

NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DO MILHO

Antônio Marcos Coelho

Gonçalo Evangelista de França

Pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo

INTRODUÇÃO

Apesar do alto potencial produtivo da cultura do milho, evidenciado por produtividades de 10 e de 70 t/ha de grãos e forragem, respectivamente, alcançadas no Brasil em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas, o que se observa na prática é que sua produção é muito baixa e irregular: 2 a 3 t de grãos/ha e 10 a 45 t de massa verde/ha.

Considera-se que a fertilidade do solo seja um dos principais fatores responsáveis por essa baixa produtividade das áreas destinadas tanto para a produção de grãos como de forragem. Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas também ao uso inadequado de calagem e adubações, principalmente com nitrogênio e potássio, e também à alta capacidade extrativa do milho colhido para produção de forragem. A cultura do milho apresenta grandes diferenças no uso de fertilizantes entre as várias regiões do país.

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS

As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. Esta extração total dependerá, portanto, do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Assim, tanto na produção de grãos como na de silagem será necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes que esta extrai, que devem ser fornecidos pelo solo e através de adubações. Dados médios de experimentos conduzidos por Coelho et al. (dados não publicados), com doses moderadas a altas de fertilizantes, dão uma idéia da extração de nutrientes pelo milho, cultivado para produção de grãos e silagem (Tabela 1). Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produção, e que a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo.

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Por exemplo, para uma produção de 9 t de grãos/ha, são extraídos: 2.100 g de ferro, 340 g de manganês, 110 g de cobre, 400 g de zinco, 170 g de boro e 9 g de molibdênio. Entretanto, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos quanto a deficiência de um macronutriente como, por exemplo, o nitrogênio.

Dentre os nutrientes, a importância do nitrogênio e do potássio sobressai quando o sistema de produção agrícola passa de extrativa, com baixas produções por unidade de área, para uma agricultura intensiva e tecnificada, com o uso de irrigação. Em condições de baixa produtividade, em que as exigências nutricionais são menores (Tabela 1), mesmo uma modesta contribuição do nitrogênio e do potássio suprida pelo solo pode ser suficiente para eliminar o efeito da adubação com estes nutrientes.

Tabela 1. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada á produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade.

Tipo de exploração	Produtividade	Nutrientes extraídos				
		N	P	K	Ca	Mg
	<i>t/ha</i>	<i>kg/ha</i>				
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	7	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: Coelho et al. (dados não publicados).

No que se refere à exportação dos nutrientes nos grãos, o fósforo é quase todo translocado para as sementes (80 a 90%), seguindo-se o nitrogênio (75%), o enxofre (60%), o magnésio (50%), o potássio (20-30%) e o cálcio (10-15%). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada.

Quando o milho é colhido para silagem, além dos grãos, a parte vegetativa também é removida, havendo conseqüentemente alta extração e exportação de nutrientes (Tabela 1). Assim, problemas de fertilidade do solo se manifestarão mais cedo na produção de silagem do que na produção de grãos, principalmente se a primeira for obtida de uma mesma área por vários anos consecutivos e se não for adotado um sistema de manejo de solo e adubações adequadas. Um programa de calagem e adubação, visando a manutenção de altas produtividades, requer um monitoramento periódico do índice de fertilidade do solo, através da análise química, para se evitar o empobrecimento e/ou o desbalanço de nutrientes no solo.

Os resultados aqui discutidos evidenciam a importância de que, no manejo de fertilizantes, o conhecimento das demandas de nutrientes durante o ciclo da cultura contribuem para uma maior eficiência da adubação. Entretanto, para muitos agricultores, a facilidade de aplicação de fertilizantes via água de irrigação é que tem direcionado o parcelamento, principalmente das adubações potássica e nitrogenada, às vezes em número excessivo, sem levar em consideração a exigência da cultura em relação à curva de absorção e o potencial de perdas dos nutrientes em função de sua mobilidade nos diferentes tipos de solo.

AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

- Sintomas de deficiências (diagnose visual)

Os sintomas de deficiência podem constituir, ao nível de campo, em elemento auxiliar na identificação da carência nutricional. É necessário, no entanto, para identificação da deficiência com base na sintomatologia, que o técnico já tenha razoável experiência de campo, uma vez que deficiências, sintomas de doenças e distúrbios fisiológicos podem ser confundidos.

A sintomatologia descrita e apresentada em forma de chave a seguir foi adaptada de Malavolta & Dantas (1987).

SINTOMAS INICIAIS NA PARTE INEERIOR DA PLANTA

- Com clorose

Amarelecimento da ponta para a base em forma de "V"; secamento começando na ponta das folhas mais velhas e progredindo ao longo da nervura principal; necrose em seguida e dilaceramento; colmos finos (Fotos [1](#) e [2](#)) - **Nitrogênio**

Clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas seguida por secamento, necrose ("queima) e dilaceração do tecido; colmos com internódios mais curtos; folhas mais novas podem mostrar clorose internerval típica da falta de ferro (Fotos [5](#), [6](#) e [7](#)) - **Potássio**

As folhas mais velhas amarelecem nas margens e depois entre as nervuras dando o aspecto de estrias; pode vir depois necrose das regiões cloróticas; o sintoma progride para as folhas mais novas (Foto [8](#)) - **Magnésio**

Faixas brancas ou amareladas entre a nervura principal e as bordas, podendo seguir-se necrose e ocorrer tons roxos; as folhas novas se desenrolando na região de crescimento são esbranquiçadas ou de cor amarelo-pálida; internódios curtos (Fotos [18](#) e [19](#)) - **Zinco**

- Sem clorose

Cor verde-escura das folhas mais velhas seguindo-se tons roxos nas pontas e margens; o colmo também pode ficar roxo (Fotos [3](#) e [4](#)) - **Fósforo**

Pequenas manchas brancas nas nervuras maiores, encurvamento do limbo ao longo da nervura principal
- **Molibdênio**

SINTOMAS INICIAIS NA PARTE SUPERIOR DA PLANTA

- **Sem clorose**

Folhas novas e recém-formadas com coloração amarelo-pálida ou verde suave. Ao contrário da deficiência de nitrogênio, os sintomas ocorrem nas folhas novas, indicando que os tecidos mais velhos não podem contribuir para o suprimento de enxofre para os tecidos novos, os quais são dependentes do nutriente absorvido pelas raízes (Foto [10](#)) - **Enxofre**

- **Com clorose**

ACUMULAÇÃO DE NUTRIENTES E MANEJO DA ADUBAÇÃO

Definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura do milho, o passo seguinte, e de grande importância no manejo da adubação, visando a máxima eficiência, é o conhecimento da absorção e acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas em que os elementos são exigidos em maiores quantidades. Esta informação, associada ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos, são fatores importantes a considerar na aplicação parcelada de fertilizantes para a cultura, principalmente sob condições irrigadas.

Embora a marcha de absorção de nutrientes seja afetada por clima, cultivares e sistemas de cultivo, de modo geral, pode-se dizer que os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo, sendo as diferenças verificadas nas velocidades de absorção destes em função do ciclo e na sua translocação das folhas e dos colmos para os órgãos reprodutivos.

Como exemplo, podemos citar estudos sobre acumulação de nutrientes realizados por Andrade et al., 1975, citados por Bull (1993) para a cultura do milho, cujos dados aparecem na Figura 1. A Figura 1 mostra que o milho apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo e o segundo durante a fase reprodutiva ou formação da espiga. A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo, com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa de absorção superior ao de nitrogênio e fósforo (Figura 1), sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de "arranque". Resultado de experimento (Tabela 2) conduzido em Latossolo Vermelho - Escuro de Sete Lagoas-MG, com baixo teor de potássio (0,08 cmol_c/dm³) na camada superficial (0 a 20cm), mostrou que o parcelamento da adubação potássica reduziu a acumulação de matéria seca das folhas e colmos durante a fase vegetativa do milho e aumentou consideravelmente o quebramento do colmo (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito do parcelamento do potássio na acumulação de matéria seca das folhas e colmos durante a fase vegetativa e quebramento de colmos do milho, cultivado em Latossolo Vermelho - Escuro de Sete Lagoas-MG.

Época de aplicação - dap ^{1/}			Parte da planta	Estádios de desenvolvimento ⁽²⁾			Quebramento dos colmos
Plantio	30	55		8F	12F	Florescimento	
Kg de K ₂ O/ha			g/planta			%	
90	0	0	Folhas	16	35	33	
45	45		Folhas	15	25	30	
30	30	30	Folhas	17	28	27	
90	0	0	Colmos	9	38	65	10
45	45	0	Colmos	8	24	65	13
30	30	30	Colmos	9	28	50	31

^{1/} Dias após o plantio. Estádios de desenvolvimento: 8 folhas, 12 folhas e florescimento masculino (pendão). Fonte: adaptada de Coelho et al. (dados não publicados).

Para o nitrogênio e o fósforo, o milho apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (Olness & Benoit, 1992).

Resultados obtidos por Novais et al. (1974) sobre o parcelamento do nitrogênio na cultura do milho mostram que o não suprimento deste nutriente durante a fase inicial de desenvolvimento vegetativo, com aplicação de toda a dose no florescimento (65 dap), assim como o excessivo número de

aplicações parceladas, apresentaram menor eficiência do que a aplicação por ocasião do plantio e na fase de desenvolvimento vegetativo (Tabela 3).

Tabela 3. Eleito do parcelamento de nitrogênio, nas doses de 60 e 120 kg/ha, na produção de milho, em Latossolo argiloso de Patos de Minas - MG.

Época de aplicação – dap ^{1/}				Produção de espigas	
Plantio	25	45	65	60	120
----- % N aplicado -----				----- Kg/ha -----	
0	0	100	0	5.339	7.589
0	0	0	100	3.933	5.991
33	0	67	0	5.941	7.797
0	50	50	0	6.150	7.000
33	33	34	0	6.261	6.414
25	25	25	25	5.325	6.772
Testemunha				3.318	

^{1/} Dias após o plantio.

Fonte: adaptada de Novais et al. (1974).

As pontas das folhas mais novas em desenvolvimento gelatinizam e, quando secas, grudam umas às outras; à medida que a planta cresce, as pontas podem estar presas. Nas folhas superiores aparecem, sucessivamente, amarelecimento, secamento, necrose e dilaceração das margens e clorose internerval (faixas largas); morte da região de crescimento (Foto 9) - **Cálcio**

Faixas alongadas aquosas ou transparentes que depois ficam brancas ou secas nas folhas novas; o ponto de crescimento morre; baixa polinização; quando as espigas se desenvolvem podem mostrar faixas marrons de cortiça na base dos grãos (Foto 11) - **Boro**

Amarelecimento das folhas novas logo que começam a se desenrolar, depois as pontas se encurvam e mostram necrose, as folhas são amarelas e mostram faixas semelhantes às provocadas pela carência de ferro; as margens são necrosadas; o colmo é macio e se dobra (Fotos 12 e 13) - **Cobre**

Clorose internerval em toda a extensão da lâmina foliar, permanecendo verdes apenas as nervuras (reticulado fino de nervuras) (Fotos 14 e 15) - **Ferro**

Clorose internerval das folhas mais novas (reticulado grosso de nervuras) e depois de todas elas quando a deficiência for moderada; em casos mais severos aparecem no tecido faixas longas e brancas e o tecido do meio da área clorótica pode morrer e desprender-se; colmos finos (Fotos 16 e 17) - **Manganês**.

Análise de plantas (diagnose foliar)

Além dos sintomas característicos de uma ou outra desordem que só se manifestam em casos graves, a identificação do nível nutricional da planta somente é possível pela análise química da mesma. O órgão de controle escolhido mais frequentemente é a folha, pois a mesma é a sede do metabolismo e reflete bem, na sua composição, as mudanças na nutrição.

A utilização da análise foliar como critério diagnóstico baseia-se na premissa de existir uma relação significativa entre o suprimento de nutrientes e os níveis dos elementos, e que aumentos ou decréscimos nas concentrações se relacionam com produções mais altas ou mais baixas, respectivamente.

Para o milho, a folha inteira oposta e abaixo da primeira espiga (superior), excluída a nervura central, coletada por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento) é comumente utilizada para avaliar o estado nutricional dessa cultura. A análise nesse estágio fisiológico é feita pelos seguintes motivos: a) o estágio de desenvolvimento e a posição da folha são facilmente reconhecidos; b) a remoção de uma simples folha não afeta a produção; e) o efeito de diluição dos nutrientes nessa fase é mínimo, porque o potencial de crescimento e armazenamento dos órgãos vegetativos atingiram o ponto máximo e, d) o requerimento de nutrientes é alto nessa fase. Normalmente recomenda-se a coleta de 30 folhas por hectare quando 50 a 75% das plantas apresentam-se com inflorescência feminina (embonecamento).

Para análise, as amostras de folhas devem ser lavadas por meio de imersão rápida em água desmineralizada para retirar a poeira devido à contaminação por alguns micronutrientes, principalmente ferro, manganês e zinco, e posteriormente secas ao sol ou em estufa a 60 °C.

Os teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para culturas produtivas de milho, compilados de diversos autores por Bull (1993), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho.

Macronutrientes	Teor (%)	Micronutrientes	Teor (ppm)
Nitrogênio	2,75 - 3,25	Boro	15 - 20
Fósforo	0,19 - 0,35	Cobre	6 - 20
Potássio	1,75 - 2,97	Ferro	50 - 250
Cálcio	0,23 - 0,40	Manganês	42 - 150
Magnésio	0,15 - 0,40	Molibdênio	0,15 - 0,20
Enxofre	0,15 - 0,21	Zinco	15 - 50

e Critérios para recomendação de doses de calcário

Para reduzir a acidez dos solos a níveis compatíveis com uma produção econômica necessita-se de métodos adequados que quantifiquem as doses de calcário a aplicar. Vários são os métodos utilizados e indicam quantidades diferentes de calcário para um mesmo solo e cultura. Dentre eles podem ser mencionados: a) Neutralização do alumínio trocável e/ou elevação dos teores de cálcio + magnésio; b) Elevação da saturação por bases; c) Solução tampão SMP.

Não existe um método específico de recomendação de doses de calcário para a cultura do milho. Entretanto, os métodos a e b são os mais comumente utilizados no Brasil, e a escolha de um ou outro método dependerá principalmente do nível tecnológico utilizado pelo agricultor e de sua

disponibilidade de recursos financeiros para investimento em calcário, visto que, geralmente, dependendo do tipo de solo, as doses de calcário calculadas por esses métodos são diferentes.

a) Método do alumínio e cálcio + magnésio trocáveis

A necessidade de calagem (NC), para se corrigir a camada de 0-20 cm, é calculada com base na seguinte fórmula:

$$NC = Y \times Aí + [X - (Ca + Mg)] = t \text{ calcário/ha (PRNT = 100\%)}$$

O valor de Y é variável em função da textura do solo, sendo:

Y = valor 1, para solos arenosos (< 15% de argila); valor 2, para solos de textura média (15 a 35% de argila) e valor 3, para solos argilosos (> 35% de argila).

O valor de X para a cultura do milho é 2,0.

b) Método da saturação por bases

Neste método, a necessidade de calagem (NC) é calculada com a finalidade de elevar a porcentagem de saturação por bases (V%) da capacidade de troca de cátions, a pH 7,0, a um valor desejado, de acordo com a cultura. Usa-se a seguinte fórmula:

$$NC = \frac{T (V_2 - V_1)}{PRNT}$$

sendo:

NC = necessidade de calcário (t/ha), para uma camada de incorporação de 0-20 cm;

T = capacidade de troca de cátions (cmol_c/dm³), medida a pH 7,0;

V₂ = porcentagem de saturação por bases desejada. Para a cultura do milho busca-se elevá-la a 50-60%.

V₁ = porcentagem de saturação por bases do solo amostrado.

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário em %.

Escolha do calcário

A indústria de calcário coloca no mercado produtos com ampla variação na granulometria, nos teores de cálcio e magnésio e no PRNT. Cabe ao técnico, com base na análise de solo, na exigência da cultura ao magnésio e no preço do calcário, analisar as várias alternativas oferecidas e decidir qual a solução mais técnica e econômica. A decisão final deverá ser tomada em termos de preço por tonelada efetiva, utilizando-se a seguinte relação:

$$\text{Preço por tonelada efetiva} = \frac{\text{Preço por tonelada na propriedade}}{\text{PRNT (\%)}}$$

No Brasil existe o conceito generalizado para o uso de calcários dolomítico e magnésiano, visando manter no solo uma relação Ca:Mg de 3:1 a 5:1. Entretanto, para a cultura do milho, experimentos realizados por Coelho (1994) demonstraram que esta relação pode ser mais ampla (Ca:Mg = 10:1), sem prejuízo da produção, desde que o teor de magnésio no solo esteja acima de 0,5 cmol_c/dm³ de solo. Esse mesmo autor não obteve resposta do milho ao magnésio em experimentos realizados em Latossolo vermelho - escuro com teor inicial de 0,5 cmol_c de Mg/dm³ de solo e que havia recebido doses de calcário calcítico (MgO = 0,27%) de até 6 t/ha.

Aplicação de calcário

De um modo geral, as recomendações de calagem indicam que a incorporação seja feita na profundidade de 20 cm apenas. É mais aconselhável, entretanto, incorporar o calcário em uma profundidade maior, corrigindo-se a acidez na camada de 30 cm pelo menos, permitindo às raízes explorarem maior volume de terra, aproveitando melhor a água e os nutrientes.

Para que a calagem dê os resultados esperados, é necessário que o corretivo seja bem misturado com a terra, ficando em contato com todas as partículas do solo. Para se conseguir isso, o calcário (doses superiores a 2,0 t/ha) deve ser aplicado, de preferência, metade da dose antes da aração e metade depois da mesma. Desse modo se consegue uma distribuição uniforme e mais profunda do corretivo.

Quando a dose de calcário a ser usada é relativamente grande, em geral maior que 5 t/ha, surge às vezes o receio de que a mesma, se aplicada em uma única vez, possa prejudicar a cultura. De fato, isso poderá acontecer se o calcário for mal aplicado, sem a antecedência devida e sem incorporar. O critério que determina o parcelamento das doses pesadas em 2 anos ou mais é apenas o valor do produto, do transporte e da distribuição, que poderá determinar esse procedimento para não onerar demasiadamente o custo de produção.

· Critério para recomendação de gesso

A tomada de decisão sobre o uso do gesso agrícola deve sempre ser feita com base no conhecimento das características químicas e na textura do solo, não apenas da camada arável, mas também das camadas subsuperficiais (20 a 40 cm e 40 a 60 cm). Há probabilidade de resposta ao gesso quando as camadas subsuperficiais do solo apresentarem as seguintes características:

saturação por AI da CTC efetiva maior que 20%, ou o teor de Ca menor que 0,5 meq/100 cm³ de solo.

Constatada as características das camadas subsuperficiais do solo que justifiquem o uso do gesso agrícola, sugere-se as seguintes doses:

solos de textura arenosa (< 15%) = 0,7 t/ha;

solos de textura média (15 a 35% de argila) = 1,2 t/ha; solos argilosos (36 a 60% de argila) = 2,2 t/ha;

solos muito argilosos (> 60% de argila) = 3,2 t/ha.

A aplicação de gesso agrícola deve ser feita a lanço na mesma época em que se proceder a adubação fosfatada corretiva. Se a área não for receber esta adubação, aplicar o gesso agrícola juntamente com o calcário, seguindo-se a incorporação com aração e gradagem.

É imprescindível o acompanhamento das alterações químicas através de análises nas camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60cm, principalmente para se avaliarem os possíveis desbalanços nutricionais para magnésio e potássio em relação ao teor de cálcio.

NITROGÊNIO

O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas.

Resultados de experimentos conduzidos no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta generalizada do milho à adubação nitrogenada (Grove et al., 1980; Cantarella & Raij, 1986; França et al., 1986; Coelho et al., 1992). Esses autores mostram que, em geral, de 70 a 90% dos ensaios de adubação com milho realizados a campo no Brasil respondem à aplicação de nitrogênio.

• Avaliação da necessidade de adubação nitrogenada

As principais formas de nitrogênio disponíveis para as plantas são amônio (NH₄) e nitrato (NO₃), as quais representam menos de 2% do nitrogênio total do solo. Considerando-se que quase todo o nitrogênio do solo se faz presente na forma orgânica, é importante considerar também o nitrogênio que seria mineralizado durante o ciclo da cultura. A análise apenas do nitrogênio inorgânico ou apenas o teor de matéria orgânica tem sido de pouca validade na avaliação da necessidade de se aplicar adubo nitrogenado. Uma das dificuldades na recomendação da adubação nitrogenada em cobertura é a falta de um método de análise que se adapte à de rotina de laboratório, que possibilite determinar um índice de fertilidade para esse nutriente.

As recomendações atuais para a adubação nitrogenada em cobertura são realizadas com base em curvas de resposta, histórico da área e produtividade esperada. A recomendação da adubação nitrogenada em cobertura para a cultura do milho de sequeiro, de modo geral, varia de 40 a 70 kg de N/ha. Em agricultura irrigada, onde prevalece o uso de alta tecnologia, para a obtenção de elevadas produtividades esta recomendação seria insuficiente. Nestas condições, doses de nitrogênio variando de 100 a 200 kg/ha podem ser necessárias para obtenção de elevadas produtividades, conforme discutido anteriormente (Tabela 1).

A produtividade esperada pode ser estimada com certa margem de segurança quando se conhece a tecnologia usada pelo agricultor. Nesta avaliação deve-se levar em conta o manejo de solo e água, cultivares adaptadas e práticas culturais utilizadas.

Dados de pesquisas realizadas no Brasil por Grove et al. (1980) e Coelho et al. (1992), indicam que a concentração de N na parte aérea (grão + palhada) do milho, para produções máximas, é de 1,18% e 1,06%, respectivamente. Para cálculo da quantidade de N a ser aplicada, recomenda-se o valor de

1 % de N na planta como adequado. Assim, para a produtividade de 16 t de massa seca/ha (9 t de grãos/ha) a planta retira do solo em torno de 160 kg de N/ha. Outro parâmetro necessário é a quantidade de N que o solo é capaz de fornecer para a cultura. Em termos médios, os solos tropicais fornecem cerca de 60 a 80 kg de N/ha (Grove, 1979 e Coelho et al., 1991b), quantidade suficiente para produzir de 6 a 8 t de massa seca/ha (3 a 4 t de grãos/ha). Deve-se ressaltar que solos cultivados com leguminosas e solos de áreas recém-desbravadas são mais ricos em N, exigindo menor adubação nitrogenada.

Um terceiro parâmetro a estimar é a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas, isto é, a quantidade de N na planta proveniente dos fertilizantes. Dados de pesquisa realizada com ¹⁵N (Coelho et al., 1991 b), indicam que, em média, 50 a 60% do N aplicado como uréia foram aproveitados pelas plantas.

Com o conhecimento desses parâmetros, associado às informações sobre o histórico da área, cultivares, práticas culturais usadas, etc., é possível estimar a adubação nitrogenada em cobertura a ser aplicada. Assim, por exemplo, para uma produtividade esperada de 16 t de massa seca (9 t de grãos/ha), em solo com capacidade de suprir 60 kg de N/ha e uma eficiência de aproveitamento do fertilizante de 60%, seria necessária uma adubação da ordem de 160 kg de N/ha, que corresponde a 800 kg de sulfato de amônio ou 350 kg de uréia/ha.

Parcelamento e época de aplicação

No Brasil, existe o conceito generalizado entre técnicos e produtores de que aumentando-se o número de parcelamento da adubação nitrogenada aumenta-se a eficiência do uso do nitrogênio e reduzem-se as perdas, principalmente por lixiviação. Como consequência, e devido às facilidades que os sistemas de irrigação oferecem para aplicação de fertilizantes via água, é comum o parcelamento do fertilizante nitrogenado em quatro ou até seis ou oito vezes durante o ciclo da cultura.

Entretanto, a baixa intensidade de nitrificação e de perdas por lixiviação nos perfis dos solos poderiam explicar porque a aplicação parcelada de nitrogênio em duas, três ou mais vezes para a cultura do milho, com doses variando de 60 a 120 kg/ha, em solos de textura média e argilosa, não refletiram em maiores produtividades em relação a uma única aplicação na fase inicial de maior exigência da cultura, ou seja, 35 a 40 dias após o plantio, conforme mostram os resultados obtidos por Novais et al. (1974), Neptune (1977) e Grove et al. (1980). Mais recentemente, Alves et al. (1992) compararam os métodos de aplicação de N-uréia no solo e via água de irrigação para o milho cultivado em dois Latossolos diferindo em textura, e verificaram que a aplicação de 120 kg de N/ha pelo método convencional, ou seja, uréia incorporada ao solo em sulcos ao lado da planta, no estágio de desenvolvimento correspondente a 8-10 folhas, resultou em produção de grãos semelhante ao tratamento com uréia aplicada via água de irrigação, parcelada em 3, 4 ou 6 vezes (Tabela 5).

É importante salientar que as informações apresentadas anteriormente foram obtidas em solos de textura argilosa a média, com teores de argila variando de 30 a 60%, não sendo, portanto, válidas para solos arenosos (80 a 90% de areia), cujo manejo do nitrogênio irá necessariamente requerer cuidados especiais. Entretanto, para as condições brasileiras há necessidade de se definir não só o número de parcelamentos como também o melhor método ou combinação destes para aplicação de fertilizantes nitrogenados em solos arenosos.

Para as condições do Brasil, de acordo com as informações disponíveis, Coelho et al. (1991a) mencionam que, em geral, deve-se usar maior número de parcelamento sob as condições: a) altas

doses de nitrogênio (120 a 200 kg/ha), b) solos de textura arenosa e c) áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade. Uma única aplicação deve ser feita sob as seguintes condições: a) doses baixas ou médias de nitrogênio (60-100kg/ha), b) solos de textura média e/ou argilosa e c) plantio intensivo, sem o uso de irrigação, em que a distribuição do fertilizante é feita mecanicamente. Como exemplo, o esquema de parcelamento do nitrogênio para a cultura do milho, em função da textura do solo, é apresentada na Tabela 6.

• Modo de aplicação e perdas por volatilização de amônia

O modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados tem recebido considerável atenção, com particular importância para a uréia e outros produtos contendo este fertilizante, como, por exemplo, o uran, que é uma solução de uréia e nitrato de amônio em meio aquoso.

Devido à rápida hidrólise da uréia para carbonato de amônio e subsequente potencial de perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (NH₃), tem-se recomendado, no manejo desse fertilizante, a incorporação ao solo a uma profundidade de aproximadamente 5 a 10cm. Quando não for possível fazer a incorporação, as perdas por volatilização de NH₃ podem ser minimizadas, misturando-se o fertilizante com a camada superficial do solo através da operação de cultivo. Por outro lado, as perdas de nitrogênio por volatilização de NH₃ podem ser reduzidas pela ocorrência de chuvas após a aplicação da uréia na superfície do solo.

Sendo assim, quando estes fertilizantes forem aplicados via água de irrigação elimina-se praticamente o problema. Nesse caso, o uso de irrigação possibilita a movimentação dos nutrientes na solução do solo até uma certa profundidade e a redução das perdas.

FÓSFORO

A exemplo do nitrogênio, as respostas à aplicação de fósforo em milho têm sido altas e freqüentes devido ao baixo teor de fósforo disponível' na maioria dos solos brasileiros, apesar do fósforo total estar presente em quantidades razoáveis (50 a 350 ppm).

Embora as exigências do milho em fósforo sejam em quantidades bem menores do que as em nitrogênio e as em potássio (Tabela 1), as doses normalmente recomendadas são altas, em função da baixa eficiência (20 a 30%) de aproveitamento desse nutriente pela cultura. Isto decorre da alta capacidade de fixação do fósforo adicionado ao solo através de mecanismos de adsorção e precipitação, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Outro fator que deve ser levado em conta é a demanda de fósforo pela cultura. Plantas de intenso desenvolvimento, de ciclo curto como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes.

Tabela 5. Produção de grãos de milho em função do método de aplicação e parcelamento do nitrogênio na dose de 120 kg/ha.

Método de aplicação	Épocas de aplicação - Dia ^{1/}						Produção de grãos	
	30	37	44	51	58	65	Sete Lagoas ^{2/}	Janaúba ^{2/}
	----- % de N aplicado -----						----- kg/ha -----	
Via água	50	-	50	-	-	-	6.590	7.680
Via água	25	25	25	25	-	-	7.140	8.390
Via água	25	25	15	15	10	10	6.900	8.120
Solo/água	50	-	50	-	-	-	6.940	8.550
Solo		100	-		-	-	6.800	8.990
Testemunha							4.290	6.390

^{1/} Dias após a emergência.

^{2/}LEd - textura argilosa.

^{2/}LEd - textura média.

Fonte: adaptada de Alves et al. (1992).

Tabela 6. Sugestões para aplicações parceladas de nitrogênio na cultura do milho.

Classe textural do solo	Doses de nitrogênio (kg/ha)	Número de folhas totalmente emergidas			
		4-6	7-8	8-10	10-12
Argilosa (36 a 60% argila)	60 a 150		100%		
	> 150	50%		50%	
Média (15 a 35% de argila)	60 a 100		100%		
	> 100	50%		50%	
Arenosa (< 15% de argila)	60 a 100	50%		50%	
	> 100	40%		40%	20%

^{1/} Se as plantas apresentarem sintomas de deficiência, pode-se fazer uma aplicação suplementar de nitrogênio em período anterior ao indicado.

A análise do solo se mostra útil para discriminar respostas do milho à adubação fosfatada. As quantidades de fósforo recomendadas na adubação do milho, em função do teor do nutriente no solo, são apresentadas na Tabela 7. Essas doses devem ser aplicadas no sulco de plantio e ser ajustadas para cada situação, levando-se em conta, além dos resultados da análise de solo, o potencial de produção da cultura na região e o nível de tecnologia utilizada pelos agricultores.

Tabela 7. Interpretação das classes de teores de fósforo no solo e doses de P₂O₅ recomendadas para o milho.

Classe textural do solo ^{1/}	Extrator de fósforo	Classes de teor de fósforo no solo		
		Baixo	Médio	Alto
		----- ppm -----		
Argilosa (36 a 60)	Mehlich1	<5	6 a 10	> 10
Média (15 a 35)	Mehlich1	< 10	11 a 20	>20
Arenosa (< 15)	Mehlich1	<20	21 a 30	>30
Resina		<15	16 a 40	>40
Doses P ₂ O ₅ recomendadas (kg/ha)		80 a 110	50 a 70	30 a 60

^{1/} Porcentagem de argila.

Como a lixiviação de fósforo pelas águas de percolação praticamente inexistente em solos minerais, ele tende a se acumular no solo de modo que, como passar dos anos, há um aumento no teor desse nutriente no solo. Assim, quando o solo apresentar teores de fósforo no nível crítico, ou seja, valor acima do qual não se espera resposta do milho a esse nutriente, a manutenção desse valor é feita pela reposição anual da quantidade removida no produto colhido. Para o milho, considera-se que para cada tonelada de grãos produzida são exportados 10 kg de P₂O₅/ha. Esse mesmo valor pode ser considerado quando se cultiva o milho para produção de forragem, visto que, como mostrado na Tabela 1, a exportação de fósforo, quando se cultiva o milho para esta finalidade, é semelhante àquela para a produção de grãos, onde encontra-se mais de 80% do fósforo absorvido pela cultura. Na cultura do milho irrigado obtém-se maiores produtividades com a mesma dose de fósforo, pois o P-fertilizante aplicado, assim como o do solo, são mais eficientemente utilizados pela cultura.

POTÁSSIO

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento absorvido em maiores quantidades pelo milho, sendo que 20% são exportados nos grãos. No entanto, até pouco tempo, as respostas ao potássio obtidas em ensaios de campo com o milho eram, em geral, menos freqüentes e mais modestas que aquelas observadas para fósforo e nitrogênio, devido principalmente aos baixos níveis de produtividades obtidas.

Entretanto, nos últimos anos tem-se verificado uma reversão desse quadro devido aos seguintes aspectos: a) uso freqüente de formulações de fertilizantes com baixos teores de potássio; b) sistemas de produção utilizados pelos agricultores como a rotação soja-milho, uma leguminosa altamente exigente e exportadora de potássio; e) uso de híbridos de milho de alto potencial produtivo; d) conscientização dos agricultores da necessidade de recuperação da fertilidade do solo através de uso de calcário e fertilizantes, principalmente nitrogênio; e) aumento do uso do milho como planta forrageira, altamente exigente e exportadora de potássio, e f) ampliação da área irrigada como uso intensivo do solo e maiores potenciais de produtividade das culturas.

Como exemplo, pode-se citar o trabalho desenvolvido por Coelho et al. (dados não publicados) sobre adubação potássica em cultivos sucessivos de milho para produção de grãos e forragem, sob condições irrigadas, em um Latossolo Vermelho - Escuro com teor inicial de potássio de 0,15 cmol_c/dm³. Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os resultados de produção de matéria seca e grãos de milho de cinco cultivos sucessivos, onde verifica-se redução acentuada na produção para todas as doses de potássio aplicadas, sendo esta maior quando se cultivou o milho visando a produção de forragem, demonstrando a importância desse nutriente na manutenção da produtividade da cultura em sistemas de uso intensivo do solo.

A exemplo do fósforo, a análise do solo tem se mostrado útil para discriminar respostas do milho à adubação potássica. Aumentos de produção em função da aplicação de potássio tem sido observadas para solos com teores muito baixos e com doses de até 120 kg de K₂O/ha. Nos solos do Brasil Central, a quantidade de potássio disponível é normalmente baixo e a adubação com esse elemento produz resultados significativos. Aumentos de produção de 100% com adição de 120 a 150kg de K₂O/ha são comuns nesses solos. As quantidades de potássio recomendadas na adubação do milho para produção de grãos e forragem, em função do teor do nutriente no solo, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Recomendação de adubação potássica para a cultura do milho, com base na análise do solo.

Classes de Teor no solo	K no solo cmol _c / dm ³	Doses de K ₂ O recomendadas	
		Milho grão	Milho forragem
----- kg/ha -----			
Muito baixa	<0,07	90-120	150-180
Baixa	0,08-0,15	60-90	120-150
Média	0,16-0,30	30-60	60-120
Alta ^{1/}	>0,30	30	60

Parcelamento e época de aplicação

Parcelamento da adubação

Conforme discutido anteriormente no tópico referente à acumulação de nutrientes e manejo da adubação, a absorção mais intensa de potássio pelo milho ocorre nos estádios iniciais de crescimento (Figura 1). Quando a planta acumula 50% de matéria seca (60 a 70 dias), esta absorve cerca de 90% da sua necessidade total de potássio. Assim, normalmente recomenda-se aplicar o fertilizante no sulco por ocasião da semeadura do milho. Isso é mais importante para solos deficientes, em que a aplicação localizada permite manter maior concentração do nutriente próximo das raízes, favorecendo maior desenvolvimento inicial das plantas.

Em experimento conduzido em Latossolo Vermelho - Escuro, textura argilosa, sob condições irrigadas, Coelho et al. (dados não publicados) não observaram efeito significativo do parcelamento da adubação potássica no rendimento do milho (Tabela 9).

Nesse experimento (Tabela 9), a aplicação de uma alta dose de potássio no sulco de plantio não afetou a germinação das sementes e, conseqüentemente, o estande final, devido à ocorrência de chuva imediatamente após a semeadura, diluindo a concentração do fertilizante nas proximidades das raízes. Entretanto, em anos com ocorrência de déficit hídrico após a semeadura, a aplicação de uma alta dose de potássio no sulco pode prejudicar a germinação das sementes. Para evitar o problema, recomenda-se aplicar parte dela em cobertura para doses superiores a 80 kg/ha. Entretanto, ao contrário do nitrogênio, em que é possível maior flexibilidade na época de aplicação, sem prejuízos na produção, o potássio deve ser aplicado no máximo até 30 dias após o plantio.

Assim, a aplicação parcelada do potássio pode ser feita nas seguintes situações: a) solos altamente deficientes nesse nutriente, em que são necessárias altas doses de fertilizante e b) quando o milho for cultivado para produção de forragem, em que normalmente são necessárias doses mais altas de potássio devido à maior exportação desse nutriente.

CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE

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

A extração de enxofre pela planta de milho é pequena e varia de 15 a 30 kg/ha, para produções de grãos em torno de 5.000 a 7.000 kg/ha. Em anos passados, o cultivo do milho em solos ricos em matéria orgânica, o uso de fórmulas de fertilizantes menos concentradas contendo enxofre e os baixos níveis de produtividade contribuíram para minimizar problemas de deficiência desse nutriente. Atualmente, com o uso mais intensivo dos solos e de fórmulas de adubos menos concentradas, sem enxofre, as respostas a esse elemento tendem a aumentar.

O teor de enxofre no solo na forma de sulfato tem sido usado para prever respostas ao elemento. Assim, em solos com teores de enxofre inferiores a 10 ppm (extração com fosfato de cálcio) o milho apresenta grande probabilidade de resposta a esse nutriente. Neste caso, recomenda-se a aplicação de 30 kg de S/ha.

As necessidades de enxofre para o milho são geralmente supridas via fornecimento de fertilizantes carregados de macronutrientes primários e também portadores de enxofre. O sulfato de amônio (24% de enxofre), o superfosfato simples (12% de enxofre) e o gesso agrícola (15 a 18% de enxofre) são as fontes mais comuns desse nutriente.

MICRONUTRIENTES

No Brasil, o zinco é o micronutriente mais limitante à produção do milho, sendo a sua deficiência muito comum na região Central do país, onde predominam os solos sob vegetação de cerrado, os quais geralmente apresentam baixo teor de zinco no material de origem. Nesta condição, a quase totalidade das pesquisas realizadas mostram resposta do milho à adubação com zinco, o mesmo não ocorrendo com os outros nutrientes.

Tabela 9. Efeito do parcelamento do potássio e nitrogênio na produção de grãos e algumas características agrônômicas do milho sob condições irrigadas. Sete Lagoas. MG.

Plantio	Época de aplicação		Produção de	Peso de	Número de	Quebramento
	8 folhas ¹	16 folhas ¹	grãos	100 grãos	plantas	de colmos
K ₂ O e N (kg/ha)			(kg/ha)	(g)	(m ²)	(%)
120K	120N	-	6.148	23	6,04	14
60K	60K+120N	-	6.147	24	5,87	16
40K	40K+120N	40K	5.934	22	6,08	16
40K	40K+60N	40K+60N	6.074	24	5,96	16
Testemunha			3.095	15	6,13	51

¹ Aplicação de K e N em cobertura quando as plantas apresentavam 8 folhas (30 dias após o plantio) e 16 folhas (55 dias após o plantio). Teor de K no solo (0 a 20 cm) = 0,06 meq/100 dm³. Fonte: Adaptada de Coelho et al. (dados não publicados).

Os métodos de extração e interpretação da análise do solo para micronutrientes ainda não estão bem estabelecidos, mas alguns trabalhos de calibração têm sido feitos para o zinco com resultados satisfatórios. Respostas do milho à adubação com zinco são freqüentemente obtidas quando o teor deste micronutriente no solo é inferior a 1,0 ppm (extrator Mehlich 1). As recomendações de adubação com zinco para o milho no Brasil variam de 2,0 a 4,0 kg/ha.

Com relação aos métodos de aplicação, os micronutrientes podem ser aplicados no solo, na parte aérea das plantas, principalmente através da adubação foliar, nas sementes e através da fertirrigação. O método de aplicação, a solubilidade, a forma física (pó ou grânulo) das fontes de micronutrientes e certas condições de solo podem interagir de modo a resultar em maior ou menor efeito da adubação na correção de deficiências. Galvão (1994), comparando métodos de aplicação de zinco na cultura do milho verificou maior eficiência da aplicação do sulfato de zinco a lanço incorporado ao solo e da pulverização foliar. Entretanto, a aplicação nas sementes, em doses menores, também mostrou-se eficiente na produção de grãos (Tabela 10).

Tabela 10. Fontes, doses e métodos de aplicação de zinco na cultura do milho em Latossolo Vermelho Escuro. Planaltina - DF.

Fontes de zinco	Doses de zinco	Método de aplicação	Zinco no solo	Produção de grãos
	Kg/ha		ppm	kg/ha
Sulfato de zinco	0,4	a lanço	0,9	5.478
Sulfato de zinco	0,4	no sulco	0,4	4.913
Sulfato de zinco	1,2	a lanço	1,2	7.365
Sulfato de zinco	1,2	no sulco	1,0	5.898
Sulfato de zinco	3,6	a lanço	1,6	7.408
Óxido de zinco ^{1/}	0,8	nas sementes	0,4	6.156
Sulfato de zinco ^{2/}	1%	viafoliar-2	0,4	7.187
Sulfato de zinco ^{3/}	1%	viafoliar-3	0,4	7.187
Testemunha	-	-	0,3	3.880

^{1/} Óxido de zinco (80% de Zn): 1 kg de ZnO/20 kg de sementes.

^{2/} Solução a 1% de sulfato de zinco (23% de Zn): 3^a e 5^a semanas após a emergência.

^{3/} Solução a 1% de sulfato de zinco (23% de Zn): 3^a, 5^a e 7^a semanas após a emergência.

Fonte: adaptada de Galvão (1994).

É importante ressaltar que a não resposta aos outros micronutrientes pode estar relacionada com níveis adequados de disponibilidade no solo ou o fornecimento indireto destes através de outras fontes como, por exemplo, a aplicação de calcário. Contudo, não se exclui a possibilidade de vir a ocorrer resposta do milho aos demais micronutrientes, principalmente em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica e cultivos irrigados com altos níveis de produtividade.

Um exemplo típico dessa situação pode estar ocorrendo com o manganês, cuja importância tem mais se destacado pela sua toxicidade do que pela sua deficiência. Entretanto, com a tendência atual em aumentar o uso da aplicação de calcário e sua incorporação incorreta, muito superficial (0 a 10cm), a situação está se invertendo e, em algumas lavouras, sobretudo de soja, tem surgido problemas de deficiência de manganês. Embora considerado menos sensível à deficiência deste elemento do que a soja, o milho, cultivado na mesma área, no sistema de rotação e sem o manganês nos programas de adubação, poderá apresentar problemas de deficiência, como mostram os resultados apresentados na Tabela 11. Neste experimento, o milho foi plantado em solo anteriormente cultivado com soja e que apresentou sintomas de deficiência de manganês.

Tabela 11. Efeito de doses e número de aplicações foliares de manganês em diferentes estádios de desenvolvimento do milho, na produção de grãos.

Doses de Manganês ^{1/} (kg/ha)	Época de aplicação		Produção de grãos Kg/ha	Peso da espiga g
	4 folhas	8 folhas		
0,0	---- (n ^o de aplicações) ----		2.210	89
0,6	1		5.100	143
1,1	1		5.330	144
0,6		1	6.030	168
1,1		1	6.690	182
0,6	1	1	8.230	218
1,1	1	1	8.400	211

^{1/} Sulfato de manganês diluído em 150 l de água por hectare. Teor de Mn no solo (Mehlich 3) 2,8 ppm; plt (H₂O) = 6,3. Fonte: adaptada de Mascagni JR. & Cox (1984).

Links das Fotos

- Foto 1. [Deficiência de nitrogênio](#)
- Foto 2. [Deficiência de nitrogênio](#)
- Foto 3. [Deficiência de Fósforo](#)
- Foto 4. [Deficiência de Fósforo](#)
- Foto 5. [Deficiência de Potássio](#)
- Foto 6. [Deficiência de Potássio](#)
- Foto 7. [Tombamento do milho devido à Deficiência de Potássio](#)
- Foto 8. [Deficiência de magnésio](#)
- Foto 9. [Deficiência de Cálcio](#)
- Foto 10. [Deficiência de Enxofre](#)
- Foto 11. [Deficiência de Boro](#)
- Foto 12. [Deficiência de Cobre](#)
- Foto 13. [Deficiência de Cobre](#)
- Foto 14. [Deficiência de Ferro](#)
- Foto 15. [Deficiência de Ferro](#)
- Foto 16. [Deficiência de Manganês](#)
- Foto 17. [Deficiência de Manganês](#)
- Foto 18. [Deficiência de Zinco](#)
- Foto 19. [Deficiência de Zinco](#)