

BOLETIM TÉCNICO Nº 4

**USO EFICIENTE
DE FERTILIZANTES E
CORRETIVOS AGRÍCOLAS**

ASPECTOS AGRONÔMICOS

**ANDA ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA
DIFUSÃO DE ADUBOS**

**USO EFICIENTE DE
FERTILIZANTES E
CORRETIVOS AGRÍCOLAS**

ASPECTOS AGRONÔMICOS

**USO EFICIENTE DE
FERTILIZANTES E
CORRETIVOS AGRÍCOLAS**

ASPECTOS AGRONÔMICOS

**3ª edição
Revisada e atualizada**

Alfredo Scheid Lopes
Luiz Roberto Guimarães Guilherme

**Setembro de 2000
ANDA ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE
ADUBOS
SÃO PAULO – SP**

Lopes, A.S. & Guilherme, L.R.G.

L864u Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas:
aspectos agronômicos - A.S. Lopes e L.R.G. Guilherme
- 3ª edição revisada e atualizada – São Paulo, ANDA,
2000.

72p. (ANDA, Boletim Técnico, 4)

1. Fertilizantes – Uso. 2. Corretivos – Uso.
I. Título. II Lopes, A.S. III. Guilherme, L.R.G.
IV. Associação Nacional para Difusão de Adu-
bos, V. Título. VI. Série

CDU – 631.8

APRESENTAÇÃO

A utilização racional dos insumos agrícolas, em busca do aumento da produtividade, vem adquirindo importância crescente nas atividades ligadas à agropecuária brasileira. Entretanto, para que esses objetivos sejam atingidos, torna-se necessário um conhecimento cada vez mais abrangente dos diversos fatores que afetam o uso eficiente desses insumos.

No que diz respeito aos fertilizantes e corretivos agrícolas, esses fatores envolvem tanto aspectos relacionados às características do produto, quanto aqueles gados ao sistema solo-planta-atmosfera. Os primeiros são abordados de maneira mais específica nos Boletins Técnicos n^{os} 3 e 6, editados pela ANDA sob os títulos “Os Adubos e a Eficiência das Adubações” e “Corretivos da Acidez dos Solos: Características e Interpretações Técnicas”.

No presente boletim, procura-se abordar o uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas com maior ênfase para os aspectos agrônômicos, ou seja, aqueles mais diretamente ligados ao sistema solo-planta-atmosfera.

Sem a pretensão de esgotar o assunto, são apresentados e discutidos alguns pontos relevantes, com o intuito de promover um melhor aproveitamento, pelas plantas, dos macronutrientes primários e secundários, e micronutrientes a serem adicionados aos solos pelos fertilizantes e/ou corretivos agrícolas.

Espera-se, com esta publicação, contribuir para que a filosofia da Produtividade Máxima Econômica (PME) venha a ser adotada por um número cada vez mais expressivo de agricultores.

ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos

São Paulo, novembro de 2000

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO.....	1
II – ASPECTOS BÁSICOS	2
III – FATORES QUE AFETAM O USO EFICIENTE DE FERTI- LIZANTES E CORRETIVOS AGRÍCOLAS	4
1. Fatores diretos	4
1.1. Qualidade dos fertilizantes e corretivos agrícolas	4
1.2. Solo	4
1.3. Recomendação equilibrada, qualitativa e quantitativa.....	9
1.4. Época de aplicação	10
1.5. Forma de aplicação ou localização	11
1.6. Uniformidade de distribuição	13
2. Fatores indiretos	15
2.1. Umidade do solo	15
2.2. Planta	15
2.3. Conservação do solo	18
2.4. Minimização de perdas	18
2.5. Outros fatores	24
IV – SUGESTÕES DE MANEJO PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS AGRÍCOLAS.....	24
1. Fertilizantes nitrogenados	24
2. Fertilizantes fosfatados	29
3. Fertilizantes potássicos	36
4. Enxofre	40
5. Cálcio e magnésio	42
6. Micronutrientes	45
V – CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
VI -BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	55

USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS AGRÍCOLAS: ASPECTOS AGRONÔMICOS

Alfredo Scheid Lopes¹
Luiz Roberto Guimarães Guilherme²

I – INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira atravessa uma fase na qual, mais do que em qualquer época, torna-se justificável todo e qualquer esforço para a verticalização da produção, objetivando atingir ganhos em produtividade que permitam tornar o processo produtivo mais rentável, a fim de que os agricultores continuem em suas atividades.

Neste contexto, entre outros fatores, as práticas da calagem e adubação assumem lugar destaque, sendo responsáveis por cerca de 50% dos ganhos de produtividade das culturas, necessitando, assim, serem feitas do modo mais eficiente possível. Para que esse objetivo seja atingido, cabe ao agricultor a aplicação de conceitos básicos que envolvem a eficiência dos fertilizantes e corretivos agrícolas e o comportamento desses no sistema solo – planta – atmosfera, com o intuito de maximizar os retornos sobre os investimentos pelo uso desses insumos.

O que se observa, entretanto, é que muitas vezes esses conceitos básicos, talvez por falta de conhecimento ou pela sua simplicidade, não são aplicados pelos agricultores, levando, muitas vezes, a níveis extremamente baixos de eficiência dos fertilizantes e corretivos agrícolas aplicados.

O objetivo deste trabalho é focar os aspectos básicos do uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas – aqueles direta ou indiretamente envolvidos no processo – com detalhamento do manejo para o melhor aproveitamento dos nutrientes contidos nesses insumos, bem como para a maximização dos seus benefícios no sistema solo – planta – atmosfera.

¹ Eng. Agr. MSc, PhD, Professor Emérito do DCS-UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 – Lavras-MG. Consultor Técnico da ANDA, São Paulo-SP, E-mail: ascheidl@ufla.br

² Eng. Agr. MSc, PhD, Professor Adjunto do DCS-UFLA, Lavras-MG. E-mail: guilherm@ufla.br

II – ASPECTOS BÁSICOS

Os fertilizantes e corretivos agrícolas são os insumos mais importantes, em termos percentuais, para aumentar a produtividade das culturas. Entretanto, para promover retornos adequados sobre os investimentos, eles devem ser aplicados corretamente, de modo a atingir alta eficiência.

O conceito de uso eficiente de fertilizantes, o qual, em linhas gerais, vale também para os corretivos agrícolas, mais difundido entre os técnicos é aquele que reflete o aumento de produção por unidade de nutriente aplicado. Baixa eficiência de fertilizantes significa baixa produtividade e baixos lucros. Este conceito é ilustrado na Figura 1 (FAO-FAI, s.d.). O agricultor ineficiente aplica 2 sacos de fertilizantes e obtém um aumento de produção de somente 3 sacos. Se ele soubesse como aplicar a mesma quantidade de modo correto ele poderia obter, por exemplo, 4 sacos de aumento na produção e, conseqüentemente, maiores lucros.

O conceito de uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas, num sentido mais amplo, envolve, entretanto, respostas às seguintes perguntas: O que aplicar? Quanto aplicar? Em que forma química? Como aplicar? Qual o retorno econômico? Respostas a estas perguntas exigem do técnico conhecimentos envolvendo nutrição mineral de plantas, química do solo, fertilidade do solo, tecnologia de adubos, morfologia de plantas, física do solo, gênese, morfologia e classificação de solos, mecânica agrícola e econômica agrícola (Yamada, 1989).

O ecletismo das disciplinas ligadas ao objetivo maior de aumentar a eficiência das práticas de adubação, calagem e gessagem justifica a necessidade, por parte do técnico que orienta o agricultor, do conhecimento integrado obtido nestas áreas e é um exemplo do redirecionamento necessário na formação destes profissionais.

O que é uso eficiente de fertilizantes?

É a medida do ganho em produção por unidade de nutriente aplicado.

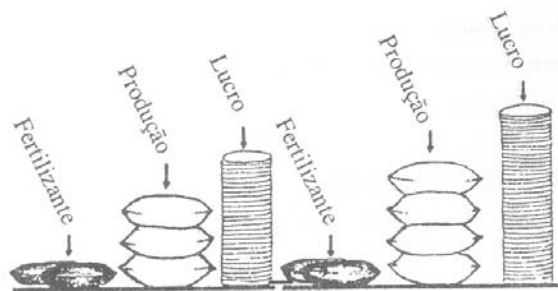


Figura 1 – Representação simplificada do conceito de uso eficiente de fertilizantes

Fonte: FAO/FAI (s.d.)

É necessário salientar, entretanto, que o uso eficiente desses insumos exige uma diagnose correta de possíveis problemas de fertilidade do solo e nutrição de plantas antes da ação da adubação ou correção do solo, de “per si”. Nesse contexto, a utilização das seguintes “ferramentas” de diagnose é o primeiro passo para determinar o uso inteligente dos fertilizantes e corretivos agrícolas.

1. **Análise de solos** – a análise de solos é uma das principais “ferramentas” de diagnose para se determinar qual o fertilizante ou corretivo a aplicar e em que doses. Ela deve ser a mais detalhada possível incluindo, além das análises e cálculos de rotina (pH , P, K, Ca, Mg, Al, $t = CTC$ efetiva, $m = \%$ de saturação por Al), também análises de $S-SO_4^{2-}$, Cu, Zn, Fe, Mn, B, $H+Al$, $SB =$ Soma de bases trocáveis, $T = CTC$ a pH 7,0, $V = \%$ de saturação por bases da CTC a pH 7,0 e matéria orgânica. Com esses dados é possível calcular, também, uma série de relações importantes (Ca/T, Mg/T, K/T, Ca/K, Ca + Mg/K, etc). A determinação da textura do solo – teores de argila, silte e areia – é também muito importante. A análise de solo é considerada a base de um programa envolvendo o uso eficiente de fertilizantes e corretivos.
2. **Análise foliar** – a análise foliar tornou-se um importante instrumento de diagnose de problemas nutricionais nos últimos anos, não só em culturas perenes, mas também em culturas anuais. A comparação de dados de análise foliar de áreas com baixa média e alta produtividades constitui-se em um instrumento extremamente importante na avaliação do estado nutricional das culturas para o estabelecimento de doses e fontes diferenciadas de corretivos e fertilizantes. Vários laboratórios em operação no Brasil já fazem análise foliar como rotina de seus trabalhos.
3. **Testes de tecidos** – os testes rápidos, ou testes de tecidos, são bastante difundidos nos EUA e Europa, sendo ainda pouco utilizados no Brasil. A grande vantagem desse tipo de teste, mais comum para a avaliação do estado nutricional da planta quanto a nitrogênio, fósforo e potássio, é que ele é feito no campo e permite, se adequadamente conduzido, uma diagnose imediata de possíveis problemas.
4. **Sintomas de deficiência de nutrientes** – a identificação dos sintomas de deficiência de nutrientes nas plantas ajuda a diagnosticar possíveis problemas no campo. A técnica de identificar sinais indicativos de fome de nutrientes é indispensável para se obter uma produção mais lucrativa das culturas. É sempre

recomendável que o técnico tenha à mão a descrição dos sintomas, inclusive com fotos coloridas, para as culturas mais importantes na sua respectiva área de atuação.

5. **Fatores que afetam a disponibilidade de nutrientes** – principalmente para a tomada de decisão sobre micronutrientes, cujos níveis para interpretação da análise de solos e análise foliar, para muitas culturas, não estão totalmente definidos, este ponto é de importância fundamental. Detalhes sobre esses fatores, para micronutrientes, podem ser encontrados nas páginas 28 a 32 do Boletim n° 8 da ANDA – Micronutrientes: Filosofias de Aplicação e Eficiência Agronômica (Lopes, 1999).
6. **Histórico da área** – o conhecimento do histórico da área a ser cultivada é de extrema importância para maximizar a eficiência dos fertilizantes. A utilização desta “ferramenta”, aliada às demais já mencionadas, é um complemento indispensável, pois a tomada de decisão baseada em dados reais da área fornece mais segurança ao técnico que a utilização apenas de parâmetros analíticos. Pontos importantes a considerar sobre histórico da área incluem: doses de corretivos e fertilizantes já utilizadas; produções obtidas; práticas de preparo de solo; época de plantio; quantidade de chuva, etc.

III – FATORES QUE AFETAM O USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS AGRÍCOLAS

O uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas depende de uma série de fatores que, de forma direta ou indireta, afetam o processo, como um todo. Segundo Alcarde et al., 1998, esses fatores podem ser assim discriminados:

1 – Fatores diretos

1.1. Qualidade dos fertilizantes e corretivos agrícolas. Dadas as peculiaridade deste trabalho, não serão discutidas as características ligadas à qualidade dos fertilizantes e corretivos agrícolas, e que afetam a sua eficiência. Assim sendo, para os fertilizantes, algumas das características de natureza física (estado físico, granulometria, consistência, fluidez e densidade), de natureza química (número de nutrientes, forma química dos nutrientes e concentração de nutrientes e compostos nocivos aos vegetais) e de natureza físico-química (solubilidade, higroscopicidade, empedramento e índice salino), serão utilizadas, tão somente, quando se fizerem necessárias para explicar a eficiência da prática da adubação de “per si”. Detalhes dessas características podem ser encontrados no Boletim Técnico n° 3 da ANDA: Os Adubos e a Eficiência das Adubações (Alcarde et al., 1998). Da mesma forma, características dos corretivos agrícolas não detalhadas neste trabalho, poderão ser encontradas no Boletim Técnico n°6 da ANDA: Corretivos da Acidez dos Solos – Características e Interpretações Técnicas (Alcarde, 1992).

1.2. Solo. As características físicas, químicas, físico-químicas, assim como o teor de matéria orgânica afetam o uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas.

As características físicas (textura, estrutura e porosidade) são fatores determinantes para o armazenamento de água e nutrientes, mobilidade de íons na fase líquida e, principalmente, perdas de nutrientes contidos no solo ou adicionados via adubação e correção do solo, pelos processos de lixiviação ou arrastamento dos nutrientes e fertilizantes pela erosão.

Destas características físicas, a mais facilmente identificável é a **textura**, sendo necessário que o agricultor mande avaliá-la em laboratório se quiser fazer uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas. O conhecimento de, pelo menos, o teor de argila de uma gleba tem sérias implicações no manejo da adubação e correção do solo, citando-se, entre outros, os seguintes pontos: a) necessidade de maior número de parcelamento das adubações nitrogenadas e/ou potássicas; b) determinação da dose de adubação fosfatada corretiva, quando aplicável; c) avaliação prática da maior ou menor capacidade de armazenagem de água no solo; d) determinação da dose de calcário em sistemas de recomendação em uso em alguns estados e/ou regiões; e) maior ou menor probabilidade de problemas de deficiência de micronutrientes; f) avaliação de doses de gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular; etc.

As características da **estrutura e porosidade** do solo de uma gleba, embora mais difíceis de serem avaliadas, ajudam a determinar: a) maior ou menor predisposição a perdas decorrentes da erosão; b) problemas de impedimentos físicos ao desenvolvimento normal das raízes; c) potencial de lixiviação, em conjunto com o conhecimento da textura do solo da área, etc. A avaliação destes parâmetros pode ser feita através de exames locais do desenvolvimento de raízes, testes rápidos da capacidade de infiltração de água, resistência à penetração do trado e resistência do perfil do solo à penetração de uma faca ou de um espeto de churrasco, por exemplo. O que é fundamental é que o técnico que orienta o agricultor se familiarize e aplique as metodologias para avaliação da estrutura e porosidade do solo.

As características químicas estão relacionadas com a natureza dos minerais e a disponibilidade de nutrientes do solo (forma trocável ou solúvel), sendo fundamental o conhecimento destas, para a recomendação das doses de fertilizantes e corretivos agrícolas. O instrumento de diagnose mais utilizado para esta finalidade é a análise química do solo, que deve ser a mais completa possível, inclusive envolvendo a avaliação de enxofre e micronutrientes e não apenas uma análise simples de rotina. Muitos laboratórios em operação no Brasil estão capacitados à realização destas análises.

As características físico-químicas dizem respeito, principalmente, à capacidade de troca de cátions (CTC) e ao pH . A primeira reflete a capacidade de armazenamento

de cátions pelo solo. Nesse contexto, é importante que o técnico se familiarize com o significado prático de parâmetros como CTC efetiva, CTC a pH 7,0, saturação por alumínio da CTC efetiva, saturação por bases da CTC a pH 7,0, soma de bases trocáveis, acidez potencial ou total, etc. Detalhes sobre estes parâmetros podem ser observados no Boletim Técnico nº 2 da ANDA: Interpretação de Análise de Solos – Conceitos e Aplicações (Lopes & Guidolin, 1989) e no apêndice do Manual Internacional de Fertilidade do Solo (Lopes, 1998).

O uso inteligente destes parâmetros, juntamente com o conhecimento da textura e do teor de matéria orgânica, permitem as seguintes aplicações de ordem prática: a) recomendação de doses de calcário pelo método da saturação por bases; b) avaliação das cargas dependentes de pH e suas inter-relações com o potencial de lixiviação de bases; c) avaliação das relações de cátions trocáveis e CTC; d) recomendação do gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular; e) necessidade de maior número de parcelamento das adubações nitrogenada e/ou potássica; f) recomendação de doses de adubação potássica corretiva, etc.

O pH , índice que indica o grau de acidez do solo, talvez seja um dos parâmetros mais importantes ligados ao uso eficiente de fertilizantes. A disponibilidade dos nutrientes contidos no solo, ou a ele adicionados através das adubações, é bastante variável em função ao pH do solo (Figura 2). A disponibilidade dos macronutrientes primários, secundários e do boro tende a aumentar, passando de baixa sob condições de acidez e atingindo valores máximos na faixa de pH em água de 6,0 a 7,0. O aumento na disponibilidade de cloro e molibdênio é praticamente linear até pH 8,0. Entretanto, a disponibilidade de ferro, cobre, manganês e zinco é maior sob condições ácidas, diminuindo com a elevação do pH . O ponto relevante nesta figura é que os efeitos do pH na disponibilidade de ferro, cobre, manganês e zinco são inversos àqueles para os macronutrientes primários e secundários, boro, molibdênio e cloro, o que enfatiza a necessidade de se buscar um meio termo de máxima eficiência geral. Em áreas sob plantio direto, já estabilizadas, e naquelas com elevado aporte de resíduos orgânicos, o pH ideal para a maioria das culturas se situa ao redor de 5,5, com saturação por bases de cerca de 50%.

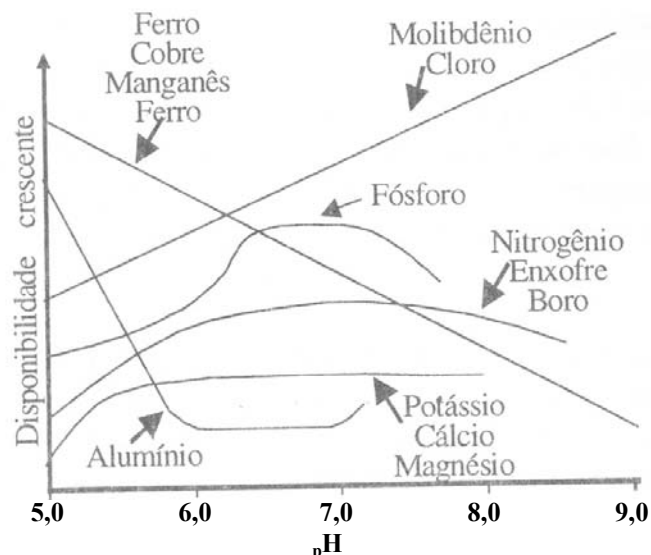


Figura 2 – Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes e do alumínio do solo

Fonte: Malavolta (1979).

Além do pH do solo afetar a disponibilidade dos nutrientes nele contidos ou adicionados pela adubação e correção do solo, a assimilação dos nutrientes pelas plantas é extremamente dependente deste parâmetro. O Quadro 1 é auto-explicativo. A eficiência média de 26,7% na assimilação para os macronutrientes primários e secundários a pH 4,5, passando para 79,5% a pH 6,0, é uma das justificativas mais palpáveis para se promover o uso de calcário como premissa básica para o uso eficiente de fertilizantes. A afirmativa de que adubar uma cultura em solo ácido é desperdiçar fertilizantes é um dos pontos mais relevantes ligados à baixa eficiência das adubações, baixas produtividades e baixos lucros dos agricultores, em um grande número de culturas no Brasil.

Quadro 1 – Estimativa de variação percentual na assimilação dos principais nutrientes pelas plantas, em função do pH do solo.

Elementos	pH					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Nitrogênio	20	50	75	100	100	100
Fósforo	30	32	40	50	100	100
Potássio	30	35	70	90	100	100
Enxofre	40	80	100	100	100	100
Cálcio	20	40	50	67	83	100
Magnésio	20	40	50	70	80	100

Médias	26,7	46,2	64,2	79,5	93,8	100
--------	------	------	------	------	------	-----

Fonte: EMBRAPA (1980)

Apesar da **matéria orgânica** não ser indispensável para as culturas, pois as plantas podem ser cultivadas usando-se apenas produtos inorgânicos (como é feito em escala comercial em cultivos hidropônicos de hortaliças), seus efeitos, após a decomposição e transformação em húmus, melhoram as características físicas, físico-químicas e biológicas dos solos cultivados e, com isso, melhoram a eficiência dos fertilizantes minerais (Lopes, 1989).

Os efeitos da matéria orgânica, considerados essenciais nos solos cultivados, podem ser resumidos no seguinte: a) solubiliza nutriente nos solos minerais; b) aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC); c) libera, lentamente, fósforo, nitrogênio, enxofre e água; d) melhora a nutrição de plantas, em relação a micronutrientes, pela formação de quelatos; e) aumenta a capacidade de retenção de água; f) melhora a estrutura do solo; g) melhora a capacidade tampão do solo; h) reduz a toxidez de pesticidas e outras substâncias; i) favorece o controle biológico pela maior e mais ativa população microbiana; j) contribui para a transformação do Al em formas não tóxicas; k) quando deixada como resíduo de cobertura reduz consideravelmente as perdas por erosão e l) exerce efeitos promotores de crescimento das plantas.

Por estes motivos, o manejo adequado de adubos orgânicos, da adubação verde, da rotação de culturas, dos restos culturais e outros, conforme detalhado no Boletim Técnico nº 5 da ANDA: Solos sob Cerrado – Manejo da Fertilidade para a Produção Agropecuária (Lopes & Guilherme, 1992), constituem-se em técnicas que contribuem para manutenção e, em certos casos, até para o aumento do teor de matéria orgânica no solo, com todos os benefícios inerentes. É preciso lembrar, também, que a planta é, na realidade, uma fábrica de matéria orgânica, a qual é sintetizada a partir apenas da água, do gás carbônico e nutrientes minerais, usando a energia solar que é fixada através do fenômeno da fotossíntese.

Deve-se ressaltar, entretanto, que muitos dos efeitos benéficos da matéria orgânica somente se manifestam após a sua decomposição. Os dados mostrados na Figura 3, de amostras superficiais de solos da região dos cerrados, indicam que, sob condições de acidez, mesmo amostras com altos teores de matéria orgânica apresentaram níveis baixos de CTC, e que aumentos nas cargas negativas somente foram significativos a valores de pH acima de 5,5 (Lopes, 1984). Observa-se, neste caso, que para cada aumento de uma unidade no teor de matéria orgânica (em % ou dag/kg) ocorre um aumento de cerca de $1,45 \text{ cmol/dm}^3$ na CTC efetiva. Esses efeitos da matéria orgânica são maximizados em solos com considerável aporte de matéria orgânica e com calagem adequada.

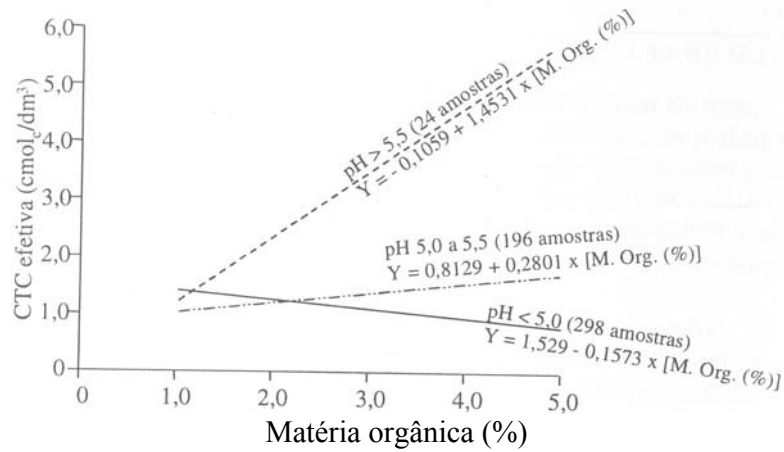


Figura 3 – Relação entre matéria orgânica e CTC efetiva (3 faixas de pH) em amostras de solo sob “cerrado”.
 Fonte: Lopes (1984)

Em síntese, o conhecimento detalhado das características do solo e suas implicações de ordem prática é fundamental quando se tem em mente a maximização da eficiência no uso de fertilizantes e corretivos agrícolas.

Somente pelo conhecimento adequado do comportamento do solo no sistema integrado de ganhos e perdas (solo – planta – atmosfera), mostrado na Figura 4, é que se pode alterar as técnicas de manejo para manter níveis adequados dos nutrientes na solução do solo, fazer uso eficiente dos fertilizantes e corretivos e nutrir adequadamente as plantas.

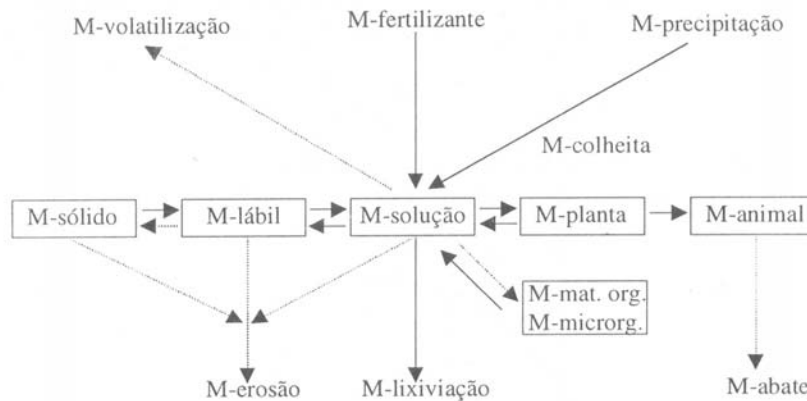


Figura 4 – Aumentos e reduções na disponibilidade de um nutriente M no solo.
 -----aumentos,reduções

Fonte: Adaptado de Yamada (1989)

1.3. Recomendação equilibrada, qualitativa e quantitativa. Na prática da adubação, a “Lei do Mínimo ou de Liebig”, muitas vezes esquecida pelos técnicos, explica que a produção é limitada pelo nutriente que se encontra em menor disponibilidade, mesmo que todos os outros estejam disponíveis em quantidades adequadas.

O que é importante em relação à “Lei do Mínimo” é que a grande maioria dos solos do Brasil apresenta, também, deficiência de enxofre e micronutrientes e essa lei deve ser considerada na sua forma ampliada, conforme mostrado na Figura 5.

Em relação à quantidade ou dose é fundamental levar também em consideração, principalmente no caso dos fertilizantes, a “Lei dos Incrementos Decrescentes”, que estabelece o seguinte: para cada incremento sucessivo da quantidade de fertilizante, ocorre um aumento cada vez menor na produção. Em termos práticos, essa lei orienta no sentido de que as adubações não devem visar a Produtividade Máxima (PM), mas a produtividade que proporcione o maior lucro para o agricultor, ou seja, a Produtividade Máxima Econômica (PME), conforme ilustrado na Figura 6.

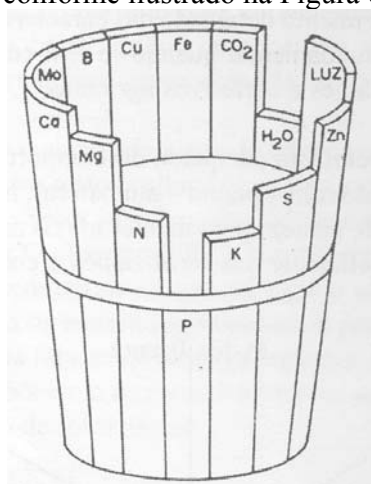


Figura 5 – Representação da “Lei do Mínimo” de Liebig.
Fonte: Alcarde et al. (1998)

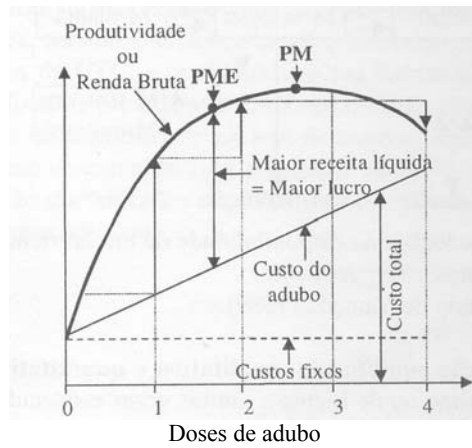


Figura 6 – Relação entre a eficiência das adubações e a Produtividade Máxima Econômica

(PME). PM = Produtividade Máxima.

Fonte: Alcarde et al. (1998)

1.4. Época de aplicação. A época de aplicação de fertilizantes deve coincidir com aquela que antecede a maior demanda da cultura, desde que estes fertilizantes sejam de alta solubilidade. Esse é o caso, principalmente, do fertilizantes nitrogenados e potássicos, que, em geral são solúveis em água. O parcelamento adequado de adubação nitrogenada e, em certos casos, da adubação potássica, é essencial para aumentar a eficiência destes fertilizantes na maioria dos casos. Em anos recentes, têm sido acumulados dados mostrando efeitos amplamente positivos envolvendo a antecipação da adubação nitrogenada e potássica na cultura do milho em áreas sob plantio direto ou mesmo sobre agricultura convencional.

Fertilizantes e/ou corretivos pouco solúveis, como é o caso de fosfatos naturais de baixa reatividade e calcário, devem ser aplicados com a necessária antecedência, para que ocorra o processo de dissolução e haja elevação dos níveis dos nutrientes na solução do solo.

O conhecimento das curvas absorção para as diversas culturas, obtidas através de trabalhos na área de nutrição de plantas, é a “ferramenta” básica para a definição da(s) melhor(es) época(s) de aplicação de fertilizantes. Os dados da Figura 7 ilustram esse comportamento.

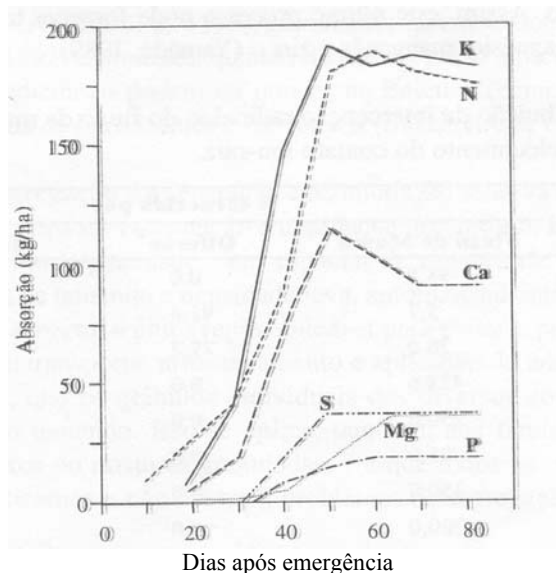


Figura 7 – Absorção de nutrientes pelo feijoeiro em função da idade da planta.
 Fonte: Haag et al. (1977).

1.5. Forma de aplicação ou localização. Os fertilizantes fosfatados pouco solúveis (fosfatos naturais de baixa reatividade) e o calcário devem ser aplicados a lanço, em área total, e bem incorporados ao solo. Nesse caso, quanto mais intenso for o grau de moagem, mais rápida será a dissolução do produto. Entretanto, quando se deseja prolongar o efeito residual da calagem, deve-se utilizar um produto de granulometria um pouco mais grosseira ao invés de um finamente moído. Os fertilizantes mais solúveis devem ser aplicados mais localizados, próximo às raízes, para diminuir possíveis perdas por lixiviação. No caso do gesso agrícola, recomenda-se a aplicação a lanço, a qual poderá ser seguida de incorporação com aração e gradagem, quando em culturas a serem instaladas. Em se tratando de lavouras já instaladas e considerando a maior facilidade de redistribuição do gesso no perfil do solo, este produto, após aplicação à lanço, poderá ser deixado à superfície.

Outro fator que ajuda na tomada de decisão sobre forma de aplicação ou localização é o conhecimento da contribuição relativa da interceptação radicular, do fluxo de massa e da difusão no fornecimento de nutrientes para uma cultura. Os dados apresentados no Quadro 2, adaptados de Barber & Osion (1968), embora desenvolvidos para condições de solo e clima bem diferentes das brasileiras, mostram que o fluxo de massa¹ pode suprir todas as necessidades de nitrogênio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês e molibdênio; a difusão² é importante para o fósforo e potássio e parcialmente para o ferro e zinco; a interceptação radicular³ pode fornecer grande parte das necessidades da planta quanto a exigência nutricional for compatível com o teor de

nutriente na solução do solo. Assim, este último processo pode fornecer todo o cálcio e parte considerável do magnésio, manganês e zinco (Yamada, 1989).

Quadro 2 – Contribuição da intercepção radicular, do fluxo de massa e da difusão no estabelecimento do contato íon-raiz.

Elemento	% fornecida por		
	Fluxo de Massa ¹	Difusão ²	Intercepção ³
N	98,8	0,0	1,2
P	5,7	91,4	2,9
K	20,0	77,7	2,3
Ca	428,6	0,0	171,4
Mg	250,0	0,0	37,5
S	95,0	0,0	5,0
B	350,0	0,0	10,0
Mo	200,0	0,0	10,0
Cu	400,0	0,0	10,0
Fe	52,6	3,9	10,5
Zn	33,3	33,3	33,3
Mn	133,3	0,0	33,3

Fonte: Adaptado de Barber & Olson (1968). Resultados superiores a 100% indicam que a contribuição do processo de contato superou as necessidades da planta.

¹ fluxo de massa: movimento de água e dos nutrientes da solução do solo para a raiz, decorrente da perda de água pelas folhas e criação de um diferencial de pressão entre a parte interna e externa da planta, levando à penetração de água na raiz.

² difusão: movimento de íons de uma solução do solo de mais alta concentração para uma outra de mais baixa concentração.

³ intercepção radicular: encontro do nutriente com a raiz, à medida que esta se desenvolve no solo.

De uma maneira geral, para os fertilizantes contendo nutrientes nos quais o processo de difusão é o mais importante mecanismo de suprimento às raízes, a localização num raio de ação passível de ocorrência desse fenômeno é crucial. Cabe ressaltar, entretanto, que mesmo para nutrientes onde o fluxo de massa é o principal mecanismo de transporte, como é o caso do nitrogênio, o qual apresenta maior susceptibilidade de perdas por lixiviação na forma de NO_3^- a localização adequada do fertilizante também assume grande importância.

1.6. Uniformidade de distribuição. O fator uniformidade de distribuição dos fertilizantes e corretivos está ligado à qualidade, regulagem e operação adequada dos equipamentos para aplicação desses insumos, de modo a permitir uma localização correta. A uniformidade de distribuição está também, ligada a certas características dos

produtos, tais como: grau de segregação, higroscopicidade, empedramento e fluidez, no caso dos fertilizantes (Alcarde et al. 1998), granulometria, em se tratando de corretivos da acidez (Alcarde, 1992) e umidade, quando do uso do gesso agrícola (Coelho et al. 1992). Informações adicionais podem ser obtidas no Boletim Técnico nº 7 da ANDA: Aplicação Mecanizada de Fertilizantes e Corretivos (Balastreire & Coelho, 2000).

O **grau de segregação** é a separação e acomodação seletiva das partículas por ordem de tamanho, com a movimentação e trepidação do produto. Isto pode comprometer seriamente a homogeneidade, em especial de mistura de grânulos, onde a separação por ordem de tamanho e densidade leva, automaticamente, à separação dos nutrientes. Sob esse aspecto, a única regra aplicável para evitar o problema de segregação por ocasião do transporte, armazenamento e aplicação do adubo é, no caso da mistura de grânulos, que os grânulos individuais dos diversos componentes sejam uniformes quanto ao tamanho. Isso se aplica, também, aos farelados. No caso de fertilizantes complexos ou misturas granuladas, em que todos os componentes vêm no mesmo grão, praticamente não ocorrem problemas de segregação.

A **higroscopicidade** é a tendência que os materiais apresentam de absorver umidade do ar atmosférico. Para cada fertilizante simples, ou mistura, há um máximo de umidade relativa do ambiente (umidade relativa crítica) a que o produto pode ser exposto sem absorver umidade. As umidades relativas críticas de vários fertilizantes simples e suas misturas são apresentadas na Figura 8. Um fertilizante úmido apresenta vários inconvenientes: a) queda no teor de nutrientes; b) dificuldade de manuseio e distribuição; c) diminuição da resistência das partículas; d) empedramento.

O **empedramento** é a cimentação das partículas do fertilizante, formando uma massa de dimensões muito maiores que as partículas originais. Resulta da recristalização do material desenvolvido na superfície das partículas umedecidas, o que ocorre através da perda da umidade absorvida, quando diminui a umidade relativa do ar ou a temperatura se eleva.

2. Fatores indiretos. Vários outros fatores, somados àqueles diretos, completam o conjunto de pontos a considerar para o uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas e, conseqüentemente, para uma maior produção e maior produtividade das culturas.

2.1. Umidade do solo. As plantas só absorvem os nutrientes que estão na solução do solo. Portanto, a presença de água é fundamental, quer seja proveniente das chuvas ou fornecida através da irrigação. Condições de seca ou de excesso de água levam à baixa eficiência dos fertilizantes e corretivos.

No primeiro caso, os fenômenos de difusão e fluxo de massa, responsáveis maiores pela movimentação dos nutrientes até a interface solo – raiz e posterior absorção, são diminuídos em intensidade. Este comportamento está bem caracterizado no Quadro 3, onde se pode verificar que a manutenção do teor de umidade numa faixa mais facilmente utilizável pelas plantas levou, de um modo geral, a acréscimos na absorção dos nutrientes.

Ainda em se tratando de condições de limitação hídrica, um outro aspecto a ser considerado é a presença de veranicos. Quando este ocorre, a faixa mais importante de absorção de nutrientes pode estar próxima a 15-20 cm de profundidade, conforme sugerem os dados do Quadro 4. Neste contexto, uma incorporação mais profunda de fertilizantes e corretivos, principalmente aqueles de menor mobilidade, merece ser considerada como prática para melhorar a eficiência do uso.

Além da falta, também o excesso de água pode se constituir em fator de baixa eficiência dos fertilizantes e corretivos, por acentuar as perdas por lixiviação, problemas estes muito mais acentuados em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC, em que as flutuações nos níveis de água disponível no solo ocorrem em curto espaço de tempo.

Monitorar níveis adequados de umidade do solo é imprescindível, principalmente em sistemas de irrigação por aspersão, para máxima eficiência econômica dos insumos e da irrigação. É inadmissível que um agricultor adquira um “pivot” central, ao custo aproximado de US\$ 1.500,00 por hectare, e não faça uso inteligente do equipamento em sua plenitude, pelo desconhecimento ou não utilização de parâmetros de física do solo e de climatologia, na definição de turnos de rega e outras práticas, para operacionalização eficiente do sistema.

2.2. Planta. As diferentes espécies de plantas respondem diferentemente ao efeito dos fertilizantes e corretivos agrícolas. Mesmo dentro da mesma espécie existem variedades com maior capacidade de aproveitamento dos nutrientes, sendo, portanto, mais responsivas e, conseqüentemente, mais produtivas. A Figura 9 ilustra esse aspecto.

Quadro 3 - Produção de massa seca e concentração de nutrientes da parte aérea do milho, considerando as faixas de potencial matricial de água em pedomateriais de Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico (LEe) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LYd).

Solo	Faixa de potencial matricial	Matéria seca	Concentração do nutrientes na parte aérea									
			M P a	g/planta	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn
			----- dag/kg -----									
LEe	-0,01 a -0,1	69,3Aa	2,0Aa	0,3Aa	0,9Ba	0,4Aa	0,3Aa	14,4Aa	246,2Aa	619,0Aa		
	-0,01 a -0,3	63,7Aab	2,0Aa	0,3Aa	0,8Bab	0,4Aa	0,3Aa	13,6Bab	236,2Aa	579,0Aab		
	-0,01 a -0,5	54,9Ad	1,9Aab	0,3Aa	0,7Bbcd	0,4Aa	0,3Aa	12,6Bab	179,0Ba	570,0Aabc		
	-0,01 a -1,5	54,5Ad	1,8Abc	0,3Aa	0,7Bbcd	0,4Aa	0,3Aa	12,2Ab	172,0Ba	538,0Aabc		
	-0,03 a -0,1	62,2Aabc	1,9Aab	0,3Aa	0,8Bab	0,4Aa	0,3Aa	13,2Bab	227,0Aa	578,0Aab		
	-0,03 a -0,3	56,2Abcd	1,9Aab	0,3Aa	0,8Bab	0,4Aa	0,3Aa	12,6Bab	212,0Ba	572,0Aabc		
	-0,03 a -0,5	51,2Ad	1,7Ac	0,2Aa	0,7Bbcd	0,4Aa	0,2Ab	12,6Aab	179,0Aa	527,0Aabc		
	-0,03 a -1,5	50,3Ad	1,7Ac	0,2Aa	0,6Bd	0,3Bb	0,2Ab	12,0Bb	162,0Aa	509,0Ac		
	Média	57,8A	1,9A	0,3A	0,7B	0,4A	0,3A	12,9A	201,7A	561,5A		
	LYd	-0,01 a -0,1	53,0Bab	1,9Ba	0,2Ba	1,0Aa	0,4Aa	0,2Ba	15,0Aab	273,0Aab	195,0Bab	
		-0,01 a -0,3	54,5Ba	1,9B	0,2Ba	1,0Aa	0,4Aa	0,2Ba	17,0Aa	310,0Aa	205,0Ba	
		-0,01 a -0,5	48,1Bab	1,8Ba	0,1Ba	0,9Aab	0,3Ba	0,2Ba	14,0Ab	226,0Aabc	140,0Bbc	
		-0,01 a -1,5	44,8Bbc	1,8Ba	0,1Ba	0,9Aab	0,3Ba	0,2Ba	13,0Ab	219,0Aabc	140,0Bbc	
-0,03 a -0,1		47,3Babc	1,8Ba	0,1Ba	0,9Aab	0,3Ba	0,2Ba	15,0Aab	238,0Aabc	190,0Bab		
-0,03 a -0,3		48,9Babc	1,8Ba	0,1Ba	0,9Aab	0,3Ba	0,2Ba	14,0Ab	260,0Aab	190,0Bab		
-0,03 a -0,5		46,4Babc	1,6Bb	0,1Ba	0,8Ab	0,3Ba	0,2Ba	13,0Ab	194,0Abc	135,0Bbc		
-0,03 a -1,5		43,4Bc	1,6Bb	0,1Ba	0,8Ab	0,3Bb	0,2Aa	13,0Ab	152,0Ac	125,0Bc		
Média		48,3B	1,8B	0,1B	0,9A	0,3B	0,2A	14,2A	234,0A	165,0B		

Fonte: Almeida et al. (1985)

Quadro 4 – Correlações entre os teores de fósforo disponível em várias profundidades e a produtividade média do milho isolado (Y_1), consorciado com feijão (Y_2) e feijão consorciado com milho (Y_3), em um Regossolo eutrófico do Agreste de Pernambuco.

Profundidade (cm)	Coeficiente de correlação (r)		
	Y_1	Y_2	Y_3
0-3	-0,23	-0,13	-0,30
3-6	-0,25	0,06	-0,39
6-9	-0,20	0,06	-0,45
9-14	0,55	0,72	0,32
14-22	0,81*	0,92**	0,65
22-40	0,58	0,48	0,81*
0-10	-0,21	-0,01	0,36
10-19	0,80	0,92**	0,59
0-22	-0,0002	0,24	-0,18
0-40	0,003	0,08	-0,15

*significativo a 5%, pelo teste t; **significativo a 1%, pelo teste t

Fonte: Adaptado de Silva (1986).

Esforço considerável da pesquisa agrônômica tem sido desenvolvido nos últimos anos no sentido de desenvolver variedades e cultivares mais eficientes no aproveitamento de nutrientes. O técnico deve ficar familiarizado com os avanços nesta área para poder dar uma orientação mais segura aos agricultores.

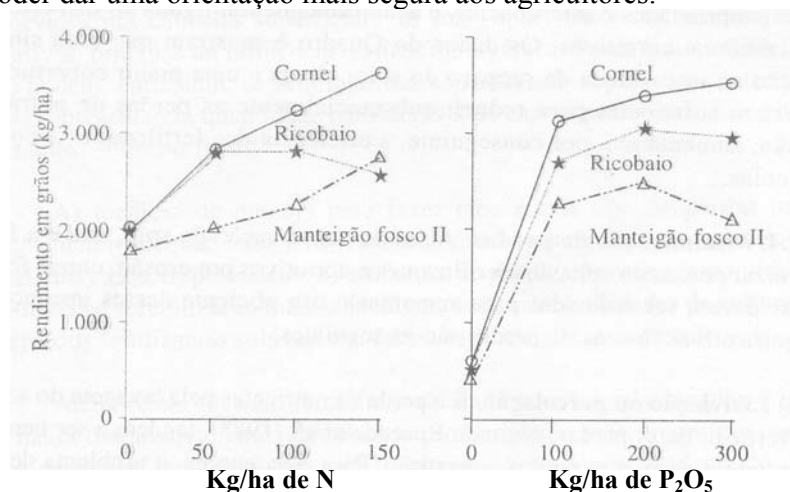


Figura 9 – Efeito do nitrogênio e fósforo no rendimento de grãos de três cultivares de feijão.

Fonte: Delazari (1981)

2.3. Conservação do solo. A desagregação e o arraste do solo provocado principalmente pela água, é um dos fatores mais importantes ligados à baixa eficiência de fertilizantes e corretivos no Brasil. Estima-se que o Brasil perde, por erosão laminar, cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente, arrastando também milhares de toneladas de fertilizantes e corretivos aplicados. Um exemplo de quão expressivas podem ser estas perdas, está demonstrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Perdas causadas às lavouras do Planalto Rio Grandense pelas chuvas do mês de novembro de 1978.

Tipo de solo	Área considerada	Área com perda de camadas de 10 cm de espessura	Perdas			
			Calcário	P ₂ O ₅	K ₂ O	N
	-----ha-----		-----toneladas-----			
Exerim	689.600	34.000	210.000	4.000	2.100	1.200
Santo Ângelo	1.054.300	53.000	130.000	6.000	2.600	950
Passo Fundo	406.000	41.000	100.000	4.700	2.400	1.200
Cruz Alta	428.200	64.200	90.000	5.500	3.200	1.200
Total	2.578.100	192.200	530.000	20.200	10.300	4.550

Fonte: Gianluppi et al. (1970)

O estabelecimento de um programa racional de conservação do solo, envolvendo propriedades e microbacias, é ação fundamental ligada ao uso eficiente de fertilizantes e corretivos. Os dados do Quadro 6 mostram que uma simples diminuição na intensidade de preparo do solo, aliada a uma maior cobertura vegetal, seriam suficientes para reduzir substancialmente as perdas de nutrientes por erosão, aumentando, por conseguinte, a eficiência dos fertilizantes e corretivos agrícolas.

2.4. Minimização de perdas. Além da conservação do solo, que é a forma de minimizar perdas do solo, dos fertilizantes e corretivos por erosão, outras formas de perdas devem ser reduzidas para aumentar o uso eficiente desses insumos. As mais significativas formas de perdas são as seguintes:

a) Lixiviação ou percolação. É a perda de nutrientes pela lavagem do solo no sentido vertical. Estas perdas, segundo Resende et al. (1988), tendem a ser bem menos importante do que as perdas por erosão. Para este autor, o problema de altos teores de alumínio no horizonte B, mesmo em Latossolos muito permeáveis, corrigidos durante muitos anos com calagem e adubação, consubstancia esta idéia.

Quadro 6 – Perdas médias de solo e nutrientes em Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, com diferentes técnicas de preparo do solo.

Tratamento	Perdas de solo	Perdas de nutrientes				Matéria Orgânica
		Ca	Mg	K	P	
	t/ha	-----kg/ha-----				
Palha queimada com uma aração e 4 niveladoras	18,03	19,6	4,1	3,6	0,12	660
Palha incorporada com uma aração e 4 niveladoras	12,83	16,6	4,1	3,3	0,06	410
Palha incorporada com uma grade pesada e 4 niveladoras	8,00	7,7	1,9	1,9	0,05	300
Palha queimada com uma aração e 4 niveladoras	6,92	8,3	1,7	1,7	0,04	235
Palha incorporada com uma grade pesada e 2 niveladoras	3,63	3,5	1,0	1,0	0,02	144
Palha incorporada com uma aração e 2 niveladoras	2,78	3,4	0,8	0,8	0,02	84
Resteva na superfície e plantio direto	0,14	0,16	0,04	0,04	0,001	5

Fonte: IAPAR (1981), citado por PETROFÉRTIL (1986)

A esse tipo de perdas estão mais sujeitos os fertilizantes solúveis em água e aqueles carreadores de ânions (íons negativos), que não são ou são fracamente absorvidos nas camadas superficiais do solo, onde, em geral, predominam cargas negativas, oriundas da influência da matéria orgânica. Esses ânions (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , etc.) podem, entretanto, se acumular nas camadas sub-superficiais, quando essas camadas apresentarem quantidade considerável de cargas positivas, o que pode ocorrer em muitos solos no Brasil.

As técnicas de manejo para fazer face a este tipo de perdas incluem: a) parcelamento adequado dos fertilizantes solúveis, principalmente, os nitrogenados e, em alguns casos, os potássios; b) utilização de fertilizantes com disponibilidade mais controlada e solubilização mais coincidente com as necessidades da cultura; c) distribuição dos fertilizantes solúveis em faixas estreitas ao invés de sulcos.

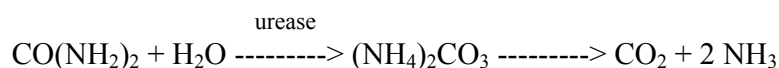
Além destas técnicas, ressaltam-se ainda aquelas relacionadas à indução de um maior desenvolvimento radicular em profundidade, pois, em muitos casos, o conceito de perdas por lixiviação está ligado ao limitado aprofundamento do sistema radicular, o qual não permite a absorção de nutrientes deslocados para camadas mais profundas. Neste contexto, algumas técnicas utilizadas envolvem: a) cultivo de espécies e

variedades tolerantes a problemas adversos e inibidores do desenvolvimento do sistema radicular em profundidade; b) incorporação do calcário a maiores profundidades; c) utilização de fontes mais solúveis de cálcio, tais como gesso agrícola, para aumentar o teor deste nutriente e/ou reduzir o teor de alumínio nas camadas sub-superficiais, induzindo um desenvolvimento radicular mais profundo, com conseqüente absorção dos nutrientes lixiviados para estas camadas. A figura 10 ilustra este comportamento, com relação a aplicação, no caso, de 6 t de gesso/ha levando a um maior percentual de raízes do milho em profundidade. É interessante enfatizar que na área que recebeu o gesso, o teor de nitrato no sub-solo, após a colheita do milho, foi muito menor do que na parcela sem aplicação de gesso, sugerindo uma melhor exploração do sistema radicular em profundidade, não apenas em relação à umidade mas também do nitrato disponível nestas camadas.

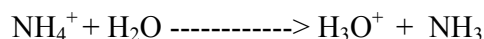
Esses aspectos, principalmente aquele discutido em a) têm profundas implicações no contexto geral da eficiência dos fertilizantes, notadamente aqueles que tenham sido lixiviados da camada superficial do solo para o sub-solo. O conceito de utilização de plantas de cobertura, com capacidade de explorar camadas sub-superficiais do solo, agindo com uma “bomba biológica” na reciclagem de nutrientes, o qual já está definitivamente integrado do sistema plantio direto, pode também ser aplicado nas entrelinhas das culturas perenes com o mesmo objetivo.

Mesmo no caso de plantas não leguminosas como, por exemplo, certas gramíneas, utilizadas como plantas de cobertura em cultivos seqüenciais, a contribuição dessas na ciclagem de nutrientes (notadamente nitrogênio) que são retidos no sub-solo é extremamente importante, como citado anteriormente em III 2.1 a).

b) Volatilização do nitrogênio. A perda de nitrogênio, na forma de compostos gasosos, ocorre em diversas situações, o que pode levar a um baixo grau de eficiência dos fertilizantes nitrogenados, notadamente em meio alcalino, e quando esses são aplicados superficialmente. A principal ocorrência da volatilização de amônia (NH₃) é com a uréia, que se decompõe segundo a equação:



Perdas por volatilização de amônia ocorrem, também, com fertilizantes nitrogenados amoniacais, quando aplicado em solos alcalinos, o que é explicado pela equação:



A melhor maneira de reduzir as perdas por volatilização de amônia é por incorporação dos fertilizantes nitrogenados amoniacais ou amídicos em solos alcalinos ou calcários,

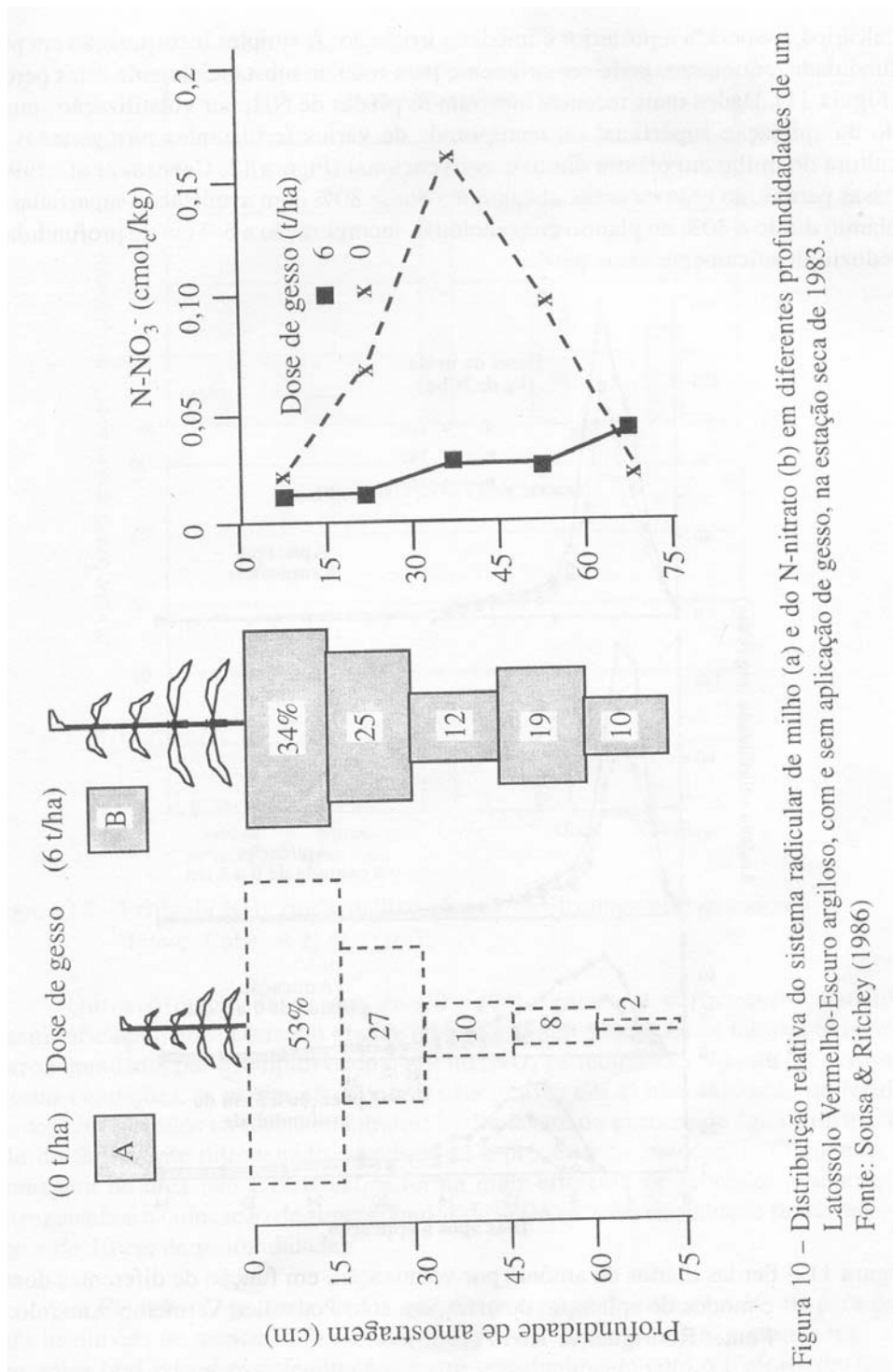


Figura 10 – Distribuição relativa do sistema radicular de milho (a) e do N-nitrato (b) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, com e sem aplicação de gesso, na estação seca de 1983.
 Fonte: Sousa & Ritchey (1986)

associada à posterior e imediata irrigação. A simples incorporação em profundidade, entretanto, pode ser suficiente para reduzir substancialmente estas perdas (Figura 11). Dados mais recentes mostram a perdas de NH_3 por volatilização, quando da aplicação superficial ou incorporada de vários fertilizantes nitrogenados na cultura do milho em plantio direto e convencional (Figura 12, Cabezas et al., 1997). Essas perdas, no caso da uréia, chegaram a quase 80% com a aplicação superficial no plantio direto e 30% no plantio convencional. Incorporação a 5-7 cm de profundidade reduziu drasticamente essas perdas.

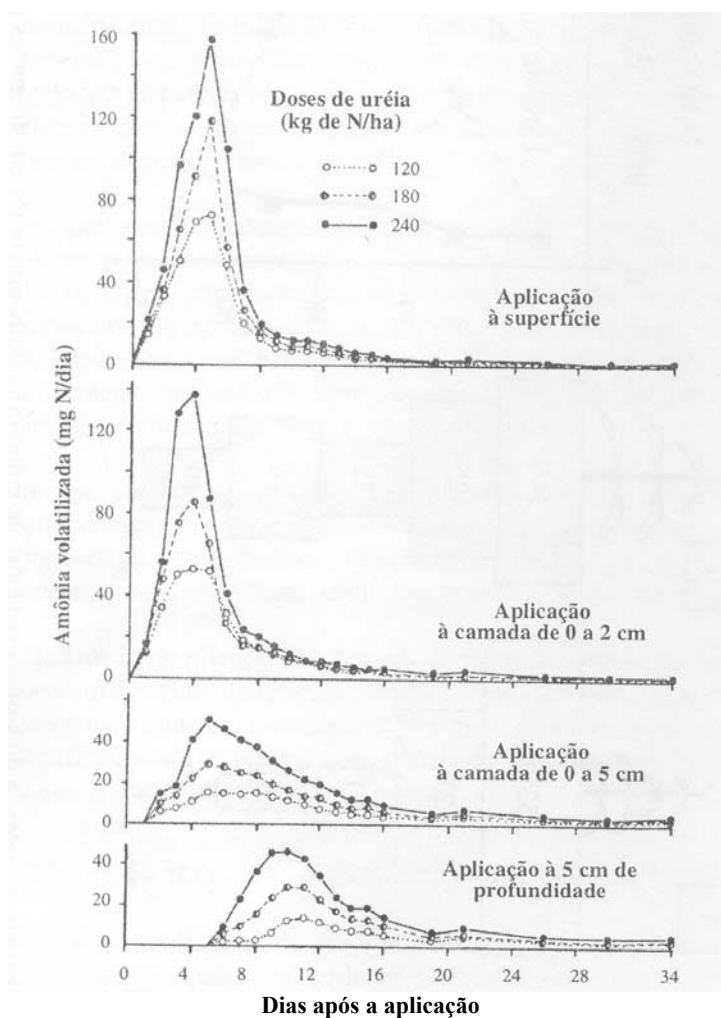


Figura 11 – Perdas diárias de amônia por volatilização, em função de diferentes doses e modos de aplicação de uréia, em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Fonte: Rodrigues & Kiehl (1986).

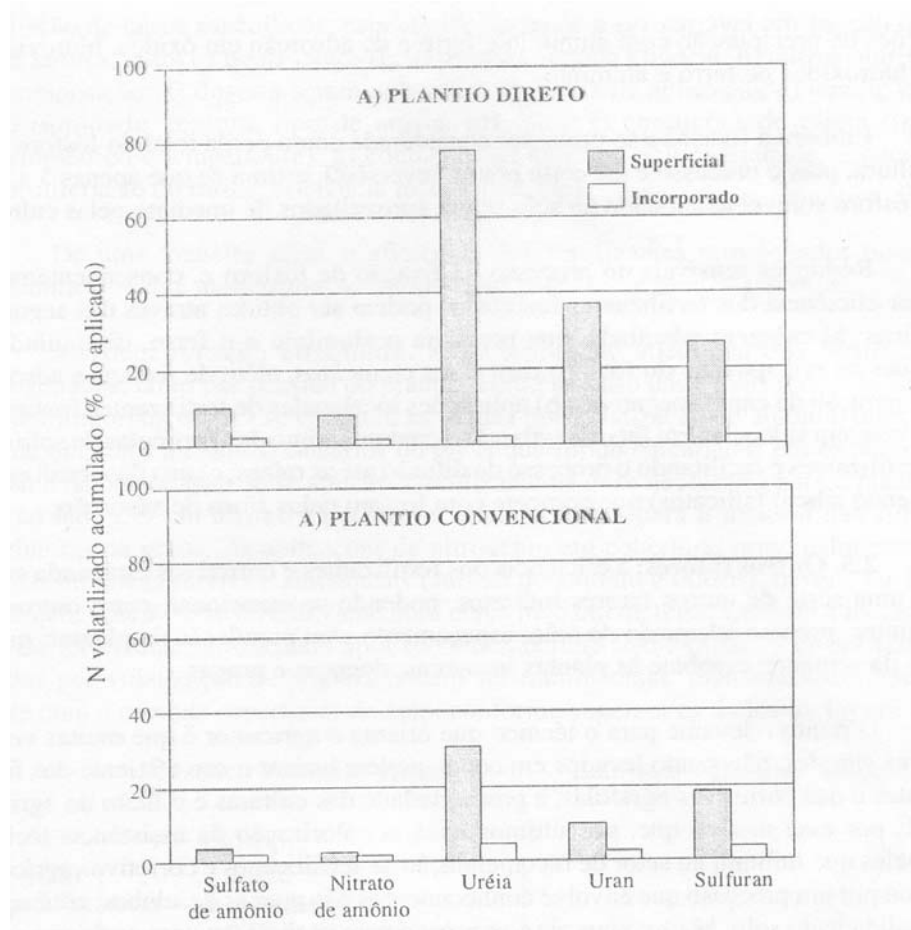


Figura 12 – Perda de NH_3 , por volatilização, de fertilizantes nitrogenados
 Fonte: Cabezas et al. (1997).

Outra situação de perdas de nitrogênio gasoso é o processo chamado **desnitrificação**, que ocorre em grande intensidade sob condições de falta de oxigênio (arroz inundado, por exemplo) onde o nitrato (NO_3^-) é reduzido a N_2O ou N_2 gasosos. Nestas condições, as perdas são minimizadas através de: a) não utilização de fertilizantes nitrogenados na forma de nitratos; b) drenagem do excesso de água e distribuição do fertilizante nitrogenado, seguindo-se o processo de inundação; c) quando a drenagem da área não é possível, a forma mais eficiente de proceder à adubação nitrogenada é a colocação de supergrânulos de uréia na zona de redução (enterrados a cerca de 10 cm de profundidade).

c) Fixação. O processo de fixação é a passagem de formas solúveis para formas insolúveis ou menos solúveis, não disponíveis às plantas. Para a grande maioria dos solos brasileiros, esse fenômeno ocorre principalmente com o fósforo, devido a reações

de precipitação com alumínio e ferro e de adsorção em óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de ferro e alumínio.

Embora a fixação não possa ser considerada como perda total do fósforo para a cultura, pois o processo é até certo ponto, reversível, estima-se que apenas 5 a 20% do fósforo solúvel adicionado ao solo seja aproveitados de imediato pelas culturas.

Reduções sensíveis no processo de fixação de fósforo e, conseqüentemente, maior eficiência dos fertilizantes fosfatados podem ser obtidas através das seguintes práticas: a) calagem adequada, que precipita o alumínio e o ferro, diminuindo as reações de precipitação do fósforo com esses elementos, além de reduzir a adsorção pela geração de cargas negativas; b) aplicações localizadas de fertilizantes fosfatados solúveis, em sulcos ou em faixas, evitando o contato íntimo das partículas de solo com os fertilizantes e facilitando o processo de difusão até as raízes; c) uso dos fertilizantes contendo silício (silicatos) que compete com fosfato pelos sítios de adsorção.

2.5. Outros fatores: a eficiência dos fertilizantes e corretivos está ainda sujeita a uma série de outros fatores indiretos, podendo-se mencionar, entre outros, os seguintes: preparo adequado do solo; espaçamento e/ou população de plantas; qualidade da semente; combate às plantas invasoras; doenças e pragas.

O ponto relevante para o técnico que orienta o agricultor é que muitas vezes, fatores simples, não sendo levados em conta, podem limitar o uso eficiente dos fertilizantes e dos corretivos agrícolas, a produtividade das culturas e o lucro do agricultor. É por esse motivo que, nos últimos anos, a valorização da assistência técnica daqueles que militam no setor de recomendação de fertilizantes e corretivos agrícolas passou por um processo que envolve conhecimentos não apenas de adubos, adubações e fertilizantes do solo. Mais e mais abre-se espaço para os técnicos com conhecimentos ecléticos, envolvendo todos os fatores de produção das culturas.

IV – SUGESTÕES DE MANEJO PARA O USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS AGRÍCOLAS

Enquanto nas seções precedentes foram discutidos aspectos básicos e fatores que afetam o uso eficiente de fertilizantes e corretivos no âmbito geral, nesta seção serão apresentados e discutidos tópicos relevantes para o uso eficiente dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados, potássicos, com enxofre e micronutrientes, bem como algumas considerações sobre a utilização de corretivos agrícolas, principais carreadores de cálcio e magnésio aos solos.

1. Fertilizantes nitrogenados. Do ponto de vista agrônomo, para a maioria das culturas sob condições de cultivo de sequeiro, ou dependente apenas das chuvas, a

eficiência dos diferentes nitrogenados deverá ser semelhante. Evidentemente, na avaliação de casos específicos, esta eficiência tende a ser variável em função de alguns fatores, entre os quais citam-se: a) disponibilidade no local; b) outros nutrientes na composição; c) doses a serem aplicadas; d) forma de aplicação; e) condições do solo (umidade, textura, tipo de argila, pH, etc); f) condições de clima (índice pluviométrico e temperatura); g) condições da cultura (ciclo, variedade, capacidade de proliferação de raízes, eficiência metabólica, etc).

De uma maneira geral, a eficiência dos fertilizantes nitrogenados pode ser consideravelmente aumentada, levando-se em conta os seguintes aspectos:

a) Incorporação adequada. A incorporação adequada dos fertilizantes nitrogenados, tanto por ocasião do plantio, como no caso das coberturas, é de fundamental importância para se evitarem as perdas por volatilização de amônia, principalmente em solos alcalinos, calcários ou áreas que foram calcariadas em excesso. Em geral, a recomendação de se aplicar o fertilizante na dose necessária para o plantio, 5 cm ao lado e 5 cm abaixo da semente, ainda é válida para a maioria das culturas produtoras de grãos. As aplicações de nitrogênio em cobertura, principalmente nas formas amídicas (uréia) e amoniacais (sulfato de amônio e outros), devem ser feitas em sulco, cobrindo-se o fertilizante com cerca de 5 cm de terra. Quando a incorporação do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura não é possível de ser feita, as perdas por volatilização de amônia podem ser minimizadas, misturando-se o fertilizante com a camada superficial do solo, conforme sugerem os dados da Figura 13.

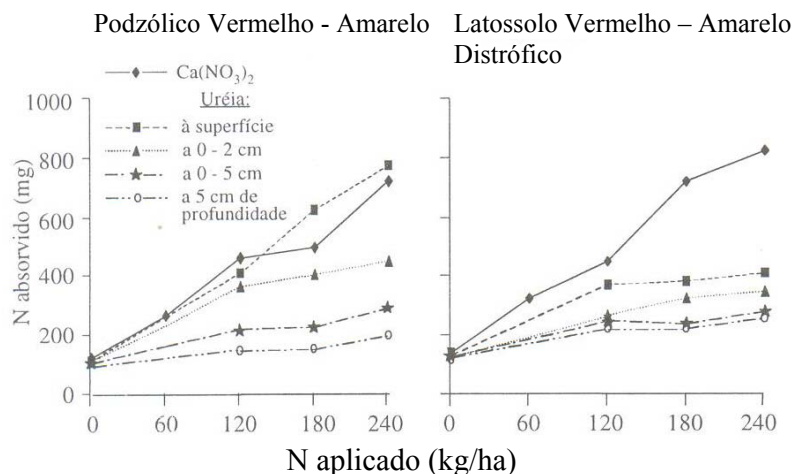


Figura 13 – Absorção de N por plantas de milho cultivadas em dois solos, dez dias após tratamento com $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ em diferentes doses ou com uréia em diferentes doses e modos de aplicação.

Fonte: Rodrigues & Kiehl (1986).

b) Parcelamento da adubação. O parcelamento da adubação, de acordo com as necessidades da cultura e em função das características do solo e do clima é, sem dúvida, uma das práticas e manejo mais recomendadas para aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, conforme exemplificam os dados do Quadro 7.

Em geral deve-se usar maior número de parcelamentos (3 e 4), sob as seguintes condições: a) altas doses de nitrogênio (120-150 kg N/ha); b) solos de textura arenosa e/ou solos argilosos com baixa CTC; c) áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade; d) variedades de ciclo longo, quando se tratar de culturas anuais. Um número menor de parcelamentos da adubação (1 a 2) deve ser feito, sob as seguintes condições; a) doses de nitrogênio baixas ou médias (40-80 kg N/ha); b) solos de textura média ou argilosa, com alta CTC; c) áreas sujeitas a chuvas de baixa intensidade; d) variedades de ciclo curto, quando se tratar de culturas anuais.

Quadro 7 – Efeito do parcelamento da adubação nitrogenada no nitrogênio absorvido, produção relativa e teor de proteína em milho cultivado em um Podzólico-Vermelho-Amarelo.

Adubação nitrogenada	Nitrogênio total absorvido	Produção relativa		Proteína
		-----	% -----	
kg N/ha	kg/ha			
0	31,2	39		8,31
40	44,8	59		8,31
120	60,0	69		8,44
40 + 40	85,2	96		9,56
40 + 40 + 40	80,8	100		9,19

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (1981)

Em anos recentes, tem se acumulado dados de pesquisa que permitem recomendar alterações dessas regras básicas, principalmente para a cultura do milho (Yamada, 1996):

- a) como o potencial de produção do milho é definido nos estágios iniciais de crescimento da cultura, é recomendável, para atingir altas produtividades, em solos de textura média a argilosa, aplicar 30 a 40 kg de N no plantio, fazendo-se uma cobertura adicional no estágio de 4 a 6 folhas com o restante das necessidades de N;
- b) no caso da cultura precedente ao milho ser uma gramínea de alta relação C/N, parte da adubação nitrogenada no milho pode ser aplicada nessa cultura precedente de modo a aumentar a produção de matéria seca e estreitar essa relação C/N para atingir 17/1, permitindo uma decomposição mais rápida da palhada e diminuindo a competição dos microrganismos do solo pelo nitrogênio para a cultura do milho nos estágios iniciais;

- c) o mesmo princípio pode ser utilizado para maior produção de biomassa das plantas de cobertura nas culturas perenes que, após dessecação e corte, deverão ser distribuídas sob a projeção da copa das culturas perenes, contribuindo para manutenção da matéria orgânica nesses sistemas de cultivo.

c) Irrigação controlada. Muitas vezes, sob condições de agricultura intensiva, as aplicações de fertilizantes nitrogenados em cobertura não podem ser feitas com incorporação do produto. Nesse caso, o uso de irrigação controlada permite uma rápida solubilização do fertilizante aplicado, movimentação dos nutrientes na solução do solo até uma certa profundidade e redução das perdas por volatilização de amônia. Embora haja variações quanto ao tipo de solo, para cada 1 mm de irrigação há uma percolação de aproximadamente 1 cm. Assim sendo, uma irrigação com 10 mm de lamina d'água após a aplicação de uréia é suficiente para diminuir sensivelmente as perdas por volatilização. Este princípio de manejo aplica-se, também, para as culturas de arroz sob inundação, sendo atingida maior eficiência dos fertilizantes nitrogenados, fazendo-se a drenagem do excesso de água, distribuindo-se o fertilizante nitrogenado a lanço, seguindo-se inundação controlada.

d) Contribuição dos esterco, fixação biológica do nitrogênio e adubação verde. Em certos sistemas de cultivo, notadamente em pequenas glebas, a contribuição do uso dos esterco não pode ser desconsiderada. Em função das doses aplicadas e das possíveis taxas de mineralização, sob condições ideais, esta contribuição pode chegar a níveis bem altos.

Da mesma forma, a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas é um componente importante, tanto qualitativa como quantitativamente, no que diz respeito a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, quer sejam em monoculturas ou em rotação de culturas. Nas leguminosas, portanto, a técnica de inoculação de estirpes adequadas de bactérias fixadoras de nitrogênio ocupa lugar de destaque no processo global de eficiência deste nutriente.

Estimativas da fixação de nitrogênio em diversas espécies leguminosas são apresentadas no Quadro 8. além deste processo, cabe ressaltar a contribuição de outros sistemas fixadores de nitrogênio, tais como fixadores de vida livre, cianobactérias, associações com gramíneas e actinorrizas. Detalhe sobre estes sistemas podem ser vistos em Siqueira & Franco (1988).

Assim como a fixação biológica, também a adubação verde com leguminosas constitui-se em fator de grande importância na avaliação do uso eficiente de nitrogênio. A contribuição desta técnica na nutrição nitrogenada tende a ser expressiva, principalmente sob condições de solo cultivado intensivamente. Neste contexto, as

doses de nitrogênio a serem aplicadas podem ser reduzidas consideravelmente, principalmente quando se cultivam variedades de baixa exigência em nitrogênio.

Quadro 8 – Estimativa de fixação de nitrogênio em diversas espécies leguminosas.

Espécie leguminosa	N ₂ fixado kg de N/ha/ano ou ciclo
Produtoras de grãos	
Soja (<i>Glycine Max</i>)	60-178
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	2,7-110
Caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	73-354
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i>)	72-124
Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)	168-280
Calopogônio (<i>Calopogonium mucunoides</i>)	370-450
Feijão mungo (<i>Vigna mungo</i>)	63-342
Grão de bico (<i>Cicer arietinum</i>)	50-103
Ervilha (<i>Pisum sativum</i>)	52-77
Forrageiras	
Leucena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	500-600
Centrosema (<i>Centrosema pubescens</i>)	126-398
Estilosantes (<i>Sylosanthes spp.</i>)	34-220
Pueraria (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	30-99
Espécie arbórea	
Acácia (<i>Acácia mearnsii</i>)	200
Floresta tropical	
Em regeneração	71-78
Após estabilização (40 anos)	35-45

Fonte: Rennie (1984), Kang & Duguma (1985), Greenland (1985) e Duque et al. (1985), citados por Siqueira & Franco (1988).

e) Uso de fertilizantes de disponibilidade controlada. Considerável esforço de pesquisa vem sendo desenvolvido no sentido de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, principalmente uréia, através de recobrimento com enxofre, gesso, utilização de inibidores da uréase, etc. Estes produtos têm sua utilização limitada devido aos custos adicionais no processo de fabricação.

Sob condições de cultivo de arroz sob inundação, sem possibilidades de drenagem para aplicação da uréia perolada ou granulada convencional, resultados excelentes vêm sendo obtidos em outros países, com a utilização de supergrânulos de

uréia, aplicados junto às mudas de arroz, incorporados a cerca de 10 cm de profundidade, na zona de redução, conforme dados da Figura 14.

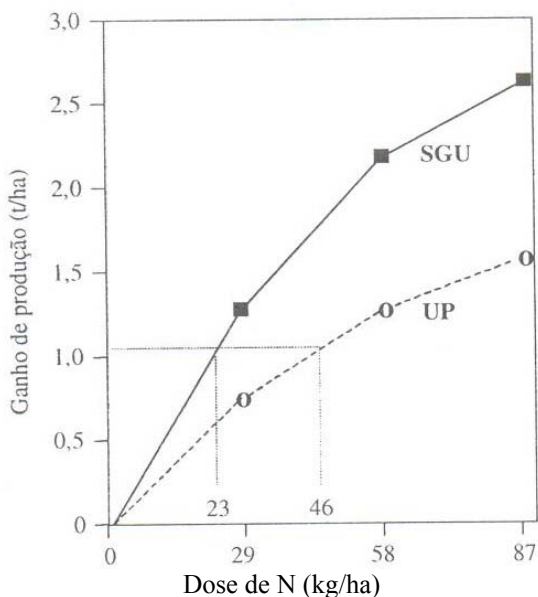


Figura 14 – Estimativas médias de ganho de produção de arroz irrigado, pela incorporação profunda de supergrânulos de uréia (SGU) e aplicação de uréia perolada (UP).

Fonte: Savant & Livigston (1988).

2. Fertilizantes fosfatados. Os princípios de manejo para se obter o máximo de eficiência dos fertilizantes fosfatados diferem, em certos aspectos, daqueles considerados para os fertilizantes nitrogenados. No caso dos fertilizantes nitrogenados, as formas principais de perdas, e a conseqüente diminuição da eficiência agrônômica, ocorrem por lixiviação e volatilização. A eficiência dos fertilizantes fosfatados depende, principalmente, da minimização de perdas por erosão e fixação, embora este último processo não se apresente com características de irreversibilidade total. Lobato (1982) menciona, por exemplo, que de um total de 160 kg/ha de P_2O_5 adicionado a um Latossolo Vermelho-Escuro de cerrado, cerca de 90 kg/ha foram recuperados após 10 colheitas de milho, fato este que comprova a possibilidade de reversão do processo de fixação de fósforo, com o tempo.

Assim, os seguintes aspectos de manejo devem ser levados em consideração, quando se almeja maximizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados.

a) Percentagem de P_2O_5 solúvel em relação ao teor de P_2O_5 total. A eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados consumidos no Brasil, para culturas anuais e bianuais, tem sido comprovada como dependente dessa relação, como mostram

os dados da Figura 15. Uma série de experimentos conduzidos no Brasil levou às seguintes conclusões básicas (Goedert & Souza, 1984: i) as fontes mais eficientes têm sido os fosfatos solúveis (superfosfatos e fosfatos de amônio); ii) os fosfatos com alta solubilidade em ácido cítrico (termodifosfato e fosfatos naturais de alta reatividade – gafsa, por exemplo), têm mostrado eficiência similar aos solúveis em água, quando computado o efeito residual a longo prazo; iii) os fosfatos naturais brasileiros (Abaeté, Araxá, Alvorada, Catalão, Patos, Tapira, etc.) têm mostrado, com relação aos solúveis em água, uma baixa eficiência inicial (3 a 20%), melhorando um pouco após alguns anos (15 a 45%).

b) Fertilizantes fosfatados solúveis. Os fertilizantes fosfatados mais solúveis (superfosfatos e fosfatos de amônio) têm sua eficiência agrônômica aumentada de forma considerável, quando se levam em conta três aspectos: i) aplicação após uma calagem adequada; ii) na forma granulada e iii) de maneira localizada (em sulcos). As Figuras 16 e 17 ilustram alguns destes aspectos.

A finalidade básica dessas três ações de manejo é diminuir a taxa de fixação do fósforo, isto é, diminuir a transformação do P lábil em não lábil.

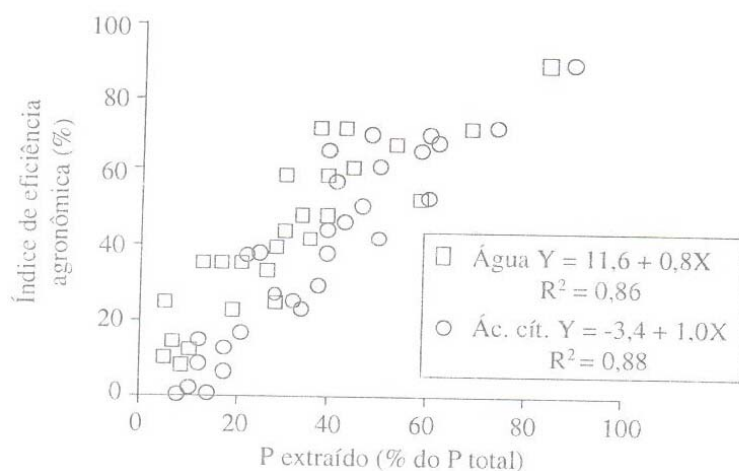


Figura 15 – Correlação entre a eficiência agrônômica e a taxa de extração de P por água e por ácido cítrico (AC), de fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico, a partir dos fosfatos naturais de Araxá, Patos, Catalão, Tapira, Olinda e Anitápolis.

Fonte: Goedert & Sousa (1984).

Ressalta-se que em algumas situações, notadamente em solos da região dos cerrados, em áreas com alta probabilidade de veranicos, o processo de “construção” da fertilidade do solo, visando a incorporá-lo à produção de grãos, envolve uma calagem

bem feita e uma adubação fosfatada corretiva, além de, em alguns casos, também uma adubação potássica corretiva, conforme será discutido posteriormente.

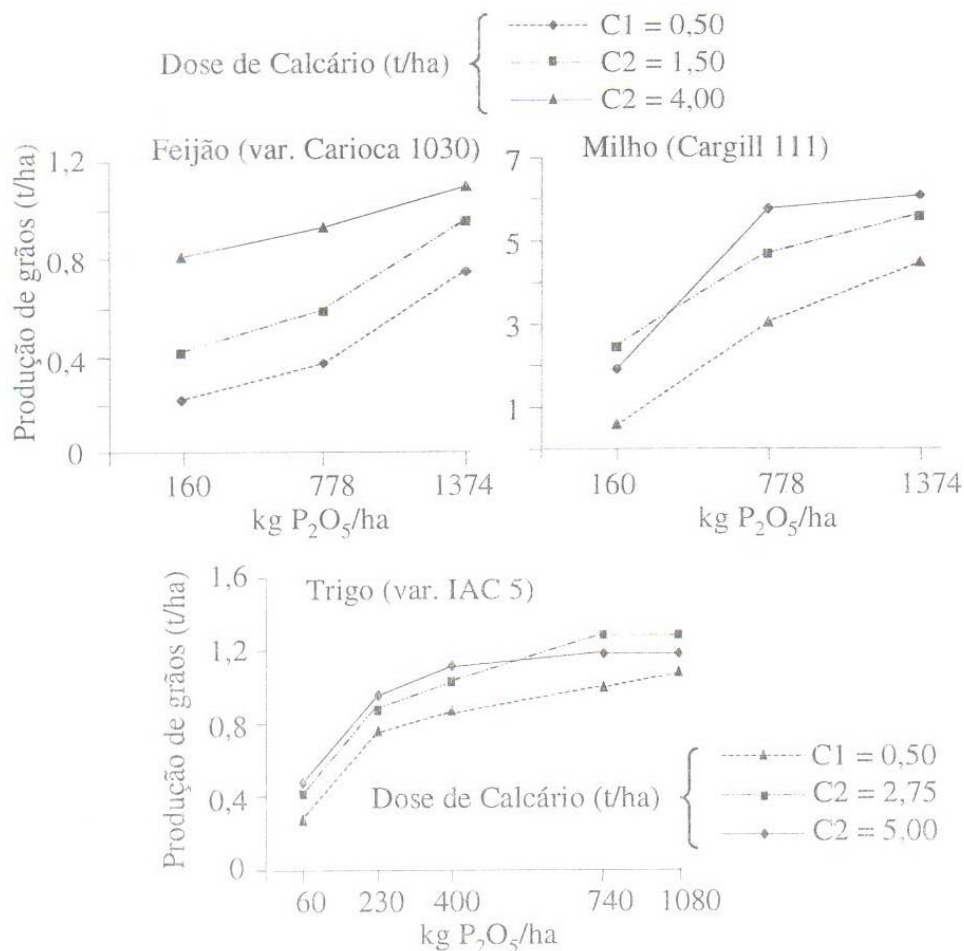


Figura 16 – Produção de feijão, milho e trigo, em função de níveis de fósforo e de calcário, aplicados em solo LE.

Fonte: EMBRAPA/CPAC (1976).

Nestes casos, não só os termofosfatos, mas também as fontes solúveis em água devem ser distribuídas a lanço e incorporadas com gradagem (0-10 cm), seguindo-se as operações de plantio e adubações de manutenção que incluem, também, doses adequadas de adubação fosfatada com fontes solúveis na linha. Para estimar as doses de P₂O₅ solúvel a aplicar, utiliza-se a relação seguinte: kg de P₂O₅/ha = 4 x % de argila (Lopes, 1984; Lopes & Guimarães, 1989; Lopes & Guilherme, 1989). Uma outra alternativa para construção da fertilidade com fósforo em solos extremamente deficientes nesse nutriente é utilizar a mesma relação (kg de P₂O₅/ha = 4 x % de argila)

aplicando-se, por ocasião do plantio, na linha, metade da dose como fósforo solúvel em água e a outra metade como fosfato natural reativo, termofosfato ou outro produto de baixa solubilidade em água. Repetir essa operação por 3 a 5 anos até que o monitoramento via análise de solo indique teor médio a alto em P. A partir daí, fazer apenas a adubação de manutenção. Alternativas ao conceito clássico de adubação fosfatada corretiva, para a cultura de soja no cerrado, foram apresentadas por Sousa (1989), as quais podem ser encontradas no Boletim Técnico n° 5 da ANDA: Solos sob Cerrado – Manejo da Fertilidade para a Produção Agropecuária (Lopes & Guilherme, 1992).

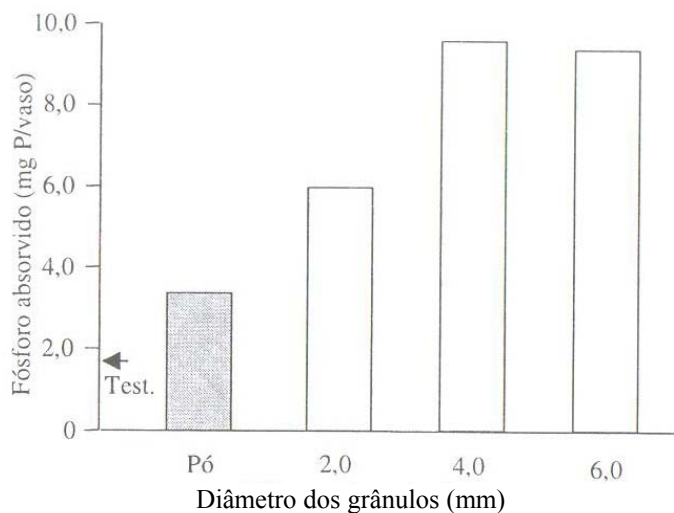


Figura 17 – Fósforo absorvido pelo milho cultivado em vasos de 5,5 litros de solo (Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico), ao qual foi adicionado superfosfato triplo (120 mg de P/vaso) em pó e em grânulos. Fonte: Sousa (1980).

c) Fosfatos naturais. Um dos assuntos mais estudados no Brasil, nos últimos 30 anos, refere-se ao uso de fosfatos naturais para diversas condições de solos, climas e culturas. Mesmo assim, ainda existem muitas dúvidas, principalmente por parte daqueles que atuam diretamente na orientação dos agricultores, sobre os princípios de manejo dessas fontes de fósforo para se atingir a Produtividade Máxima Econômica, em comparação com os tradicionais fosfatos acidulados (superfosfatos simples e triplo). Esses trabalhos de pesquisa permitem estabelecer uma série de pontos importantes a serem levados em conta na tomada de decisão sobre o uso desses produtos no processo produtivo agrosilvipastoril brasileiro, a saber (Lopes, 1999):

- A maioria dos fosfatos naturais brasileiros de baixa reatividade (Araxá, Patos, Catalão, Abaeté, dentre outros) é de origem magmática, formados principalmente por apatitas, em geral com 4 a 5 % de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e com teores de P_2O_5 total de 28 a 30 %. Esses produtos apresentam baixa eficiência agrônômica para

culturas de ciclo curto e anuais, mesmo quando finamente moídos para passar 85% em peneira de 0,075 mm (ABNT n° 200), aplicados a lanço e em solo com pH em água até 5,5;

- A eficiência desses fosfatos naturais de baixa reatividade tende, entretanto, a aumentar com o passar dos anos, quando o solo é submetido às práticas normais de preparo (aração e gradagem), no sistema convencional de produção, que levam a uma mistura do mesmo na camada arável;
- Os fosfatos naturais de baixa reatividade podem ser usados para formação de pastagens tolerantes à acidez, com aplicação a lanço e incorporados, de preferência, em solos com pH em água até 5,5 ou no preparo de covas ou valetas para formação de culturas perenes (cafeeiro, fruticultura, etc) e reflorestamento. Outro ponto relevante quando se usam esses fosfatos naturais e calagem, é que esta última prática deve ser feita preferencialmente após a incorporação dos fosfatos naturais como sugerem os dados da Figura 18.

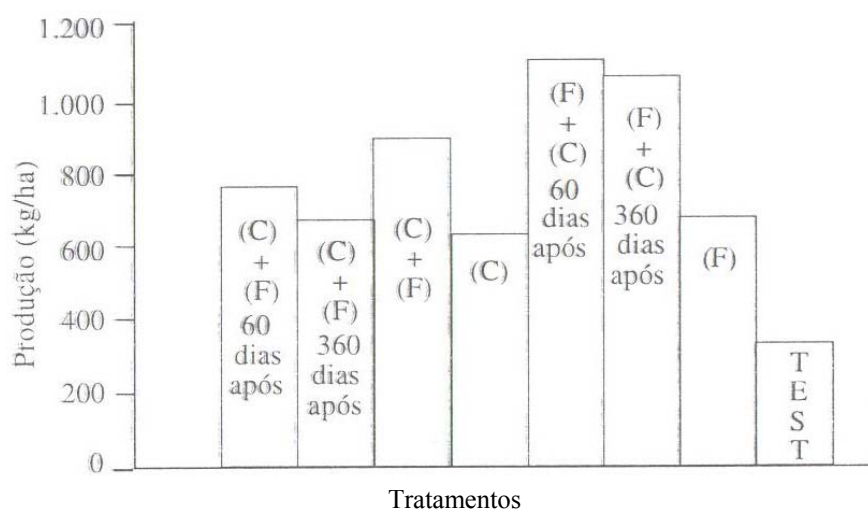


Figura 18 – Produção de soja em função de seqüências de aplicação de calagem (C) e “fosfatagem” (F) com fosfato de Patos (2.400 kg/ha) em Latossolos sob “cerrado”. Dados médios de 4 colheitas, 3 locais.

Fonte: Silva et al. (1983).

- Mesmo nesses casos, as doses de fósforo via fosfatos não reativos, não devem ultrapassar 1/2 a 2/3 das necessidades, completando-se os restantes 1/2 e 1/3 com fontes de fósforo mais solúveis.
 - Os fosfatos naturais chamados reativos, fosforitas de origem sedimentar, (Gafsa, Daoui, Arad, Carolina do Norte, dentre outros), em geral com 10 a 12 % de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e 28 a 30 % de P_2O_5 total, são fontes comparáveis

aos fosfatos acidulados (superfosfato simples e triplo), quando finamente moídos para passar 85% em peneira de 0,075 mm (ABNT n° 200), e aplicados em área total, em solos com pH até 5,5. Essa eficiência tende a aumentar com as operações de aração e gradagem nos anos subseqüentes e até superando os fosfatos acidulados, em sistemas de cultivo convencional. Um exemplo da maior eficiência agrônômica dos fosfatos naturais reativos, quando aplicados na forma de pó é mostrado na Figura 19 (Barreto, 1977).

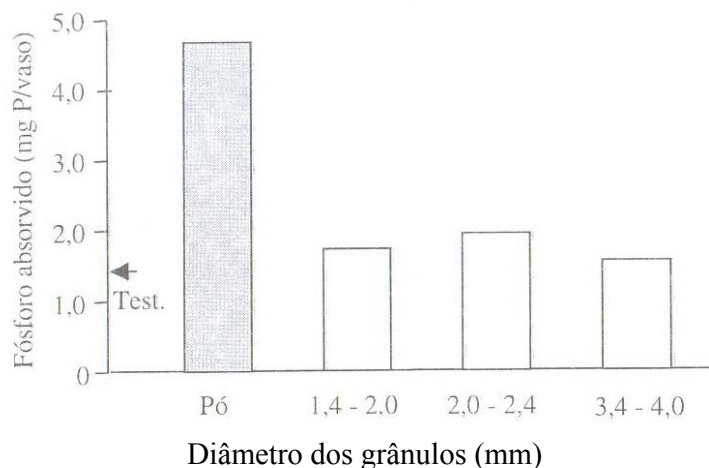


Figura 19 – Fósforo absorvido pelo trigo cultivado em vasos de 1,7 litros de solo (Latossolo Roxo), ao qual foi adicionado fosfato de Gafsa (200 mg de P_2O_5 /vaso) em pó e em grânulos.
Fonte: Barreto (1977)

- Em anos recentes, foram introduzidos no mercado brasileiro fosfatos naturais reativos farelados, com a seguinte especificação de características físicas: passar 100 na peneira de 4,8 mm (ABNT n° 4) e 80% na peneira de 2,8 mm (ABNT n° 7), sendo admitido uma tolerância de até 15% de partículas maiores de 4,8 mm. Esses produtos apresentam, quando aplicados a lanço em área total e incorporados, uma eficiência no 1° ano entre 60 e 65 %, quando comparados como o superfosfato triplo, sendo seu efeito residual superior à fonte solúvel quando incorporados com as práticas normais de preparo (aração e gradagem) no sistema de agricultura convencional.
- A eficiência tanto dos fosfatos naturais não reativos (pó) como dos fosfatos reativos (pó e farelados) no 1° ano, para aplicações no sulco é muito baixa (ao redor de 30% ou menos), principalmente em solos com pH em água acima de 5,5. Essa eficiência, entretanto, tende a aumentar com as práticas normais de preparo do solo (aração e gradagem) em sistemas de agricultura convencional.

- Na tomada de decisão quanto ao uso de fosfatos naturais, o técnico que orienta o agricultor deve levar em conta não apenas os pontos citados nesse tópico, mas também os aspectos relativos aos custos de transporte, ciclo da cultura, efeito residual, teores dos outros nutrientes no equilíbrio das adubações e sistema de posse da terra.

d) Seqüência de culturas. Sob condições de limitação de recursos, ou sistemas de cultivos seqüenciais, a prioridade de aplicação dos fertilizantes fosfatados deve ser dada à cultura de ciclo mais curto, com menor desenvolvimento do sistema radicular e com maior intensidade de resposta ao fósforo. As culturas com ciclo mais longo, com maior desenvolvimento do sistema radicular e menor intensidade de resposta a este nutriente podem, muitas vezes, ser razoavelmente bem supridas pelo efeito residual da adubação precedente.

e) Grau de micorrização. A micorrização, através de seu efeito físico na extensão do sistema de absorção das plantas e dos efeitos fisiológicos de utilização de fósforo pela planta, representa um importante mecanismo para a maximização da eficiência de fertilizantes fosfatados. Esta associação favorece ainda o crescimento das raízes e a fixação biológica de nitrogênio, nas plantas que formam simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Siqueira & Franco, 1988).

A Figura 20 mostra o efeito desta associação na simbiose *rhizobium* – feijoeiro quando a presença de micorrizas aumentou o teor de P e N total nas plantas, tanto da ausência como presença de adubação fosfatada.

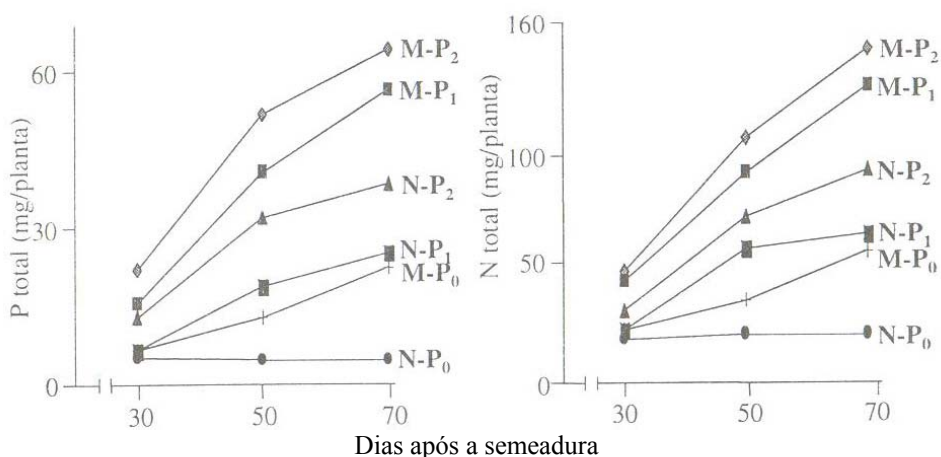


Figura 20 – Quantidade acumulada de P e N (mg) na parte aérea do feijoeiro (cv. Carioca), em função do estágio do ciclo da planta, na ausência (N) ou na presença (M) de micorriza, sob diferentes doses de fósforo (P₀=0; P₁=11 e P₂= 22 ppm P)
Fonte: Silveira & Cardoso (1987)

Devido a dificuldade para multiplicar os fungos micorrizicos na ausência de raízes vivas, sua aplicação em larga escala na agricultura é ainda muito limitada. A inoculação só é viável em culturas que passam uma por fase de formação de mudas quando fungos eficientes podem ser introduzidos para garantir mudas de melhor qualidade e mais produtivas quando transplantadas para o campo. Efeitos da pré-colonização de cafeeiros com fungos micorrízicos no aumento da produção à campo são mostrados no quadro 9 (Siqueira et al., 1993).

Quadro 9 – Efeito da pré-colonização com micorrizas na produção do cafeeiro em experimentos em Lavras e Patrocínio (MG).

Fonte: Siqueira et al. (1993).

Ano de instalação	Local	Período de anos de produção	Produção Acumulada		Aumento*
			Controle	Micorrizada	
			-----kg/ha-----		
1987	Patrocínio	89-94/6 anos	7.890	9.915	26
1989	Patrocínio	89-92/4 anos	1.539	4.519	193
1989	Lavras	90-94/5 anos	4.435	6.243	41
1989	Patrocínio	90-94/5 anos	1.827	2.875	57
1989	Patrocínio	90-94/5 anos	4.271	6.734	58
Média		5 anos	3.992	6.057	52

*Porcentagem de aumento sobre o controle

A descoberta de substâncias capazes de estimular a micorrização das plantas abre novas perspectivas para a exploração desta simbiose. Este é o caso de produtos formulados a base de isoflavonóides, cuja aplicação no solo ou via sementes (50% g/há) aumenta a produtividade das culturas anuais como milho e soja em até (50 g/ha) aumenta a produtividade das culturas anuais como milho e soja em até 30%. Estes produtos encontram-se em fase final de testes agrônômicos para comercialização no Brasil.

3. Fertilizantes Potássicos. A quase totalidade do potássio consumido na agricultura brasileira é fornecida na forma de cloreto de potássio, que é um produto solúvel em água. Embora o problema de deficiência deste nutriente não seja tão acentuado no Brasil, como a deficiência de fósforo, a demanda para aplicação de fertilizantes potássicos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, notadamente em áreas com aplicação de alta tecnologia, para atingir a Produtividade Máxima Econômica (PME).

Para maximizar a eficiência dos fertilizantes potássicos, os seguintes pontos devem ser considerados:

a) Textura, tipo de argila e CTC. Esses três fatores, somados às informações quanto ao teor de potássio trocável e, logicamente, às exigências da cultura, são de fundamental importância na tomada de decisão sobre as doses de potássio a serem aplicadas.

A relação entre o teor de potássio trocável e a concentração deste nutriente na solução do solo indica, claramente, que os solos com maior percentagem de argila (principalmente as de alta atividade), precisam ter muito mais potássio trocável do que os solos arenosos, para manter a mesma concentração de potássio na solução do solo (Figura 21).

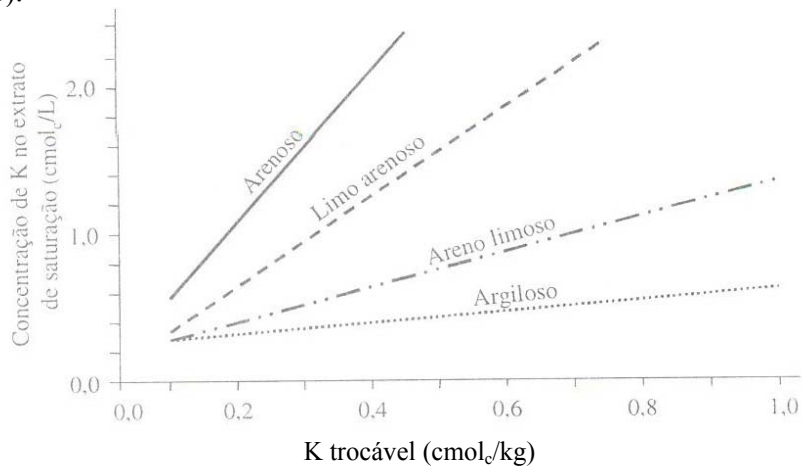


Figura 21 – Correlação entre o potássio trocável e a concentração de potássio no extrato saturado, em solos de diferentes texturas.

Fonte: Nemeth (1982)

Com relação à CTC, um exemplo da utilização deste parâmetro nas recomendações de adubação potássica para solos do Rio Grande do Sul, está demonstrado na Figura 22.

Esforço considerável por parte da pesquisa deve ser implementado para que estes parâmetros sejam incluídos na recomendações de adubação potássica, nas diversas regiões do Brasil.

b) Parcelamento da adubação. Solos arenosos ou de textura média/argilosa, mas com argilas de baixa atividade e sujeitos a chuvas intensas, devem receber a adubação na forma parcelada, com o objetivo de minimizar possíveis perdas principalmente quando da aplicação de doses elevadas de potássio. Uma regra prática é

não ultrapassar 50-60 kg de K_2O , em linha, aplicados no sulco de plantio. Os benefícios decorrentes desta prática de manejo têm sido comprovados, notadamente com a cultura da soja na região dos cerrados, como mostram os dados do Quadro 10.

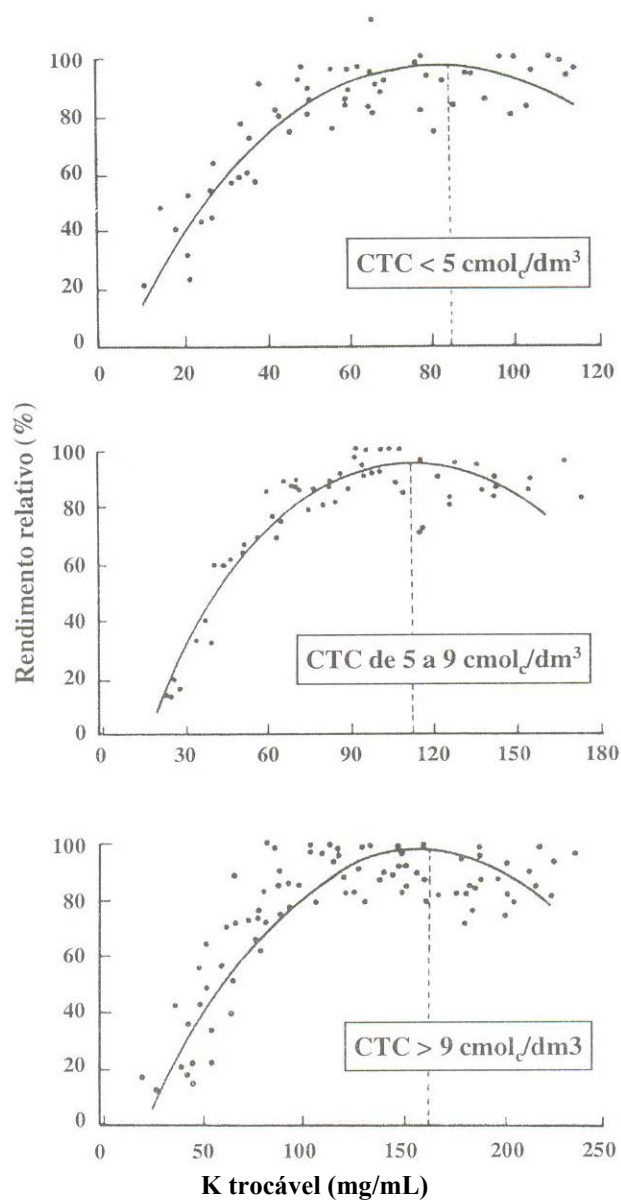


Figura 22 – Relação entre o teor de potássio trocável (NH_4OA_c) e rendimento relativo de matéria seca de trigo, em solos com diferentes capacidades de troca de cátions (CTC).

Fonte: Adaptado de Silva & Meurer (1988).

Quadro 10 – Produção de grãos de soja para diferentes modos de adubação potássica, em um Latossolo Vermelho-Amarelo arenoso da região de Barreiras – BA

Doses de potássio	Modo de aplicação	Produção de grãos
Kg K ₂ O/ha		Kg/ha
0		2.252
60	sulco de plantio	2.618
60	lanço antes do plantio	2.881
60	sulco (1/2 plantio + 1/2 cobertura)	2.979

Em solos que já atingiram teor alto de fósforo e potássio, com CTC a pH 7,0 média a alta, é possível antecipar a distribuição a lanço da adubação fosfatada e potássica de manutenção, permitindo sensíveis ganhos, em tempo, no rendimento das operações de plantio de culturas anuais, sem que isso represente possíveis perdas em produtividade.

c) Adubação potássica corretiva. Embora uma maneira eficiente de se fazer a adubação potássica, para culturas anuais e bianuais plantadas em linha, seja a distribuição do fertilizante em sulcos, ao lado e abaixo das sementes, em algumas situações é também recomendada uma adubação potássica corretiva.

Este é o caso, bastante comum, quando da incorporação de solos extremamente pobres, como os sob cerrado, ao processo produtivo e, principalmente, quando o agricultor for fazer na gleba uma adubação fosfatada corretiva, conforme mencionado anteriormente. As doses recomendadas neste caso são para se atingir 2 a 5% da CTC a pH 7,0 saturada por potássio, sendo a distribuição do fertilizante à lanço, seguindo-se de incorporação com gradagem (mais ou menos 10 cm) (Lopes, 1984).

À semelhança do que foi comentado para o fósforo, também no caso da adubação potássica corretiva, variações ao conceito clássico, através de uma correção gradual, têm sido sugeridas para os solos sob cerrado (Sousa, 1989). Também, neste caso, mais detalhes podem ser encontrados no Boletim Técnico n° 5 da ANDA: Solos sob Cerrado – Manejo da Fertilidade para a Produção Agropecuária (Lopes & Guilherme, 1992).

d) Manejo dos restos culturais. Diferentemente do nitrogênio e do fósforo, a maior parte do potássio absorvido encontra-se nas folhas, talos e ramos. Este aspecto é relevante, pois o manejo adequado dos restos culturais irá devolver grande parte do

potássio utilizado pelas plantas, contribuindo para um maior equilíbrio na dinâmica deste nutriente no solo.

e) Equilíbrio nitrogênio – potássio. Embora o princípio da adubação equilibrada e balanceada seja válido para todas as situações de solos, climas e culturas, a interação nitrogênio – potássio merece lugar de destaque.

Como o potássio promove a absorção e utilização do nitrogênio, a adubação nitrogenada somente terá máxima eficiência se as plantas também forem supridas com quantidades adequadas de potássio. Este aspecto assume relevância ainda maior em sistemas de agricultura intensiva sob irrigação, em que, muitas vezes, pequenas doses de fertilizantes potássicos podem levar ao baixo aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados, baixas produções e menores lucros por parte do agricultor. Um exemplo da interação nitrogênio – potássio é mostrado na Figura 23.

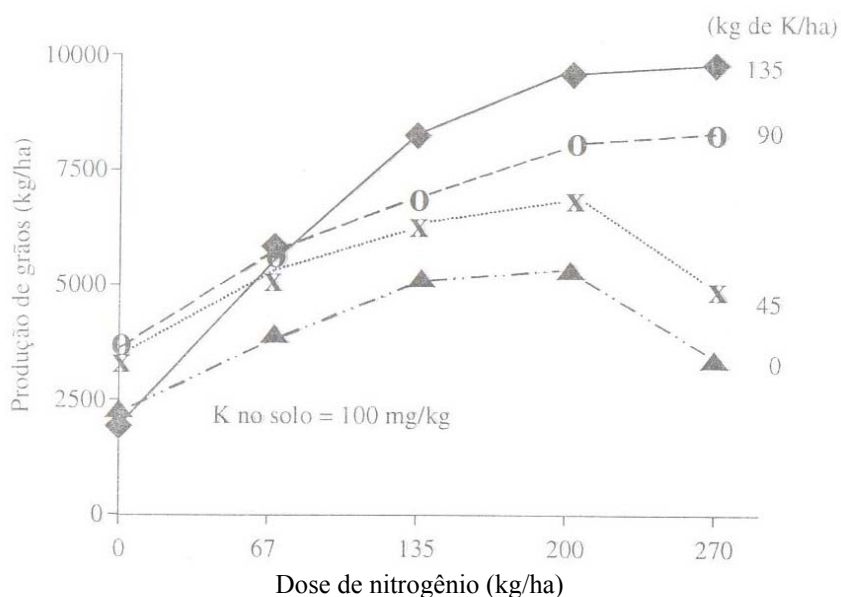


Figura 23 – Efeito da fertilização potássica na resposta do milho ao nitrogênio.
Fonte: Usherwood (1968), citado por Usherwood (1982).

4. Enxofre. Embora as doses ótimas de enxofre, com base na análise de solos, para a produção das várias culturas sejam variáveis, aceita-se que aplicações anuais, variando de 10 a 40 Kg desse nutriente por hectare, sejam suficientes para prevenir deficiência (Vitti, 1986). Uma relação importante de ser lembrada é que, para cada 10 kg de nitrogênio aplicado deve-se aplicar, também, 1 kg de enxofre, procurando-se manter uma relação N:S de 10:1.

Estas necessidades são em geral, supridas via fornecimento de fertilizantes carreadores de macronutrientes primários e também portadores de enxofre (sulfato de amônio = 24% de S, superfosfato simples = 12% de S), ou fórmulas fabricadas com esses fertilizantes simples ou enriquecidas com enxofre elementar (100% de S) ou gesso agrícola (18% de S).

Para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes contendo enxofre na agricultura brasileira, deve-se levar em conta os seguintes aspectos:

a) Análise de solos. Embora a grande maioria dos trabalhos de calibração envolvendo métodos de extração de enxofre tenham sido desenvolvidos em casa de vegetação, um nível crítico em torno de 10 mg/dm^3 de S – SO_4^{2-} , extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 500 mg/L de P, parece ser uma aproximação razoável (Kliemann, 1987).

O que é relevante em relação à análise de solos é que a avaliação deste parâmetro não deve restringir apenas à camada superficial (0 a 20 cm). Face à movimentação do enxofre para as camadas sub-superficiais, as camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm também devem ser amostradas e submetidas a determinações de S – SO_4^{2-} .

b) Textura e matéria orgânica. Solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica são os mais prováveis de apresentar deficiências de enxofre. Esta predisposição é ainda mais acentuada em áreas sujeitas a queimadas anuais, como a região dos cerrados brasileiros com pastagens nativas.

c) Necessidades das culturas. Embora haja variação da necessidade de enxofre entre as várias culturas, as leguminosas produtoras de grãos alimentícios (feijão, soja, ervilhas), as plantas produtoras de sementes oleaginosas e as crucíferas são as mais exigentes.

d) Teor de enxofre na água de irrigação. Em certas condições de agricultura intensiva sob irrigação, a contribuição do teor de enxofre na água pode atingir níveis elevados. O conhecimento desse teor e a possível contribuição para manter níveis adequados no solos devem ser levados em consideração.

e) Relação nitrogênio: enxofre. A existência de uma relação nitrogênio: enxofre aproximadamente rígida nas proteínas leva à necessidade de um adequado balanço na nutrição das plantas quanto a estes elementos. Níveis adequados de adubação nitrogenada, sob baixos teores de enxofre no solo, podem levar à acumulação de formas não protéicas de nitrogênio, resultando em uma ineficiente utilização dos fertilizantes nitrogenados e baixa qualidade dos produtos. Os dados apresentados na Figura 24 mostram que, para a cultura do milho, a não aplicação, ou mesmo a aplicação

insuficiente de enxofre no solo, resultou no maior acúmulo de formas solúveis de nitrogênio (não-protéica), em detrimento das formas insolúveis (protéicas). Pode-se observar inclusive uma tendência de estabilização da relação nitrogênio – enxofre na planta, acompanhada de uma estabilização das frações de N – insolúvel, a partir da dose de 10 mg S/dm³ de solo.

5. Cálcio e magnésio. A nutrição com cálcio e magnésio não se constitui, geralmente, em grande preocupação nos programas de adubação, tendo em vista que a prática da calagem ainda é a maneira mais usual de fornecimento destes nutrientes às plantas.

Neste contexto, informações detalhadas acerca de doses de calcário a serem recomendadas através de diversos métodos em uso no Brasil podem ser obtidas no Boletim Técnico nº 1 da ANDA: Acidez do solo e Calagem (Lopes et al. 1991) e nas recomendações emanadas pelas comissões de fertilidade do solo nos vários estados. Para esclarecimentos adicionais quanto a conceitos relativos ao uso eficiente de corretivos da acidez, não abordados neste trabalho, sugere-se a leitura do Boletim Técnico nº 6 da ANDA: Corretivos da Acidez dos Solos – Características e Interpretações Técnicas (Alcarde, 1992).

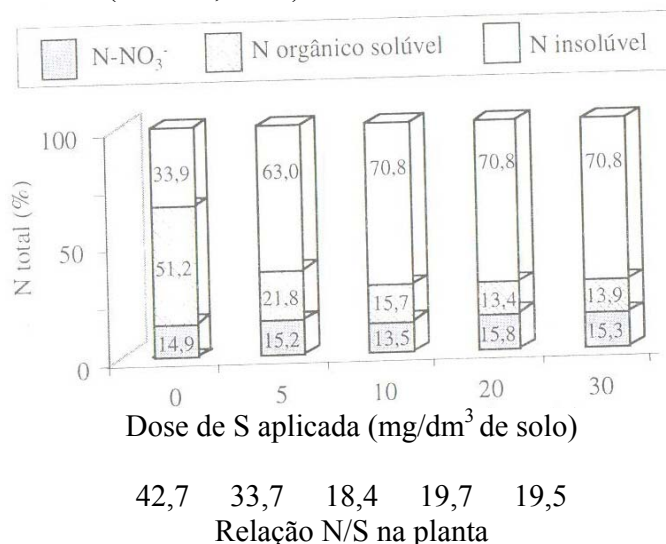


Figura 24 – Frações do N total e relação N/S em plantas de milho sob diferentes doses de enxofre adicionadas ao solo
Fonte: Vale et al. (1993).

Alguns pontos a serem considerados no uso eficiente da prática da calagem como fonte de cálcio e de magnésio, são:

a) Relação cálcio : magnésio. O conhecimento do teor de cálcio e magnésio de um calcário, aliado ao conhecimento destes teores no solo, é de grande importância para um fornecimento balanceado e eficiente destes nutrientes às plantas. Embora sejam níveis bastante gerais, as recomendações para o balanço cálcio : magnésio situam-se em torno de 60 a 70% da CTC, a pH 7,0, saturada por cálcio a 10 a 20% saturada por magnésio (Lopes & Guidolin, 1989). Um exemplo da importância da existência deste balanço na cultura do milho está demonstrado no Quadro 11. vale ressaltar, neste tópico, que para algumas culturas, entretanto, pode haver uma maior flexibilidade quanto a este balanço. Como exemplo, cita-se a cultura da soja, para a qual relações cálcio : magnésio no solo têm sido recomendada como situando-se desde 1:1 a 10:1 (Sousa, 1989) até 1:1 a 20:1 (Lopes & Guimarães, 1989).

Quadro 11 – Resultados de matéria seca de raízes e parte aérea do milho, em um Latossolo Vermelho – Escuro e um Latossolo Vermelho – Amarelo, para diferentes situações de balanço Ca : Mg.

Solo	Ca : Mg		Saturação de cálcio (%)	Matéria seca (g/vaso)	
	Adicionado	No solo		Raízes	Parte aérea
LE	75:25	2,86	62,6	19,03 a	12,90 a
	50:50	0,99	43,2	14,91 b	11,62 b
	100:0	14,80	79,2	14,66 b	10,91 b
	0:100	0,05	4,5	4,06 c	2,63 c
LV	75:25	3,14	70,1	17,27 a	12,17 a
	50:50	1,06	48,3	14,93 b	10,96 b
	100:0	9,20	83,3	13,57 c	9,40 c
	0:100	0,06	5,8	4,15 d	2,35 d

Fonte: Silva (1980)

b) Granulometria. O fornecimento eficiente de cálcio e magnésio às plantas, via calagem, está relacionado não somente ao teor destes nutrientes no calcário mas também à granulometria do produto em si.

De uma maneira geral, quanto mais fina for a granulometria do calcário, mais rápidos serão seus efeitos quanto à correção da acidez, ao fornecimento de cálcio e magnésio e às respostas das culturas em produção, principalmente nos primeiros cultivos após a aplicação. Trabalho conduzido por Souza e Neptune (1979) com as culturas da mamoneira, milho e soja, consubstanciam estas argumentações.

Vale ressaltar, entretanto, que em situações onde se deseja um maior efeito residual do calcário, a utilização de corretivos com granulometria mais grosseira, dentro de certos limites, pode ser recomendável, conforme evidencia Alcarde (1992). Dentre essas situações, ressaltam-se: no volume correspondente ao preparo da covas ou valetas

de formação de culturas perenes, na formação de pastagens e na última calagem antes de entrar no sistema plantio direto.

c) Aplicação em linha. Embora não substitua a técnica de distribuição a lanço com incorporação quanto ao efeito de correção da acidez, conforme evidenciam Carvalho & Meurer (1980), a aplicação de calcário na linha de semeadura merece ser considerada quando do fornecimento de cálcio e magnésio na nutrição das culturas principalmente em relação a este último nutriente.

Em regiões onde a disponibilidade de calcários magnesianos ou dolomíticos é pequena, a utilização de calcário calcítico a lanço como posterior adição de fontes de magnésio no sulco de plantio, é prática que já está sendo adotada por um grande número de agricultores. Neste contexto, Sousa (1989) menciona que, para solos sob cerrado pobres em magnésio, a aplicação de 300 a 500 kg de calcário magnesiano ou dolomítico, no sulco da planta, pode ser usada como técnica pra suprir as necessidades deste nutriente para a cultura da soja.

Além da calagem, também a gessagem constitui-se e importante prática de fornecimento de cálcio às plantas, principalmente aquelas crescendo em regiões de sub-solos ácidos. O uso eficiente do gesso agrícola, nestas condições, requer uma correta diagnose baseada em critérios químicos que levem as recomendações seguras das doses a serem aplicadas.

Diversos trabalhos têm sugerido a camada de 30 a 50 cm como recomendada para a amostragem visando a determinação da dose de gesso agrícola (Raij, 1992); Sousa et al. 1992). Os critérios, nesses casos, se aproximam bastante daqueles sugeridos por Lopes (1986): teores de $\text{Ca} < \text{ou} = 0,4 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$ e/ou de $\text{Al} > \text{ou} = 0,5 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$ e/ou saturação por Al da CTC efetiva (valor m) $> \text{ou} = 30\%$.

Quanto às dosagens, levando-se em consideração trabalho recente desenvolvido por Sousa et al. (1992) e dada a facilidade da determinação do teor de argila em análises de solo, sugere-se, para os solos sob cerrado, com algumas adaptações ao trabalho visando à facilidade de cálculo, o uso da seguinte expressão:

$$\text{Necessidade de gesso (kg/ha)} = 50 \times \% \text{ de argila.}$$

Esta expressão seria válida para culturas anuais, considerando-se a camada de 20 a 60 cm como suficiente para a atividade do sistema radicular. Para culturas perenes a camada considerada seria de 20 a 80 cm, sendo a dose acima multiplicada pr 1,5.

As doses sugeridas equivalem aproximadamente à metade daquelas propostas por Raij (1992), as quais, entretanto, não são referidas como sendo específicas para

solos sob cerrado. Independentemente disso, conforme ressaltam Lopes & Guilherme (1992), o ponto relevante a ser considerado quanto à avaliação da melhor dose a ser utilizada é o monitoramento das análises de solo em profundidade, para que se possa avaliar a redistribuição de cálcio no perfil do solo.

Cabe ressaltar ainda, com relação à adubação com cálcio e magnésio, a consideração dos teores destes nutrientes contidos nos fertilizantes portadores de macronutrientes primários ou mesmo em outros produtos não específicos. O conhecimento destes teores é fundamental para uma avaliação correta das doses a serem complementadas por produtos específicos.

6. Micronutrientes. O uso eficiente de fertilizantes contendo micronutrientes ocupa, atualmente, lugar de destaque na agricultura brasileira, notadamente nas áreas de expansão da fronteira agrícola como nos cerrados. Entretanto, a eficiência destes fertilizantes somente pode ser atingida se os seguintes aspectos foram levados em consideração.

a) Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes. Embora o conhecimento dos fatores que afetam a disponibilidade de nutrientes seja um dos instrumentos de diagnose mais importantes para o uso eficiente dos fertilizantes, esse aspecto assume ainda maior relevância para os micronutrientes.

Solos arenosos e/ou argilosos, mas com argilas de baixa atividade, baixos teores de matéria orgânica e baixa CTC, são mais propensos a apresentar problemas de deficiência de micronutrientes, principalmente zinco, cobre e boro. Quanto mais elevado for o valor do pH , menor a disponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês.

Detalhes dos fatores que afetam a disponibilidade de cada nutriente são apresentados em vários trabalhos (Lopes, 1984; Lopes & Carvalho, 1988).

b) Filosofias de aplicação. Existem três filosofias básicas para aplicação de micronutrientes que vêm sendo utilizadas no Brasil: filosofia de segurança, filosofia de prescrição e filosofia de restituição (Lopes, 1999).

i) Filosofia de segurança – A filosofia de segurança foi a mais utilizada no passado, principalmente no fim da década de 60 e início dos anos 70, quando do início da incorporação da região dos cerrados no processo produtivo. Por princípio, essa filosofia não utiliza dados de análise de solos e análise de plantas e são recomendados, geralmente, mais de um ou todos os micronutrientes levando-se em conta possíveis problemas de deficiência em uma região, tipo de solo ou cultura específica.

Vários estados, em seus boletins de recomendação de adubação, utilizaram no passado essa filosofia. Cita-se, como exemplo, o Estado de Goiás cuja recomendação para cultura de grãos era de 6 kg/ha de Zn, 1 kg/ha de Cu, 1 kg/ha de B e 0,25 kg/ha de Mo, com distribuição a lanço e repetição a cada 4 ou 5 anos (CFSG – Comissão de Fertilidade do Solo de Goiás, 1988). No sulco de plantio, a recomendação era de ¼ dessas doses, repetidas por 4 anos. Volkweiss (1991) cita, como outros exemplos dessa filosofia, a recomendação de boro nas culturas de alfafa no Rio Grande do Sul (ROLAS, 1981), do algodoeiro em solos arenosos de São Paulo (Raij et al., 1985), de Zn na região dos cerrados e para adubação de pastagens em São Paulo (Werner, 1984).

Em culturas de alto valor, como hortaliças e frutíferas, onde os custos de adubação com micronutrientes são insignificantes em relação ao valor da produção, muitos agricultores, ainda hoje, usam a adubação de segurança, incluindo vários ou todos os micronutrientes.

ii) Filosofia de prescrição – A filosofia de prescrição vem, aos poucos, substituindo a filosofia de segurança para um número considerável de casos de recomendações oficiais de micronutrientes para as mais diferentes regiões e condições de solo, clima e culturas.

Análise do solo e/ou de tecidos de plantas, devidamente calibradas através de ensaios de campo, são preferencialmente utilizadas nesse sistema para avaliar a disponibilidade e definir doses de micronutrientes que proporcionem o máximo retorno econômico ao agricultor (Volkweiss, 1991).

Através da filosofia de prescrição, as recomendações são mais equilibradas e de certa forma protegem contra os antagonismos que possam vir a ocorrer na nutrição mineral das plantas, como resultado de relações não balanceadas no solo e nas plantas.

Um exemplo da combinação da filosofia de segurança com a de prescrição é a utilizada para construção da fertilidade do solo com micronutrientes na cultura da soja, tomando por base a necessidade ditada pela análise foliar e aplicando-se as seguintes doses: 4 a 6 kg/ha de Zn, 0,5 a 1 kg/ha de B, 0,5 a 2,0 kg/ha de Cu, 2,5 a 6 kg/ha de Mn, 50 a 250 g/ha de Mo e 50 a 250 g/ha de Co, aplicados a lanço e com efeito residual para pelo menos cinco anos. Para aplicação no sulco, é recomendável ¼ dessas doses repetidas por 4 anos consecutivos. No caso do Mo e Co, recomenda-se, ainda, o tratamento das sementes com as doses de 12 a 25 g de Mo/ha e 1 a 5 g de Co/ha, com produtos de alta solubilidade EMBRAPA-CNPSO, 1996).

Exemplos recentes de adoção da filosofia de prescrição, em recomendações oficiais de adubação em vários estados, utilizando dados de análise de solo e às vezes de análise foliar são encontrados em várias publicações (Cavalcanti, 1998, Pernambuco;

Ribeiro, Guimarães & Alvarez V., 1999, Minas Gerais; Prezotti, 1992, Espírito Santo; Comissão de Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 1994; Raij et al., 1996, São Paulo).

Segundo Volkweiss (1991), a filosofia de prescrição é o sistema ideal do ponto de vista econômico, de segurança para o agricultor e de uso racional de recursos naturais, como são os micronutrientes. Contudo, para sua utilização, é necessária uma sólida base experimental referente a seleção ou desenvolvimento e calibração de métodos de análises de solos ou de plantas.

No Boletim n° 8 da ANDA – Micronutrientes: Filosofias de Aplicação e Eficiência Agronômica (Lopes, 1999), são apresentados, no apêndice, os critérios para interpretação de análise de solos para micronutrientes em uso em vários estados, os teores foliares adequados para as mais diferentes culturas e as recomendações de doses e métodos de aplicação.

iii) Filosofia de restituição – A filosofia de restituição tem por objetivo restituir ao solo as quantidades de micronutrientes retiradas pelas colheitas, e, assim, evitar que o mesmo se esgote ou se torne deficiente. Para sua implementação, torna-se necessário conhecer os teores de micronutrientes nas partes exportadas, a eficiência agronômica das fontes e modos de aplicação e uma avaliação detalhada dos índices de produtividade obtidos ou esperados para cada caso em particular.

Essa filosofia de aplicação vem sendo cada vez mais utilizada, principalmente nas áreas que têm atingido altos tetos de produtividade e intensificação de problemas de deficiência de micronutrientes, pelas altas taxas de exportação obtidas.

A combinação ideal para se atingir bases sólidas de diagnose e recomendação de micronutrientes seria a integração da filosofia de prescrição com a filosofia de restituição, ou seja, utilizar dados de experimentos de calibração de métodos de análise de solos e de plantas e variação das doses a serem aplicadas em função dos tetos de produtividade e exportação para as mais diversas culturas. Esses aspectos devem merecer prioridade de pesquisa futura sobre o assunto.

Um fator que pode ser considerado limitante na implementação da filosofia de restituição para micronutrientes é a quase total falta de trabalhos científicos procurando estabelecer taxas de eficiência das diversas fontes e modos de aplicação para os mais diferentes tipos de solos, climas e culturas no Brasil.

Mesmo que se possam estimar possíveis exportações de quantidades de micronutrientes, por toneladas produzida, por exemplo, em função de tetos de produtividade com base nos dados existentes, (Ver Boletim n° 8 da ANDA –

Micronutrientes: Filosofias de Aplicação e Eficiência Agronômica, Lopes, 1999), ainda ficam em aberto as doses adequadas das diversas fontes para que essa necessidade seja repostas.

c) Fontes de micronutrientes. Segundo Volkweiss (1991), sais, ácidos e óxidos inorgânicos simples, naturais ou artificiais, silicatos complexos (fritas) contendo um ou vários micronutrientes e quelatos naturais ou artificiais são usados como fontes de micronutrientes, isoladamente ou incorporados em adubos com micronutrientes. Adubos orgânicos como esterco, tortas, compostos, etc, apesar de apresentarem baixa concentração de micronutrientes, quando utilizados em altas quantidades, 10 ou mais toneladas por hectare, são fontes importantes de micronutrientes (Stevenson & Ardakani, 1972).

A eficiência agronômica dessas fontes de micronutrientes é extremamente dependente de uma série de fatores e suas interações, tornando-se difícil determinar, num aspecto amplo, qual a melhor.

Entretanto, alguns princípios básicos sobre eficiência dessas fontes são mencionadas a seguir:

i) Sob condições de alto índice pluviométrico, solos com textura arenosa e baixa CTC, as fontes não solúveis em água (óxidos inorgânicos simples, silicatos complexos – fritas e outros) podem levar a uma maior eficiência da adubação. Os dados do Quadro 12, adaptados do trabalho de Windsor (1950), ilustram este aspecto.

Quadro 12 – Efeitos de fonte de B, com diferentes graus de solubilidade em água, na produção de anileira spp. (kg/parcela), em um solo arenoso da Flórida.

Fonte de B	Solubilidade	B aplicado, kg/ha			
		0	1,25	2,50	5,00
		2,84			
Bórax	alta		2,86	1,84	0,64
Colemanita	moderada		2,72	1,84	2,14
Borosilicato*	baixa		2,91	3,55	2,36

* doses aplicadas de 2,25; 4,5 e 9,0 kg de B/ha, respectivamente
Fonte: Windsor (1950)

ii) A eficiência agronômica da fonte depende da dose aplicada. Doses de zinco de 0; 0,11; 0,33; 1,1 e 3,3 kg/ha resultaram em diferentes graus de eficiência das fontes ZnEDTA, ZnSO₄ e ZnO para a cultura de milho (Hergert et al. 1977). A ordem de

eficiência observada na menor dose foi ZnEDTA > ZnSO₄>ZnO; em contraste, as produções na dose maior foram menores com ZnEDTA do que com ZnSO₄ e ZnO, porque da nutrição da planta com ferro foi afetada.

iii) Fontes não solúveis em água (óxidos inorgânicos simples, silicatos complexos – fritas e outros) são mais eficientes, sob aspectos agronômicos, quando utilizados na forma de pó.

iv) Para maior eficiência agronômica de fertilizantes contendo micronutrientes aplicados na forma granulada e localizada (em sulcos), esses devem apresentar, no mínimo, 40% do teor total solúvel em água.

d) Métodos de aplicação. O principal problema prático de aplicação de micronutrientes no solo reside na dificuldade de distribuição uniforme, devido às pequenas quantidades empregadas. Neste contexto, cabem alguns comentários práticos pertinentes a alguns métodos de aplicação.

i) Aplicação direta ao solo. Este tipo de adubação pode ser feita a lanço, antes das práticas de preparo do solo, ou em sulcos por ocasião do plantio.

A aplicação a lanço, com incorporação, permite que uma maior proporção do solo, na zona de proliferação de raízes, seja afetada pelos fertilizantes; mas isso resulta em uma maior reação com as partículas do solo, o que pode diminuir sua eficiência agronômica (Mortvedt, 1985). Este tipo de aplicação, sem posterior incorporação, geralmente é menos eficiente, porque os micronutrientes metálicos (zinco, cobre, ferro, manganês) não se movimentam muito para a zona de proliferação das raízes.

Ainda segundo Mortvedt (1985), a aplicação em sulco por ocasião do plantio é, geralmente, mais eficiente para os fertilizantes contendo manganês e ferro, uma vez que mesmo as formas solúveis em água destes micronutrientes oxidam-se rapidamente com as aplicações a lanço, com acentuada redução na eficiência agronômica.

ii) Tratamento de sementes e imersão de raízes. O tratamento de sementes é, possivelmente, o método mais usado para a aplicação de molibdênio, cujas pequenas quantidades exigidas pelas plantas podem ser facilmente distribuídas de modo uniforme, via revestimento de sementes. De modo semelhante, o cobalto, necessário à fixação simbiótica de nitrogênio em leguminosas, também pode ser aplicado dessa forma. Vários experimentos mais recentes têm mostrado uma adequada eficiência agronômica da aplicação de micronutrientes, principalmente contendo zinco e cobre, via tratamento de sementes (Galvão, 1994, 1996: 1999).

A imersão de mudas de arroz em suspensão de óxido de zinco a 1% é uma forma barata e eficiente de fornecer zinco a esta cultura, em sistema de irrigação por inundação, como mostram os dados do Quadro 13. Esta prática é comum na rizicultura sob inundação, na Ásia.

Quadro 13 – Efeito de fontes e métodos de aplicação de zinco na cultura de arroz no Paquistão.

Fonte de Zn	Doses de Zn (kg/ha)	Método de aplicação	Produção (t/ha)*
			4,32 a
ZnSO ₄	10	Pré-plantio	5,98 bcd
ZnSO ₄	100	Pré-plantio	6,52 cd
ZnSO ₄	10	A lanço após preparo	6,01 bcd
ZnSO ₄	100	A lanço após preparo	6,92 d
ZnSO ₄	10	A lanço após 1 ^{os} sintomas	5,69 bcd
ZnSO ₄	100	A lanço após 1 ^{os} sintomas	6,17 bcd
ZnO	0,1**	Imersão das mudas em suspensão de ZnO a 1%	5,86 bcd

*valores seguidos da mesma letra não são significativamente diferentes ao nível de 95% de probabilidade.

**dose aproximada de Zn

Fonte: Yoshida et al. (1970)

iii) Adubação foliar. Soluções contendo um ou mais nutrientes são amplamente utilizadas para fornecer micronutrientes às plantas, forma de aplicação que pode ser vantajosa em algumas situações. Segundo Mortvedt (1985), as vantagens são as seguintes: 1) as doses aplicadas são muito menores que as fornecidas via solo; 2) a distribuição uniforme é fácil de ser obtida; 3) a resposta ao nutriente aplicado é mais imediata, e, conseqüentemente, as deficiências podem ser corrigidas no mesmo ciclo da cultura; 4) a suspeita de deficiência pode ser facilmente diagnosticada com uso desta técnica. O mesmo autor, entretanto, enumera as seguintes desvantagens: 1) a demanda de nutrientes é geralmente alta quando as plantas são pequenas e a superfície (área) foliar é insuficiente para a absorção foliar; 2) quando a concentração salina é elevada pode ocorrer queima das folhas; 3) pode ser muito tarde para corrigir a deficiência e ainda obter produção elevada; 4) o efeito residual é pequeno; 5) muitas vezes são necessárias várias aplicações, o que representa custos extras.

Uma das conclusões do 2º Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar, realizado na UNESP – Botucatu, SP, é que a aplicação foliar de micronutrientes é um recurso efetivo e econômico no controle de deficiências em citrus, café e frutíferas, podendo ser

recomendada em programa de adubação, desde que haja controle das necessidades das plantas e sejam utilizados produtos específicos (ANDA, 1987). Detalhes sobre a adubação foliar com micronutrientes, para várias culturas, podem ser encontrados no Boletim Técnico nº 8 da ANDA: Micronutrientes: Filosofias de Aplicação e Eficiência Agronômica (Lopes, 1999).

Maior eficiência da adubação foliar pode ser obtida levando-se em conta os seguintes aspectos: 1) a presença de uréia nas soluções, cria condições para a “difusão facilitada”, e maior absorção; 2) uso de surfactantes que promovam maior grau de aderência da solução nas folhas; 3) efetuar as pulverizações no período da manhã ou final da tarde; 4) quando em combinação com pesticidas, utilizar micronutrientes na forma de quelatos; 5) quando possível, utilizar pesticidas que contenham micronutrientes; 6) não misturar, dado o alto grau de incompatibilidade, sais de zinco com óleos minerais e nem sais de cobre com sulfato de magnésio, ácido bórico ou boratos; 7) para soluções com alta concentração, ajustar o pH entre 5,5 e 6,5; 8) quando misturar fertilizantes contendo micronutrientes com pesticidas (inseticidas, fungicidas, nematicidas, herbicidas e outros) fazer o “teste da proveta” para verificar possíveis problemas de incompatibilidade.

iv) Aplicação com fertilizantes NPK. A aplicação de micronutrientes, em combinação com fertilizantes contendo NPK, é bastante conveniente, pois permite uma distribuição mais uniforme com o uso de equipamentos convencionais.

As opções ideais neste caso seriam a incorporação dos fertilizantes contendo micronutrientes nas misturas granuladas durante o processo de fabricação ou o revestimento das misturas de grânulos ou misturas granuladas com o(s) micronutrientes(s) na forma de pó. Ellis et al. (1965) não encontraram diferenças significativas na produção e concentração de zinco em ervilha, em decorrência da utilização de $ZnSO_4$ ou ZnO incorporados ou em revestimento de grânulos. Embora existam ainda poucas informações nesta área em nosso país, trabalho realizado por Korndörfer et al. (1987) evidenciou uma maior eficiência na cultura do milho, para a técnica de incorporação, quando comparada ao revestimento dos grânulos do adubo com diferentes fontes de Zn. Em síntese, o ideal é que cada grânulo do fertilizante carregue também o micronutriente.

Uma outra opção, porém menos eficiente, é a granulação do fertilizante contendo micronutriente e a mistura subsequente com misturas de grânulos ou misturas granuladas. Com esta opção, dois aspectos devem ser levados em consideração: 1) o fertilizante contendo micronutriente(s) granulado(s) deve ter menos 1/3 na forma solúvel em água; 2) o grânulo do fertilizante contendo micronutrientes(s) deve ser de tamanho e forma semelhantes aos outros grânulos para evitar segregação.

A aplicação de fontes de micronutrientes na forma granulada, reduz o número de pontos de aplicação no solo. Por exemplo, o número de pontos quando da aplicação de 1 kg de zinco por hectare, na forma granulada, é 20/m². Em contraste, se o ZnSO₄ for incorporado a misturas granuladas ou revestindo misturas granuladas ou mistura de grânulos, para conter 2% de zinco, o número de pontos atingidos com a aplicação dos mesmos 1 kg de zinco por hectare é de 350/m² (Mortvedt, 1985).

e) Interações com macronutrientes e micronutrientes. O uso eficiente de fertilizantes contendo micronutrientes depende, também, das interações que ocorrem com alguns macro e micronutrientes. Tais interações podem ocorrer no solo ou dentro da planta e elas precisam ser entendidas e consideradas para se obter um adequado suprimento de micronutrientes para as plantas.

O leitor deve consultar o Capítulo 11: Micronutrient Interactions, do livro Micronutrients in Agriculture, para conhecimento detalhado das mesmas. Um resumo dessas interações detalhadas por Olsen (1972), é apresentado a seguir: a) doses excessivas de fertilizantes fosfatados diminuem a disponibilidade de zinco, ferro e cobre para as plantas; b) da mesma forma, doses acentuadas de fertilizantes nitrogenados e contendo enxofre diminuem a eficiência agrônômica do zinco e molibdênio, respectivamente; c) o fósforo aumenta a eficiência do molibdênio, e o magnésio a do zinco; d) excesso de zinco, cobre e molibdênio pode causar deficiências de ferro; e) excesso de ferro, manganês e alumínio reduz a disponibilidade de cobre para as plantas; f) ferro e manganês são inter-relacionados em suas funções metabólicas: a eficiência de um é determinada pela presença do outro; g) molibdênio afeta o metabolismo do cobre e vice-versa.

V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de uso de eficiente de fertilizantes e corretivos na agricultura brasileira nos dias atuais passa, necessariamente, pela verticalização da produção e envolve uma avaliação criteriosa dos retornos econômicos sobre os investimentos.

A tendência natural do agricultor em situações de dificuldade de crédito para custeio, desfavorável relação de troca entre custos de insumos e preços de venda dos produtos agrícolas, é como primeira medida, reduzir os gastos com esses insumos, notadamente com fertilizantes e corretivos agrícolas.

A alternativa mais razoável em situações como a que ocorre hoje na agricultura brasileira é exatamente aquela que passa pela verticalização da produção, ou seja, aumentar a produtividade e reduzir os custos fixos, almejando sempre atingir a Produtividade Máxima Econômica (PME).

O exemplo mostrando a seguir, de algumas décadas atrás, mas ainda válido (Quadro 14), extraído de Goedert & Sousa (1984), ajuda a ilustrar esse aspecto: “A situação é de um empreendimento agrícola em que o capital é limitado, ou seja, só existem recursos disponíveis para adquirir 12 toneladas de P_2O_5 solúvel”. São apresentadas quatro alternativas ou combinações de áreas cultivadas com níveis de aplicação de fosfato, ou seja, este fertilizante pode ser distribuído em 100, 150, 200 ou 300 hectares.

Através da alternativa “A”, pode-se obter a maior produção global da empresa; contudo, os custos fixos serão muito elevados, já que é necessário preparar a terra, semear e cultivar uma área maior. Desse modo a receita líquida é insignificante e o empreendedor deficitário. Ademais, esta alternativa representa um desperdício dos fatores mão-de-obra, terra e insumos (semente, adubos, defensivos, combustíveis, etc).

Por outro lado, a alternativa “D” procura uma utilização ideal dos fatores de produção, obtendo-se uma boa renda líquida, em termos de produção e produtividade (relação produção/custo). Em adição, essa alternativa representa o uso mais eficiente do recurso fósforo, obtendo-se uma receita líquida de 8,5 kg de grãos de soja para cada kg de P_2O_5 incorporado ao solo.

As alternativas “B” e “C” representam situações intermediárias e talvez mais próximos da realidade atual das lavouras situadas em solos de baixa fertilidade natural. Mostram um uso eficiente do fósforo em relação a alternativa “A”, mas constituem um uso ainda inadequado desse recurso, quando comparados com sistemas mais racionais de manejo agrícola.

Os princípios ilustrados no Quadro 14, embora enfoquem o uso eficiente de fertilizantes fosfatados na cultura da soja, na região dos cerrados, em décadas atrás, podem ser extrapolados para outras situações atuais de uso eficiente de fertilizantes e corretivos em outras culturas ou regiões.

A adoção desta filosofia de manejo, ou seja, fazer bem feito em uma área menor para aumentar a produtividade, aliada ao conhecimento e aplicação dos aspectos básicos que contribuem para o uso eficiente de fertilizantes e corretivos discutidos neste trabalho, é o caminho para aumentar a probabilidade de sucesso daqueles que militam no processo produtivo da agricultura brasileira.

Quadro 14 - Produção potencial de quatro lavouras de soja implantadas em solo de alta resposta à adubação fosfatada, utilizando a mesma quantidade total de fertilizantes fosfatados

Alternativa	Área (ha)	Adubação P (kg P ₂ O ₅ /ha)	Rendimento potencial (t grãos/ha)	Produção da empresa (t grãos)	Custos em t grãos *		Receita líquida da empresa		Produção líquida por unidade de P ₂ O ₅	
					Fixos	Fosfato	Total	t grãos		Produção/ custos
A	300	40	0,9	270	210	48	258	12	1,04	1,0
B	200	60	1,3	260	140	48	188	72	1,38	6,0
C	150	80	1,6	240	105	48	153	87	1,57	7,3
D	100	120	2,2	220	70	48	118	102	1,87	8,5

* baseado em custos fixos (custo total - custo fertilizante fosfatado) de 700 kg grãos/ha e na condição de que são necessários 4 kg de soja para pagar 1 kg de P₂O₅

Fonte: Adaptado de Coedert & Sousa (1984)

VI – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, ANDA, 1992, 26p. (Boletim Técnico, 3).
- ALCARDE, J.C; GUIDOLIN, J.A. & LOPES, A.S. Os adubos e a eficiência das adubações. São Paulo, ANDA, 1998, 35p. 3^a ed. (Boletim Técnico, 6).
- ALMEIDA, E.C. de; FERNANDES, B.; NOVAES, R.F. de & CONDE, A.R. Efeito de faixas de potencial matricial sobre o crescimento do milho em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, 9:271-276, 1985.
- ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 2^o Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar. Solos & Adubos. São Paulo, XX (145):9, 1987.
- BALASTREIRE, L.A. & COELHO J.L.D. Aplicação mecanizada de fertilizantes e corretivos. São Paulo, ANDA, 2000, 51p. 2^a ed. (Boletim Técnico, 7).
- BARBER, S.A. & OLSON, R.A. Fertilizer use on corn: In: NELSON, L.B. et. al. eds. Changing pattern in fertilizers use. Madison, Soil Science Society of America. 1968. p.163-188.
- BARRETO, A.C. Efeito da acidulação parcial de misturas com superfosfato triplo e enxofre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais. Porto Alegre, UFRGS. 1977. 63p. (Tese de Mestrado).
- CABEZAS, W.A.R.L.; KORNDÖRFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. Rev. Bras. Ci. Solo, 21: 481-487, 1997.
- CARVALHO. T.A.A. & MEURER, E.J. Aplicação de calcário a lanço e em linhas para o cultivo da soja. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 4:170-173, 1980.
- CAVALCANTI, F.J. de A. (coord.) Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco (2^a Aproximação). Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 1998. 198p.
- CFSG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE GOIÁS. Recomendação de corretivos e fertilizantes para Goiás. Convênio Informativo Técnico. 1. 5^a Aproximação. Goiânia, GO, UFG/EMGOPA. 1988. 101p.

- COELHO, J.L.D.; MOULIN, J.P. & GADANHA JR.C.D. Avaliação do desempenho operacional de mecanismos dosadores distribuidores na aplicação do fosfogesso. In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura. 2. Uberaba, MG. 1992. São Paulo, IBRAFOS, 1992. p.83:103.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. Recomendações de adubação e calagem para os Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3ª ed. Passo Fundo: Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC, SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994, 224p.
- DELAZARI, P.C. Rendimento econômico de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L) em função da aplicação de nitrogênio e fósforo. R. Brás. Ci. Solo, Campinas, 5:46-50, 1981.
- ELLIS, B.G.; DAVIS, J.F. & JUDY, W.H. Effect of methods of incorporation of zinc in fertilizer on zinc uptake and yield of pea beans. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., Madison 29:635-636, 1965.
- EMBRAPA-CNPSO. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1996/97. Londrina: EMBRAPA – Soja. (EMBRAPA – Soja. Documentos 97). 1996. 187p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de pesquisa agropecuária dos cerrados. Planaltina – DF. Rel. Téc. Anual. Cerrados. Planaltina, 1976, 154p.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Projeto “Racionalização do uso de insumos”. Sub-Projeto “Pesquisa em racionalização de fertilizantes e corretivos na agricultura”. Brasília, 1980. 78p.
- FAO/FAI. Efficient fertilizer use. Coleção de “slides” produzida por Fertilizer and Plant Nutrition Service. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, em colaboração com a Fertilizer Association of India, Índia.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de cobre e avaliação de sua disponibilidade para soja num Latossolo Vermelho–Amarelo, franco-argilo-arenoso, fase cerrado. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 23(2):265-272,1999.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho–Escuro, argiloso, fase cerrado. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 20(2):283-289,1996.

- GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 18(2):229-233,1994.
- GIANLUPPI, D.; SCOPEL, I. & MIELNICZK, J. Alguns prejuízos da erosão do solo no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DE CIÊNCIAS DO SOLO. 13. Manaus,1970.
- GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. de. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: ESPINOSA, W. & OLIVEIRA, A.J. de., eds. Anais do Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira, Brasília – EMBRAPA – DEP, 1984. p.255-289.
- HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H. & GARCIA BLANCO, H. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. Bragantia, Campinas, 26:381-392, 1977.
- HERGERT, G.W.; WIESE, R.A. & REHM, G.W. Effectiveness of band-applied zinc sources. Fert. Solns., 21:66-74, 1977.
- KLIEMANN, H.J. Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre a solos brasileiros. Piracicaba, ESALQ. 1987. 231p. (Tese de Doutorado).
- KORNDÖRFER, G.H.; EIMORI, I.E. & TELLECHEA, M.C.R. Efeito de técnicas de adição do zinco a fertilizantes granulados na produção de matéria seca do milho. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, 11:330-332, 1987.
- LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da Região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J. et al., eds. Adubação fosfatada no Brasil – Brasília, EMBRAPA – DID, 1982, p.201-240.
- LOPES, A.S. Calagem e gesso agrícola. Encontro técnico sobre gesso agrícola. Belo Horizonte, 1986, 58p.
- LOPES, A.S. Fosfatos naturais. In: RIBEIRO A.C.; GUIMARÃES P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. p.65-66.
- LOPES, A.S. Manual de fertilidade do solo. São Paulo. ANDA/POTAFOS. 1989. 153p.

- LOPES, A.S. Micronutrientes: Filosofias de aplicação e eficiência agrônômica – São Paulo: ANDA, 1999. Boletim Técnico N°8. 72p.
- LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo. 2ª edição Piracicaba, Assoc. Bras. para Pesq. da Potassa e do Fosfato, 1984, 162p.
- LOPES, A.S. (Tradução e Adaptação). Manual internacional de fertilidade do solo, 2ª edição revisada e ampliada. Piracicaba: POTAFOS, 1998, 177p.
- LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiência e excessos. In: BORKERT, C.M. & LANTAMANN, A.F. eds. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina. EMBRAPA. CNPSo/IAPAR/SBCS, 1988. p.133-178.
- LOPES, A.S. & GUIDOLIN, J.A. Interpretação de análise do solo, conceitos e aplicações, 2ª edição. São Paulo, ANDA, 1989. 64p. (Boletim Técnico 2).
- LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. Plant nutrition problems and management in irain dependent food crop production in cerrado region of Brazil. Palestra apresentada em FAO/FIAC Working Party on the Economics of Fertilizer Use, Roma, Itália, 10 a 15/abril/1989. 29p. (mimeo).
- LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo, ANDA, 1992, 60p. (Boletim Técnico, 5).
- LOPES, A.S. & GUIMARÃES, P.T.G. (coord.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4ª aproximação. Lavras, DFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1989. 176p.
- LOPES, A.S.; SILVA, M. de C. & GUILHERME, L.R.G. Acidez do solo e Calagem. 3ªed. rev. São Paulo, ANDA, 1991, 22p. (Boletim Técnico 1)
- MALAVOLTA, E. ABC da adubação, 4ª Ed. São Paulo. Ed. Agrônômica Ceres, 1979, 255p.
- MORTVEDT, J.J. Micronutrient fertilizers and fertilization practices. In. VLEK, P.L.G. ed. Micronutrients in tropical food crop production. Dordrecht, Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk Publishers, 1985. p.221-235.

- NEMETH, K. Métodos de análise de potássio do solo e sua interpretação. In: YAMADA, T; IGUE, K; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N.R. eds. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.77-94.
- OLSEN, S.R. Micronutrient Interaction. In: Mortvedt, J.J. et al., Ed. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America. Inc., 1972. p.243-264.
- PEREIRA, P.A.A.; BALDANI, J.I.; BRAÑA, R.A.G. & NEYRA, C.A. Assimilação e translocação de nitrogênio em relação à produção de grãos e proteínas em milho (*Zea mays* L.) R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 5:28-31, 1981.
- PETROFÉRTIL – Petrobrás Fertilizantes S/A. Projeto preservação do solo. Erosão (9º fascículo), 1986. 8p.
- PREZOTTI, L.C. (coord.) Recomendações de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo. 3ª Aproximação. Vitória: EMCAPA, 1992. 73p. (EMCAPA, Circular Técnica 12).
- RAIJ, B. van; Reações do gesso em solos ácidos. In. Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, 2, Uberaba, 1992. São Paulo. IBRAFOS, 1992. p.105-119.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; & FURLANI, A.M.G. eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico/ Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim 100).
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H., BELLINAZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A.R. & TRANI, P.E. eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1985. 107p. (Boletim Técnico, 100).
- RESENDE, M.; CURI, N & SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações. Brasília/Lavras/Piracicaba, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 81p.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. 359p.

- RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modo de aplicação. R. Brás. Ci. Solo. Campinas, 10:37-43, 1986.
- ROLAS – REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISES DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina: Trigo e Soja, Porto Alegre, 56:3-34, 1981. (Boletim Técnico da FECOTRIGO).
- SAVANT, N.K. & LIVINGSTON, O.W. Urea supergranules: an appropriate urea fertilizer for small rice farmers of developing countries. Fertilizer News, New Delhi, 33 (10) :33-37, 1988.
- SILVA, A.B. Caracterização dos principais solos do Agreste do Pernambuco e o efeito do manejo de um regossolo eutrófico sobre a erosão e produtividade de milho e feijão. Viçosa. UFV, 1986, 180p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, J.B.S. da; LOPES, A.S. & CARVALHO, M.A. de. Seqüência e intervalos de calagem e aplicação de Fosfato de Patos para produção de soja de Latossolos sob cerrado. Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, 17 a 24/julho/1983 (resumo).
- SILVA, J.E. da. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento do milho em solos sob cerrado. Pesq. Agropec. Brás., Brasília, 15:329-333, 1980.
- SILVA, J.R.T. da & MEURER, E.J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. R. Bras. Ci. Solos, Campinas; 12:137-142, 1988.
- SILVEIRA, A.P.D. da & CARDOSO, E.J.B.N. Efeito do fósforo e da micorriza vesículo arbuscular na simbiose rhizobium-feijoeiro. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 11:31-36, 1987.
- SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Brasília/Lavras, MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988, 236p.
- SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; COLOZZI-FILHO, A. & OLIVEIRA, E. Ecology and application of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coffee crop in Brazil. In: NORTH AMERICAN CONFERENCE ON MYCORRHIZAE, 9., Guelph, 1993. Abstracts of oral and poster presentations of the ... Canada, University of Guelph, 1993. p.78.

- SOUSA, D.M.G. de. Calagem e adubação da soja no cerrado. Porto Alegre. DEAGRO/ADUBOS TREVO S/A, 1989. 17p.
- SOUSA, D.M.G. de, REIN, T.A.; LOBATO, E. & RITCHEY, K.D. Sugestões para diagnose e recomendação de gesso em solos de cerrado. In: Seminário sobre o uso de gesso na agricultura. 2. Uberaba, 1992. São Paulo, IBRAFOS, 1992. p.139-158.
- SOUSA, D.M.G. de & RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura. Brasília, EMBRAPA. DDT. 1986. p. 119-144.
- SOUZA, E.A. & NEPTUNE, A. M. L. Efeitos da granulometria de calcário dolomítico sobre as propriedades químicas de um latossolo. R. Brás. Ci. Solo, Campinas, 3:120-125, 1979.
- STEVENSON, F.J. & ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrient in soils, In: MORTVEDT, J.J. et al. eds. Micronutrient in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, Inc. 1972, p.79-114.
- USHERWOOD, N.R. Interação do potássio com outros íons. In. Yamada, T.; IGUE, K; MUZILLI, O & USHERWOOD, N.R. eds. Potássio na agricultura brasileira, Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.227-247.
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, R. & PAIVA, P.J.R. Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio em milho. Ciência e Prática, Lavras, 17 (4):343-350, out./dez. 1993.
- VITTI, G.C.O enxofre na agricultura – situação, perspectivas e sugestões. In: SILVA, M. de C. coord. Anais do seminário fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes – situação atual e perspectiva na agricultura. São Paulo, Manah S/A, 1986. p. 98-110.
- VOLKWEISS, S.J. Fontes e métodos de aplicação de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E. coord. Simpósio sobre micronutrientes na agricultura. Jaboticabal, Anais...Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.391-412.
- WERNER, J.C. Adubação de pastagens. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1984. 49p. (Boletim Técnico 18).

- WINDSOR, H.W. Boron sources of moderate solubility as supplements for sandy soils. Soil Sci. 69:321-332, 1950.
- YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar. Informações Agronômicas, POTAFOS, N° 74:1-5, junho/1996.
- YAMADA, T. Uso eficiente de fertilizantes. Palestra apresentada no Curso de Atualização de Fertilidade do Solo, promovido pela FFALM, POTAFOS e ANDA. Bandeirantes, PR, 23 a 27/outubro/1989. 27p. (mimeo).
- YOSHIDA, S; McLEAN, G.W.; SHAFI, M. & MUELLER, K.E. Effects of different methods of zinc application on growth and yields on rice in calcareous soil. West Pakistan, Soil Sci. Plant. Nutr., 16:147-149, 1970.

Composição, Impressão e Acabamento

Editora Gráfica Nagy Ltda
Rua do Oratório, 630 – Mooca
03116-010 – São Paulo – SP
Tel: (11) 6605-9302 – 6605-3023
Fax: (11) 6605-3544