus* adubação orgânica. Na realidade agrícola, essas fontes são complementares e não competitivas, tendo em vista que os adubos orgânicos têm como papel mais destacado, o melhoramento das propriedades físicas e biológicas do solo, ao passo que o papel dos adubos minerais é a melhoria das propriedades químicas e o fornecimento de nutrientes, conforme se verá mais na frente.

As propriedades físicas e biológicas mais influenciadas pela adubação orgânica são a estruturação e aeração do solo, a capacidade de retenção de água e as atividades microbianas, ao passo que a propriedade química mais influenciada pela adubação mineral é a capacidade de troca de íons.

Em conjunto com a calagem, a adubação tem representado um fator importante na produção agrícola brasileira e representa parcela substancial no custo dessa produção.

Por isso, requer conhecimentos e tecnologias específicas, principalmente em termos de quantidade (dose), fonte, época e modo de aplicação.

Nutrientes Essenciais

As pesquisas têm demonstrado que os vegetais somente crescem e produzem alimentos ou fibras com a presença de um conjunto de elementos ou nutrientes. Este conjunto pode ser assim descrito:

- **Macronutrientes primários** (elementos necessários em grandes quantidades): carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo e potássio.
- **Macronutrientes secundários** (elementos necessários em quantidades médias): cálcio, magnésio e enxofre.
- **Micronutrientes** (elementos necessários em pequenas quantidades): zinco, molibdênio, cobre, boro, manganês, ferro e cloro.

O carbono, o oxigênio e o hidrogênio contidos nas plantas têm origem na água e no ar. Os demais elementos essenciais têm origem no solo e são para eles que se voltam as atenções da prática da adubação. Tendo em vista a grande quantidade necessária e o custo, as maiores atenções são concentradas nos seguintes nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Na prática, a produção fica limitada pelo nutriente com menor disponibilidade para a cultura (Figs. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10) . Esse conceito é conhecido como *lei do mínimo* e pode ser representado, didaticamente, por um recipiente de bordas irregulares na altura (Fig. 11). A capacidade do recipiente fica limitada à menor altura da borda, ou seja, a capacidade produtiva do sistema solo/planta fica limitada pelo nutriente que esteja menos disponível no ambiente. De modo geral, o fósforo é o nutriente que mais comumente se encontra nessa situação, na agricultura brasileira.

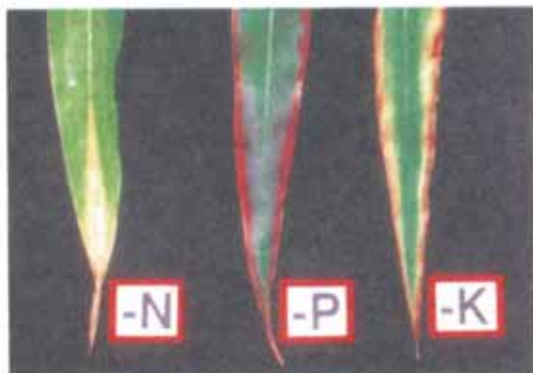


Fig.3. Sintomas típicos de deficiência de nitrogênio, fósforo e potássio em folhas de milho.



Fig. 4. Plantas adultas de milho com deficiência de nitrogênio



Fig. 5. Plantas de milho com deficiência de fósforo



Fig. 6. Plantas de soja com deficiência de potássio



Fig. 7. Plantas de milho com deficiência de magnésio.



Fig. 8. Plantas de milho com deficiência de enxofre.



Fig. 9. Plantas de milho com deficiência de zinco



Fig. 10. Planta de mandioca com sintoma de deficiência de manganês.

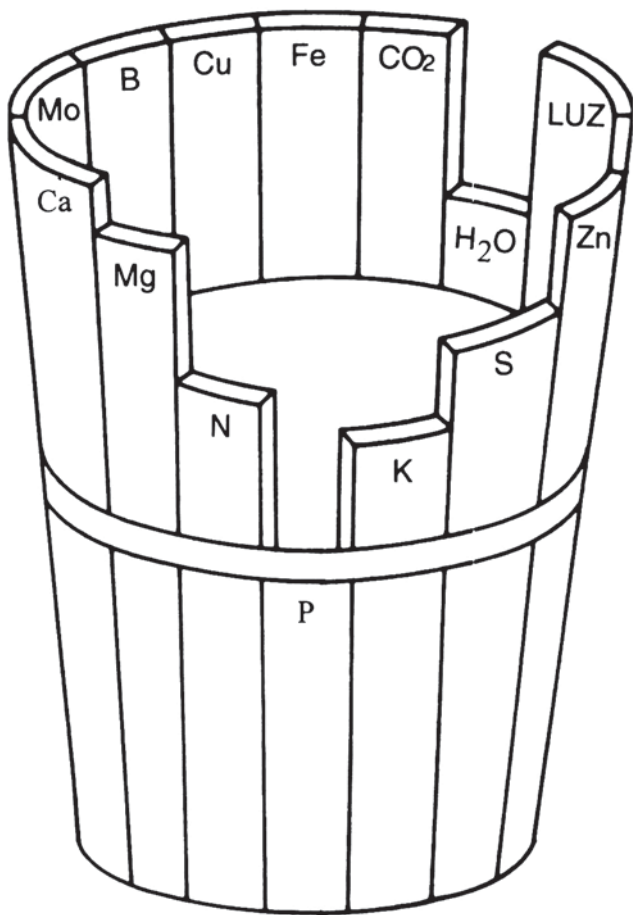


Fig. 11. Representação da lei do mínimo de Liebig

Outro conceito importante para a nutrição vegetal é que plantas não absorvem compostos ou moléculas, mas somente íons. Isto significa que qualquer fertilizante adicionado ao solo ou aplicado nas folhas deverá se dissolver ou se decompor, formando íons na solução do solo. As raízes das plantas absorvem essa solução contendo os nutrientes na forma iônica.

Dosagem

Qual a quantidade (dose) de adubação recomendada? Essa é uma pergunta comumente feita por todos os produtores, seja de culturas anuais, perenes ou pastagens.

A recomendação de calagem e adubação é um processo relativamente complexo pois envolve aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Pressupõe, portanto, o conhecimento prévio de algumas variáveis e informações. Essas informações podem ser organizadas em três grupos:

• **Características da propriedade** - é importante conhecer as características da propriedade ou empresa agrícola, tais como condições ambientais, histórico de uso da área, rendimento ou produtividade a ser atingida pela cultura e nível de manejo. Embora todas sejam importantes, destaca-se o nível de produtividade desejado pelo produtor, pois quanto maior esse nível, maior o requerimento de nutrientes e maior deverá ser a dose de adubação. Os dados resumidos na Tabela 1 mostram a quantidade de alguns nutrientes extraídos do solo por algumas culturas, por tonelada de grãos produzidos.

Tabela 1. Quantidade aproximada de nutrientes retirados do solo para produzir uma tonelada de grãos.

Cultura	N	kg/ha	
		P ₂ O ₅	K ₂ O
Arroz	16	8	21
Feijão	102	21	113
Milho	29	13	83
Soja	95	24	43
Trigo	35	14	32

- **Condições externas à propriedade** - a variável mais importante tem sido a relação de preços entre o fertilizante e o produto a ser comercializado. A magnitude dessa relação é que vai determinar a dose de maior retorno econômico. Outras informações importantes na decisão da dosagem são os custos fixos da lavoura, a disponibilidade de recursos financeiros para investimento e as condições de infra-estrutura. Os custos fixos representam as despesas realizadas para implantação da lavoura, independentemente da adubação, tais como: compra de sementes, preparo do solo, plantio, capinas, colheita, etc. A infra-estrutura diz respeito à existência de maquinaria, vias de acesso, etc.

- **Tecnologia disponível** - a tecnologia disponível representa o somatório da experiência existente, usualmente obtida com experimentação programada para cada região. Dentre os resultados experimentais relevantes para formalizar recomendações,

destaca-se a obtenção de curvas de respostas (gráficos ou funções que expressam a resposta da cultura à aplicação de doses crescentes do insumo) das principais culturas à adição de calcário, de fertilizantes e de outros insumos com influência direta na fertilidade do solo. O conhecimento dessas respostas permite estabelecer níveis ou faixas de adubação com maior retorno econômico.

A análise de amostra representativa do solo é, universalmente, o instrumento mais utilizado e imprescindível para recomendar calagem e adubação. Ela deve ser interpretada à luz das várias informações mencionadas anteriormente. Para culturas perenes, é também utilizada a análise foliar.

Para a recomendação de adubação, deve-se conhecer a relação entre a análise do solo e a quantidade de nutrientes a ser aplicada, para se obter a produção desejada. O sistema mais simples é a obtenção, para cada classe de solo, de curvas de resposta

relacionando o rendimento de cada cultura com a dose de fertilizante aplicado (Fig. 12).

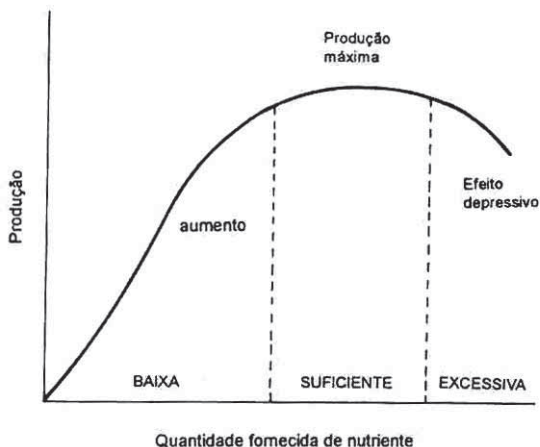


Fig. 12. Curva de resposta esquemática mostrando o efeito da aplicação de um nutriente sobre a produção de uma cultura.

A definição da dose de fertilizante recomendada para cada classe é um processo relativamente complexo, já que deve considerar vários fatores, tais como: interação

entre nutrientes, efeito residual, nível de manejo da lavoura e, principalmente, os aspectos econômicos da adubação.

O esquema mais simples e mais utilizado é o estabelecimento da dose de máxima eficiência econômica (Fig. 13). As doses mais econômicas para cada classe de

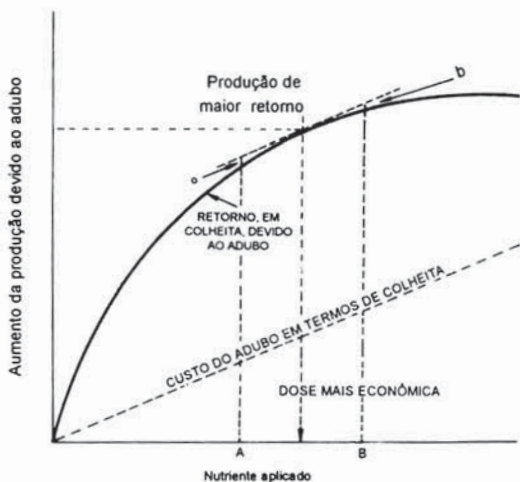


Fig. 13. Representação gráfica do conceito de dose mais econômica. Note-se que uma variação de 25% para mais ou para menos teria pequena consequência prática, com "prejuízos" representados por a ou b.

solo podem servir para construir tabelas de adubação, para cada cultura e para cada nível de manejo.

Normalmente, todos os experimentos realizados para obter curvas de resposta são realizados com o uso de fertilizantes solúveis. A substituição por fontes de baixa solubilidade requer o prévio conhecimento da eficiência agrônômica dessas fontes quando comparadas com as solúveis.

Para cada estado ou região existe disponível um Manual de Recomendação de Calagem e Adubação, com tabelas para cada tipo de cultura, baseadas na análise do solo ou da planta. Um exemplo é mostrado a seguir, com dados extraídos do Manual **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo** (Boletim Técnico nº 100, IAC, SP), para a cultura do feijoeiro, com produtividade esperada de 2.000kg/ha de grãos.

- **Calagem** - elevar a saturação de bases a 70% nos casos em que seu valor for inferior a 60%.
- **Adubação orgânica** - é indicada a rotação de culturas e a incorporação de restos vegetais ou, ainda, a adubação verde, principalmente em solos sujeitos a ressecamento, nos quais a aplicação de esterco ou compostos também é desejável.
- **Adubação mineral no plantio** - deve ser feita de acordo com a análise do solo e a seguinte tabela, para fósforo e potássio:
- **Adubação mineral em cobertura** - aplicar 30-40kg/ha de N, quinze a 25 dias após a emergência das plantas. Em solos de várzea ou com incorporação recente de quantidade elevada de palhada, é conveniente aplicar um terço do nitrogênio no plantio.

A recomendação de adubação envolve vários nutrientes, especialmente os três macronutrientes primários: nitrogênio,

fósforo e potássio. Para atender a essa demanda, são produzidas, pelas indústrias, as conhecidas fórmulas N-P-K, disponíveis no mercado em diversas combinações, por vezes contendo também micronutrientes.

Contudo, é comum o uso de fontes simples de nutrientes, as quais podem ser misturadas, pelo próprio produtor, na proporção recomendada, ou incorporadas isoladamente. Nesta alternativa, é preciso atentar para a solubilidade das fontes fertilizantes, pois as recomendações normalmente são feitas com base em fertilizantes solúveis. Essa questão merece mais atenção quando se trata de fontes de fósforo. No mercado brasileiro, estão disponíveis fosfatos de solubilidade muito variada, desde fosfatos naturais (menos solúveis) até superfosfatos (mais solúveis). As normas de comercialização desses fertilizantes são estabelecidas pela legislação brasileira, sob responsabilidade do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária - MAARA.

Fontes de Fertilizantes

Fertilizante ou adubo é um produto mineral ou orgânico, natural ou industrializado, fornecedor de um ou mais nutrientes vegetais. Existe uma grande variedade de materiais que podem ser usados como fertilizantes. Do ponto de vista químico, eles podem ser classificados em minerais, orgânicos e organo-minerais.

Os fertilizantes minerais são compostos inorgânicos ou mesmo orgânicos industrializados, como é o caso da uréia. Esses fertilizantes podem ser simples, mistos ou complexos.

Os orgânicos são compostos de origem natural, vegetal ou animal. Os principais materiais orgânicos usados na agricultura brasileira são: esterco, tortas, farinhas, bagaço de cana, palhas, adubos verdes e restos de culturas. Os fertilizantes orgânicos normalmente possuem baixo teor de

nutrientes. Assim, seu papel principal é o de melhorar as condições do solo, tais como o aumento da porosidade, aeração, retenção de água, atividade microbiana e capacidade de retenção de nutrientes. Sua ação é dependente da aplicação de grandes quantidades no solo, fato que limita seu uso em virtude da pouca disponibilidade e do custo do produto, principalmente quando envolve transporte.

Os fertilizantes organo-minerais são resultantes da mistura de compostos orgânicos e minerais. Sua aplicação tem sido restrita.

Do ponto de vista físico, os fertilizantes podem ser categorizados em sólidos, líquidos ou fluídos e gasosos. Os sólidos podem ser aplicados na forma de pó ou granulados. A grande maioria dos fertilizantes minerais é produzida e usada na forma sólida e granulada, em virtude da facilidade de manuseio e de aplicação ao solo. Os fluídos se apresentam no estado líquido, seja na

forma de soluções ou suspensões. Os gasosos são pouco empregados no Brasil.

A eficiência dos diversos fertilizantes está estreitamente relacionada com suas características ou propriedades. Dentre estas se destacam a **concentração** em nutrientes e a **solubilidade** quando aplicadas ao solo.

Os fertilizantes com alta concentração de nutrientes apresentam vantagens econômicas quanto ao armazenamento, transporte e aplicação, apesar de exigirem alta tecnologia de produção industrial.

A solubilidade reflete a capacidade de um material se dissolver em água ou outra solução diluída, tal como ácido nítrico ou citrato de amônio. Conforme discutido anteriormente, as plantas absorvem os nutrientes na forma iônica, sendo, assim, necessário que os materiais fertilizantes adicionados ao solo se decomponham e se dissolvam. O uso de materiais de baixa ou média solubilidade requer um manejo especial.

A grande maioria dos fertilizantes utilizados na agricultura brasileira é de origem mineral, no estado sólido, na forma granulada e de alta solubilidade. A Tabela 2 relaciona as principais fontes de fertilizantes consumidos no Brasil e suas principais características.

Tabela 2. Fontes de fertilizantes minerais mais utilizados no Brasil.

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Uréia	44% de N	O nitrogênio deverá estar totalmente na forma amídica (radical orgânico)	Reação de amoníaco e gás carbônico sob pressão
Sulfato de amônio	20% de N	O nitrogênio deverá estar na forma amoniacal	Neutralização do ácido sulfúrico pelo amoníaco
Nitrato de cálcio	14% de N	Nitrogênio na forma nítrica, podendo ter até 1,5% na forma amoniacal	Reação de ácido nítrico com calcário

(Continua)

Tabela 2 - Continuação

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Fosfato de diamônico (DAP)	16% de N 45% de P ₂ O ₅	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 38% solúvel em água. Nitrogênio na forma amoniacal	Amoniação do ácido fosfórico
Fosfato de Monoamônico (MAP)	9% de N 48% de P ₂ O ₅	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 44% em água. Nitrogênio na forma amoniacal	Amoniação do ácido fosfórico.
Fosfato natural	24% de P ₂ O ₅	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 4% solúvel em ácido cítrico a 2% na reação 1:100.	Beneficiamento mecânico de fosfatos naturais mediante moagem fina.
Superfosfato simples	18 % de P ₂ O ₅	Fósforo determinado com P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 16% solúvel em água	Reação de fosfato natural moído com ácido sulfúrico

(Continua)

Tabela 2 - Continuação

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção
Superfosfato triplo	41% de P_2O_5	Fósforo determinado como P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 37% solúvel em água	Reação de ácido fosfórico com fosfato natural moído.
Termofosfato magnésiano	17% de P_2O_5 7% e Mg	Fósforo determinado como P_2O_5 total e mínimo de 14% solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100	Tratamento térmico do fosfato natural com adição de compostos magnésianos e silicatados
Cloreto de potássio	58% de K_2O	Potássio na forma de cloreto determinado como K_2O solúvel em água	A partir de sais brutos de potássio por dissoluções seletivas, flotação ou outros métodos de separação
Sulfato de cálcio	16% de Ca 13 % de S	Cálcio e enxofre determinados na forma elementar	Produto resultante da fabricação do ácido fosfórico

Perdas de Nutrientes

Os nutrientes aplicados na agricultura podem ser perdidos, de várias formas. O conhecimento das causas dessas perdas é importante para direcionar o manejo da adubação e assim maximizar a eficiência dessa prática.

As principais perdas são causadas por erosão, lixiviação, volatilização e fixação irreversível.

A erosão é o desagregamento e o arraste do solo provocados pela água ou pelo vento. Além da perda de nutrientes, a erosão resulta em degradação ambiental, principalmente dos recursos hídricos. Seu controle é um aspecto vital no planejamento do uso da terra para a agricultura.

A lixiviação é a lavagem vertical através do perfil do solo, com perda de nutrientes nas águas de drenagem e possível poluição dessa água. Essa perda afeta principalmente os íons mais fracamente retidos pelo solo, tais

como: NO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- . Essa é a principal razão para o uso parcelado de fertilizantes nitrogenados, conforme discutido posteriormente.

A volatilização é a perda de nutrientes na forma de gás que evapora para a atmosfera. A mais importante é a volatilização da amônia gasosa (NH_3), quando o fertilizante é deixado na superfície do solo através da aplicação em cobertura de adubos nitrogenados. A minimização desse tipo de perda é obtida com o enterrio do adubo ou com sua aplicação em solo úmido.

A fixação é a transformação de formas solúveis de nutrientes para formas insolúveis através da reação do material aplicado com o solo. Essa reação ocorre, principalmente, com o nutriente fósforo, através de sua reação com o alumínio e o ferro trocáveis, presentes em solos ácidos. A maneira mais fácil de minimizar essas reações é pela neutralização prévia da acidez do solo, com a calagem.

Definida a dose e a fonte mais adequada, técnica e economicamente, para cada área ou gleba a ser cultivada, resta decidir sobre o melhor manejo da adubação. Neste sentido, reveste-se de importância a época e o modo de aplicação dos fertilizantes.

A maior parte da adubação é feita na época do plantio, sendo conhecida como **adubação de base**. O fertilizante, normalmente composto de uma fórmula N-P-K, é aplicado na mesma operação do plantio. Para culturas anuais, o fertilizante é incorporado alguns centímetros abaixo e ao lado da semente. Portanto, é aplicado em sulco. Para culturas perenes, é aplicado na cova, misturado ao solo. Na implantação de pastagens, os adubos são incorporados à camada arável do solo, tendo em vista que as pastagens são, normalmente, semeadas a lanço, em toda a superfície do terreno.

Em complementação à adubação de base, os fertilizantes são também aplicados quando a cultura ou plantação já está desenvolvida. Trata-se da **adubação em cobertura**, mais praticada para culturas perenes, tais como cafezeiro, laranjeira e outras fruteiras. Nesse caso, o fertilizante, na forma sólida, é aplicado na superfície do terreno (na projeção da copa), ou diretamente nas folhas, através da conhecida adubação foliar. As pastagens perenes também podem receber aplicação a lanço de fertilizantes em cobertura.

A adubação de cobertura é também praticada em culturas e pastagens anuais. A situação mais clássica é a aplicação de nitrogênio, nas culturas de milho, arroz e trigo. O fertilizante nitrogenado, comumente uréia ou sulfato de amônio, é aplicado na superfície do solo, em períodos que variam de 20 a 60 dias, após o plantio. Tendo em vista minimizar perdas de nitrogênio por volatilização de amônia para a atmosfera, é recomendável fazer algum tipo de incorporação

desse fertilizante sem, contudo, danificar muito as raízes das plantas.

Com relação ao modo de aplicação dos fertilizantes, existem um sem-número de opções, todas resultado da combinação de cinco maneiras clássicas:

- a) Em sulco, na linha de plantio (tradicional para cultivos anuais);
- b) A lanço, com posterior incorporação na camada arável (usado mais comumente para pastagens);
- c) Em cobertura, sem incorporação ou com incorporação incipiente (tradicional para o cultivo de gramíneas e culturas perenes);
- d) Aplicação diretamente na área foliar das plantas (mais comum para culturas perenes);
- e) Aplicação na cova de plantio, no caso do uso de mudas como instrumento de multiplicação.

Finalmente, cabe destacar a aplicação de fertilizante através da água de irrigação, prática conhecida como fertirrigação e que envolve um manejo específico para cada tipo de irrigação e para cada cultura. Envolve, ainda, a escolha de fontes de fertilizantes adequados para essa prática.

A prática da calagem e adubação fazem parte do sistema produtivo da grande maioria das atividades agrícolas brasileiras e tem sido responsável por uma parcela substancial do custo da produção agrícola. Portanto, é necessária a busca contínua da máxima eficiência agronômica e econômica do uso desses insumos.

Neste ponto, deve-se ressaltar que a calagem e a adubação são atividades que se completam e se complementam. A pesquisa tem demonstrado, com freqüência, a interação positiva entre essas práticas. Os rendimentos obtidos com a adição de calcário e fertilizantes são superiores à soma dos acréscimos simples obtidos pela aplicação separada de cada insumo.

A calagem e adubação fazem parte de um conjunto complexo de práticas que compõem o sistema produtivo agrícola e devem ser analisados neste contexto e não isoladamente. A partir dessa análise, busca-se dimensionar as adubações, principalmente em termos de fonte, dose, época e modo de aplicação, de forma a proporcionar o melhor aproveitamento dos fertilizantes e o melhor retorno econômico para o produtor rural.

Do ponto de vista meramente agronômico, o que se busca é a máxima

produção por área cultivada, procurando-se tirar proveito das interações positivas entre a calagem e a adubação e as demais práticas agrícolas. Mas a agricultura deve ser uma atividade econômica, de onde se espera que os produtores rurais usem esses insumos para obter lucros.

A recomendação de adubação deve ser feita à luz das relações de preços entre o produto a ser produzido e o fertilizante a ser aplicado. Conhecendo-se a curva de resposta da cultura à adição do fertilizante, e a relação de preços, é possível estimar a dose de máxima eficiência econômica, ou seja, a dose na qual é possível obter o maior retorno econômico para cada unidade de fertilizante aplicado ou a dose com maior relação benefício/custo. A Figura 13 ilustra o método para se calcular essa dose, conhecendo-se a curva de resposta e os custos da adubação, expressos em produto ou grão.

Além dos aspectos agronômicos e econômicos, tem crescido a consciência de que a calagem e a adubação devem estar inseridas num contexto ambiental ou de

agricultura sustentável. Não existem dúvidas sobre os efeitos positivos dessas práticas agrícolas. Seu inadequado dimensionamento ou manejo, entretanto, poderá causar prejuízos ao ambiente, principalmente quando se pratica uma agricultura intensiva e contínua, similar às áreas hortícolas próximas aos centros urbanos. Assim, por exemplo, o uso excessivo de nitrogênio pode diminuir a qualidade das águas do subsolo para fins de consumo humano. Portanto, nessas condições, é necessário planejar o uso desses insumos e prever um esquema de monitoramento através da análise do solo e da água.

Conclusões

O aumento da população mundial implica em demanda crescente de alimentos e matérias-primas agrícolas. Neste cenário cresce a importância da calagem e da adubação, já que existe uma estreita relação entre produtividade agrícola e consumo de fertilizantes.

O consumo de corretivos e fertilizantes no Brasil, atualmente próximo a quatro milhões de toneladas de nutrientes por ano, está ainda abaixo da média mundial. O nível de consumo é muito influenciado pelas relações de troca que, nos países em desenvolvimento, tendem a ser desfavoráveis ao produtor, tanto pelo baixo preço dos produtos agrícolas quanto pelo elevado custo dos corretivos e fertilizantes, onerados pelos custos de transporte, armazenamento e impostos. Isso inibe ou limita o uso desses insumos.

Por outro lado, essa relação desfavorável ao produtor é agravada por uma variável conjuntural: o momento de aquisição dos insumos que coincide com a entressafra ou período de preparo do solo, quando o produtor, geralmente, está descapitalizado.

Face ao exposto, fica evidente que o aumento da produção e da produtividade agrícola de um país passa, necessariamente, por uma política que incentive o consumo de corretivos e fertilizantes. Neste volume da coleção *Saber*, procurou-se mostrar a importância do uso racional desses insumos, principalmente em termos de dosagem e manejo.

A análise do solo e da planta é um instrumento importante para recomendar calagem e adubação, mas não deve ser usado isoladamente. É preciso considerar as condições de cada empresa agrícola, incluindo sua gerência.

A agricultura torna-se, cada vez mais, uma atividade econômica, inserida no agro-negócio de cada país. Calagem e adubação

devem ser encaradas no contexto do mercado e sua recomendação (dosagem, manejo, etc) deve visar a obtenção do melhor retorno econômico, dentro de um horizonte de médio a longo prazo.

Finalmente, o cenário futuro do negócio agrícola aponta para a necessidade de harmonia entre produtividade e sustentabilidade. A tecnologia da prática de calagem e de adubação deve estar totalmente orientada para este cenário. Essa prática tem grande contribuição para o atendimento das demandas atuais de alimentos, mas também deve contribuir para o suprimento das demandas de gerações futuras.

Endereços

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica (PqEB)

Av. W3 Norte (final)

70770-901 Brasília, DF

Fone: (61) 3340-9999

Fax: (61) 3340-2753

vendas@sct.embrapa.br

www.sct.embrapa.br/liv

Embrapa Cerrados

Rodovia BR-020, km 18

(Brasília–Fortaleza)

Caixa Postal 8223

73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

sac@cpac.embrapa.br

www.cpac.embrapa.br



Na Livraria Embrapa, você encontra
livros, fitas de vídeo, DVDs e
CD-ROMs sobre agricultura,
pecuária, negócio agrícola, etc.

Para fazer seu pedido, acesse
www.sct.embrapa.br/liv

ou entre em contato conosco
Fone: (61) 3340-9999
Fax: (61) 3340-2753
vendas@sct.embrapa.br

Impressão e Acabamento
Embrapa Informação Tecnológica

O papel utilizado nesta publicação foi produzido conforme a certificação da Bureau Veritas Quality International (BVQI) de Manejo Florestal.