

## FERTIGAÇÃO

Antônio Marcos Coelho<sup>1</sup>

### 8.1. INTRODUÇÃO

A aplicação simultânea de água e fertilizantes ao solo, por meio de sistemas de irrigação, é denominada fertigaçoão ou fertirrigação. Em alguns países, como os Estados Unidos, Israel e Itália, a fertigaçoão tornou-se uma técnica de uso generalizado, principalmente com o desenvolvimento de modernos sistemas de irrigação e pela qualidade dos fertilizantes líquidos. No Brasil, somente nos últimos anos é que a fertigaçoão tem-se firmado como técnica, sendo os proprietários de sistemas de irrigação localizada e de pivô-central os que fazem uso mais freqüente dela, principalmente para a aplicação de adubos nitrogenados. Com a difusão de novas tecnologias em irrigação, a introdução de fertilizantes líquidos no mercado, o custo crescente da mão-de-obra e a necessidade de aumentar a eficiência de utilização dos insumos e implementar a produtividade dos sistemas de produção agrícola, especialmente em áreas de cerrado e do trópico semi-árido, abrem-se grandes perspectivas à utilização dessa tecnologia.

É importante salientar que, independente do sistema de irrigação utilizado na fertigaçoão, os nutrientes diluídos na água são aplicados de forma a infiltrar no solo, predominando a absorção radicular e não foliar. Nesse sentido, o conhecimento do comportamento dos nutrientes do solo, com relação à sua mobilidade, e a exigência da cultura durante o ciclo são fatores importantes a considerar no manejo dos fertilizantes através desse sistema, indicando, também, as vantagens e a economicidade de sua utilização.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da EMBRAPA/CNPMS, Cx. P. 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG

2535

Este capítulo apresenta informações sobre a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, com base no conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo e na demanda das culturas, visando a possibilitar o uso mais eficiente dessa tecnologia.

## 8.2. NITROGÊNIO

O nitrogênio é o elemento mais freqüentemente aplicado via água de irrigação, tanto é que essa tecnologia tem sido utilizada como sinônimo de fertirrigação. Isso deve-se ao fato de que, com relação a outros nutrientes, como fósforo, potássio, cálcio e magnésio etc., apresenta alta mobilidade no solo e, conseqüentemente, alto potencial de perdas, principalmente por lixiviação de nitrato ( $NO_3^-$ ). Com o uso dessa técnica, pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados de acordo com a demanda das culturas, reduzindo as perdas sem onerar o custo de produção.

Por ser um nutriente altamente móvel no solo e requerido em quantidades relativamente elevadas, deve merecer especial atenção em sistemas de cultivos irrigados, visando aumentar a eficiência de sua utilização. Portanto, além de se quantificarem níveis adequados de água e nitrogênio, é necessário conhecer a magnitude e a velocidade das transformações desse nutriente no solo.

### 8.2.1. Dinâmica do nitrogênio no solo

Do nitrogênio total da camada superficial dos solos agrícolas, mais de 85% (Fassbender 1975) encontra-se na forma orgânica e sujeito à mineralização por processos microbiológicos, sendo convertido em amônio ( $NH_4^+$ ) e posteriormente, pela nitrificação, transformado em nitrito ( $NO_2^-$ ) e finalmente em nitrato ( $NO_3^-$ ).

O fertilizante aplicado é também envolvido nas várias reações do nitrogênio no solo. Por exemplo, a uréia é desdobrada em  $NH_4^+$  e  $CO_2$  pela enzima urease. O amônio resultante pode ser adsorvido ao solo, absorvido pelas plantas ou microorganismos ou transformado em nitrato. A Figura 8.1 ilustra, de forma simplificada, as principais reações do nitrogênio no solo.

A intensidade com que o amônio é convertido em nitrato tem, de acordo com Hauck (1971), três efeitos principais nas subseqüentes reações do nitrogênio do solo e fertilizante: a) o metabolismo do nitrogênio é afetado porque as taxas de absorção e assimilação de  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$  pelas plantas são diferentes; b) a nitrificação converte uma forma catiônica de nitrogênio

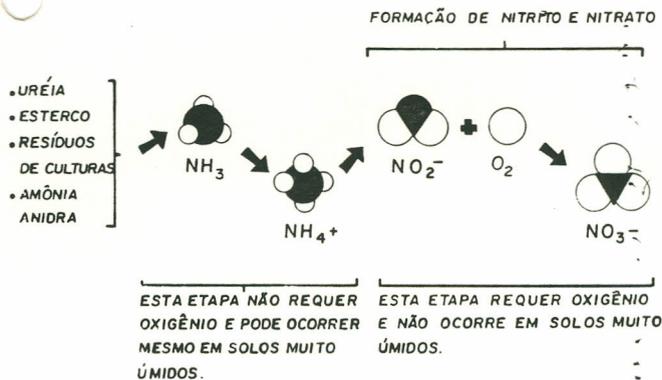


FIGURA 8.1. Reações do nitrogênio no solo.

( $NH_4^+$ ), relativamente imóvel, para uma forma aniônica ( $NO_3^-$ ) móvel, que pode ser lixiviada; c) são produzidas formas oxidadas de nitrogênio, as quais são susceptíveis a perdas através da volatilização, por processos de redução microbiológica (desnitrificação).

Em solos tropicais, existem evidências de que o processo de nitrificação não é tão rápido, prolongando a permanência do nitrogênio na forma amoniacal, o que contribui para a redução das perdas por lixiviação de nitrato. Coelho et al. (1992a) verificaram em um latossolo vermelho-escuro, textura argilosa (pH=5,6), cultivado com milho irrigado, e que havia recebido adubação nitrogenada de cobertura nas doses de 60 e 240 kg/ha, predominância de  $N-NH_4^+$  até 61 dias após a aplicação da uréia (Tabela 8.1). Nesse experimento, a proporção relativa de  $NH_4^+ / (NH_4^+ + NO_3^-)$  foi superior a 80%, com pouca movimentação desses íons no perfil do solo e maior acúmulo até a profundidade de 40 cm. Elevadas proporções de  $N-NH_4^+$  foram também verificadas em pesquisas realizadas por Brito (1988), Coelho (1992) e Mello Jr. et al. (1994). Olsen (1986), em experimentos de campo realizados no Estado do Colorado, EUA, verificaram acréscimos nas produções de milho, variando de 800 a 1.750 kg/ha de grãos, por aumentarem o N-disponível na forma de  $N-NH_4^+$ , mantendo-o durante o período de desenvolvimento da cultura, por meio de um inibidor da nitrificação.

As pesquisas mencionadas têm mostrado também grande estabilidade do nitrogênio no solo durante o período de desenvolvimento das culturas, sem evidências de alto potencial de perdas por lixiviação no perfil do solo. Esses resultados encontram suporte nos experimentos realizados por Moraghan et al. (1984 a, b) e Coelho et al. (1991a), que, utilizando a metodologia do  $^{15}N$ , não verificaram intensa movimentação do N-uréia no perfil

**TABELA 8.1.** Teores de amônio e nitrato (em mg/kg) no perfil do solo em diferentes fases de desenvolvimento da cultura do milho.

Profundidade do solo (cm)	Doses de nitrogênio(kg/ha)					
	0		60		240	
	$NH_4^+$	$NO_3^-$	$NH_4^+$	$NO_3^-$	$NH_4^+$	$NO_3^-$
	28 D.A.AD.COB <sup>1</sup>					
- 10	4,13	0,37	12,34	2,46	253,52	26,53
10 - 20	2,30	0,15	2,84	0,53	100,48	17,26
20 - 40	1,96	0,10	3,44	0,56	20,32	3,50
40 - 60	1,52	0,27	6,32	0,66	14,48	4,01
60 - 100	1,07	6,04	2,35	8,06	4,20	17,01
100 - 140	0,90	17,35	1,62	18,91	15,07	15,74
Total	11,88	24,28	28,91	31,18	408,07	84,05
	61 D.A.AD. COB <sup>2</sup>					
0 - 10	3,15	0,13	3,51	0,23	93,55	27,82
10 - 20	1,70	0,24	2,53	0,20	23,81	14,24
20 - 40	1,25	0,12	1,60	0,37	4,24	4,50
40 - 60	0,76	0,31	0,94	0,35	11,41	2,60
60 - 100	0,72	3,00	1,50	1,03	6,74	6,74
100 - 140	0,76	7,72	1,91	7,15	10,29	17,54
Total	8,34	11,52	11,99	9,33	150,04	73,44

<sup>1</sup> D.A.AD.COB-dias após a adubação de cobertura - pendoamento

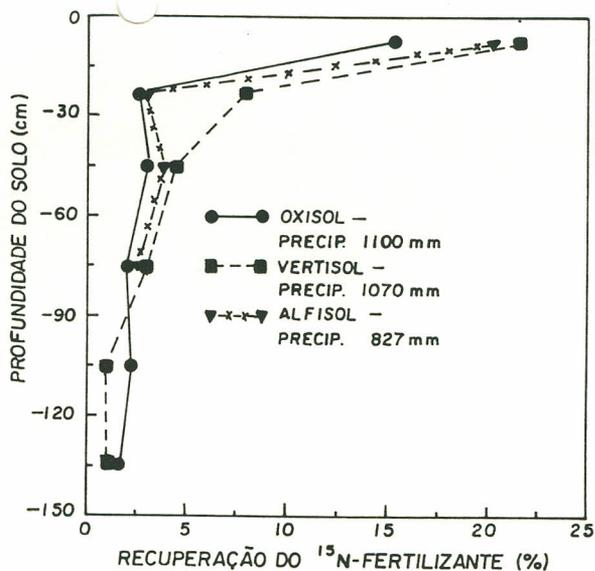
<sup>2</sup> Enchimento de grãos

Fonte: adaptado de Coelho et al. (1992a).

de três solos cultivados com milho e sorgo, com a aplicação de doses variando de 60 a 80 kg de N/ha (Figura 8.2). Nesses experimentos, do nitrogênio que permaneceu no perfil dos solos (27 a 39%) após a colheita das culturas, a maior proporção encontrava-se na camada superficial de 0 a 30 cm, essencialmente na forma orgânica (Figura 8.2). A recuperação pelas culturas variou de 53 a 64% das doses de N - uréia aplicadas.

### 8.2.2. Parcelamento e época de aplicação

No Brasil, existe o conceito generalizado, entre técnicos e produtores, de que, aumentando o número de parcelamentos da adubação nitrogenada, aumenta-se a eficiência de uso do nitrogênio e reduzem-se as perdas,



BALANÇO DO <sup>15</sup> N-FERTILIZANTE	
OXISOL: MILHO	
60 Kg N/ha:	PLANTA - 53 % <sup>f</sup>
	SOLO - 27 %
	80 %
VERTISOL: SORGO	
74 Kg N/ha:	PLANTA - 55 %
	SOLO - 39 %
	94 %
ALFISOL: SORGO	
80 Kg N/ha:	PLANTA - 64 %
	SOLO - 29 %
	93 %

<sup>f</sup> OS VALORES EM % REFEREM-SE À RECUPERAÇÃO DO N NA PLANTA E NO SOLO, EM RELAÇÃO ÀS DOSES APLICADAS.

FIGURA 8.2. Distribuição do <sup>15</sup>N-fertilizante no perfil do solo e balanço do nitrogênio no sistema solo-planta.

Fonte: adaptado de Moraghan et al. (1984a, b) e Coelho et al. (1991a).

principalmente por lixiviação. Como consequência, e devido às facilidades que os sistemas de irrigação oferecem para a aplicação de fertilizantes via água, é comum o parcelamento do fertilizante nitrogenado em quatro, seis ou até oito vezes durante o ciclo das culturas.

Entretanto, conforme discutido anteriormente, a baixa intensidade de nitrificação e de perdas por lixiviação nos perfis dos solos poderia 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, com 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 ao solo e via água de irrigação, em milho cultivado em dois latossolos de textura diferente, 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 a 10 folhas, resultou em produção de grãos semelhante à obtida com uréia aplicada via água de irrigação, parcelada em duas, quatro ou seis vezes (Tabela 8.2).

**TABELA 8.2.** Produção de grãos (kg/ha) de milho em função do método de aplicação e parcelamento do nitrogênio, na dose de 120 kg/ha.

Método de aplicação	Épocas de aplicação - Dae <sup>1</sup>						Produção de grãos	
	30	37	44	51	58	65	Sete Lagoas <sup>2</sup>	Janaúba <sup>3</sup>
	-----% de N aplicado-----							
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

<sup>1</sup>Dae - Dias após a emergência

<sup>2</sup>Sete Lagoas - LEd - textura muito argilosa

<sup>3</sup>Janaúba - LEd - textura média

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

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% areia), cujo manejo do nitrogênio irá necessariamente requer 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 a aplicação de fertilizantes nitrogenados em solos arenosos.

Mesmo em países onde a pesquisa está evoluída, ainda existem controvérsias com relação ao manejo do nitrogênio em solos arenosos. Por exemplo, Rehm e Wiese (1975), estudando o efeito de métodos de aplicação de nitrogênio sobre a produção de milho irrigado, concluíram que houve efeito da textura do perfil do solo nos resultados obtidos. Em solo arenoso, com acúmulo de silte a 60 cm de profundidade, não houve efeito do método de aplicação de nitrogênio sobre a produção de grãos. Entretanto, em solo arenoso, cujo perfil não apresentava esse acúmulo, a aplicação parcelada de nitrogênio via água de irrigação aumentou a produção de grãos e a recuperação de nitrogênio, quando comparada com a aplicação do elemento no solo, em pré-plantio e cobertura. Rhoads et al. (1978), trabalhando com solos arenosos da Flórida, EUA, concluíram que aplicações múltiplas de nitrogênio, realizadas de acordo com a curva de absorção do elemento pelo milho, resultaram em produções mais altas do que a aplicação via solo de

1/3 de nitrogênio em pré-plantio, 1/3 aos 51 e 1/3 aos 64 dias após o plantio. Rhoads e Stanley (1981), comparando seis e doze aplicações via água, concluíram que, embora a absorção de nitrogênio fosse semelhante, houve maior produtividade no tratamento de seis parcelamentos. Rehm (1982), trabalhando com milho em solos arenosos de Nebraska, concluiu que 2/3 do nitrogênio devem ser aplicados via solo e 1/3 via água. Por outro lado, Mitchell (1982) não encontrou vantagens em se aplicar o nitrogênio via água. Ele atribuiu esses resultados ao fato de que o nitrogênio aplicado via irrigação por aspersão não tem um bom aproveitamento por plantas jovens, visto ser distribuído uniformemente em toda a superfície do solo e o sistema radicular ainda ser muito reduzido. Gascho e Hook (1985) desenvolveram um programa de fertigação para milho em solos arenosos da Geórgia. Segundo os autores, 25 % do total de nitrogênio deve ser aplicado no plantio; 22,5 % nos estádios de 6, 8 e 12 folhas, respectivamente, e 7,5 % no florescimento. A produção de milho, usando-se esse método, resultou em maior lucro para o produtor que o método convencional.

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

- a) altas doses de nitrogênio (120 a 200 kg/ha);
- b) solos de textura arenosa;
- c) áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade.

Uma única aplicação deve ser feita sob as seguintes condições:

- a) doses de nitrogênio baixas ou médias (60 a 100 kg/ha);
- b) solos de textura média e/ou argilosa;
- c) plantio intensivo, sem o uso de irrigação, em que a distribuição do fertilizante é feita mecanicamente. Como sugestão, o esquema do parcelamento do nitrogênio para a cultura do milho, em função da textura do solo, é apresentado na Tabela 8.3.

### **8.2.3. 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 esse 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 ao subsequente potencial de perdas de nitrogênio por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ), tem-se recomendado, no manejo desse fertilizante, a incorporação ao solo a uma profundidade de aproximadamente 5 a 10 cm. Quando não

**TABELA 8.3.** 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 a 6	7 a 8	8 a 10	10 a 12
		% de N aplicado			
Argiloso	60 a 100 <sup>1</sup>		100		
(36 a 60 % argila)	>100	50		50	
Média	60 a 100 <sup>2</sup>		100		
(15 a 35% argila)	>100	50		50	
Arenoso	60 a 100	50		50	
(< 15% argila)	> 100	40		40	20

<sup>1</sup> e <sup>2</sup> Se as plantas apresentarem sintomas de deficiência, poderá ser feita uma aplicação suplementar de nitrogênio em período anterior ao indicado.

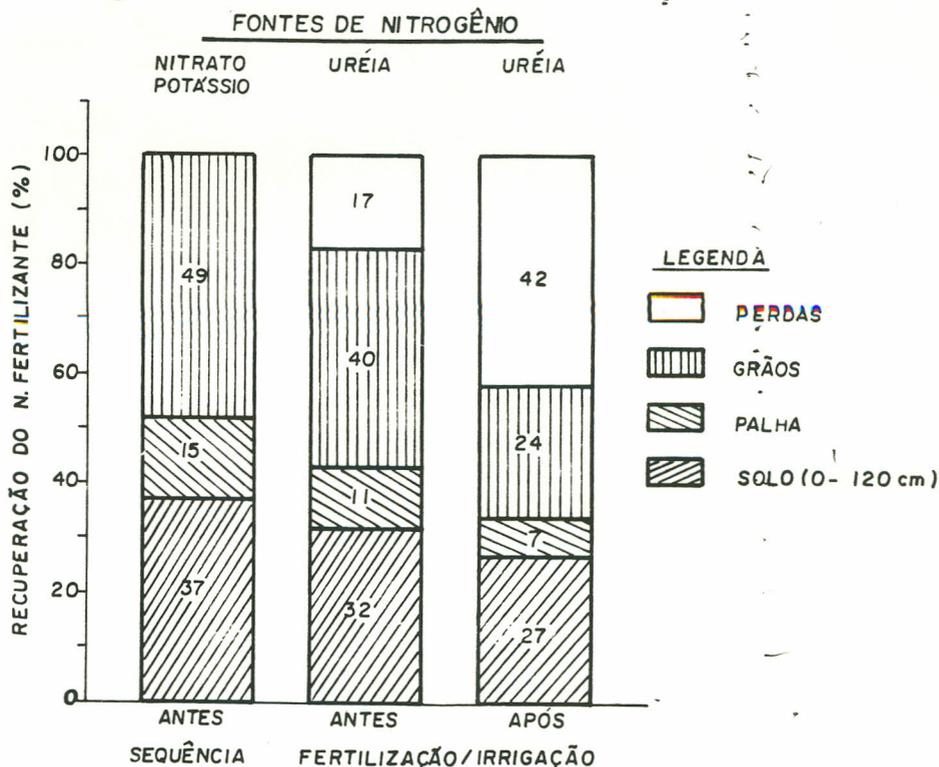
Fonte: Coelho et al. (1991b).

for possível fazer a incorporação, as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  podem ser minimizadas misturando-se o fertilizante com a camada superficial do solo, através de operação de cultivo. Por outro lado, as perdas de nitrogênio por volatilização de  $\text{NH}_3$  são reduzidas quando ocorrerem chuvas após a aplicação da uréia na superfície do solo.

Sendo assim, quando esses fertilizantes são 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, conforme sugerem os dados da Figura 8.3, que mostram o efeito da seqüência fertilização/irrigação nas perdas de N-uréia, atribuídas à volatilização de  $\text{NH}_3$  (Katyal et al. 1987).

#### 8.2.4. Fertilizantes nitrogenados

Os fertilizantes nitrogenados sólidos são usados de quatro formas: amoniacal (sulfato de amônio), nítrica (nitrato de sódio), nítrico-amoniacal (nitrato de amônio, nitrocálcio) e amídica (uréia). Mais recentemente, tem sido comercializada no Brasil uma solução de uréia e nitrato de amônio em



**FIGURA 8.3.** Recuperação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante no sistema solo-planta em função da seqüência de aplicação do nitrogênio (60 kg/ha) com relação à irrigação.  
 Fonte: adaptado de Katyal et al. (1987).

meio aquoso, conhecida como urânio. Os fertilizantes nitrogenados, na forma sólida, são altamente solúveis em água, não apresentando problemas para utilização via água de irrigação, inclusive no gotejamento (Vitti et al. 1993). Há inúmeros fertilizantes no mercado, conforme apresentado na Tabela 8.4.

Do ponto de vista agrônomo, diversos estudos foram conduzidos no Brasil visando a comparação das principais fontes de nitrogênio (Campos e Tedesco 1979; Grove et al. 1980; Coelho e Silva 1986; Coelho et al. 1992b). Esses trabalhos revelaram que, de modo geral, todas as fontes solúveis de nitrogênio, quando adequadamente manejadas, têm apresentado comportamento similar.

As diferenças observadas ocasionalmente entre as fontes solúveis de nitrogênio podem estar relacionadas com a presença de outros elemen-

**TABELA 8.4.** Solubilidade e composição dos fertilizantes nitrogenados.

Fertilizante	Fórmula	Concentração	P.S. <sup>1</sup>	Índice salino	Corrosão relativa <sup>2</sup>
Sulfato de amônio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20%N, 24%S	71	69	BC
Nitrato de amônio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	34%N	118	105	BC
Nitrato de cálcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	20% N, 2 a 8% Ca	102	61	SC
Uréia	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	45%N	78	75	C
Uran	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> +CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	32%N	-	-	C
Nitrato de sódio	NaNO <sub>3</sub>	16%N	73	100	C

<sup>1</sup>Partes solubilizantes em 100 partes de água

<sup>2</sup>Corrosão relativa em material de alumínio: SC = sem corrosividade; BC = baixa corrosividade; C = corrosividade a elevada concentração.

tos nos fertilizantes, como é o caso do enxofre no sulfato de amônio, ou com o efeito que alguns fertilizantes nitrogenados exercem sobre a reação do solo. O efeito acidificante do sulfato de amônio, uréia e outros compostos que contêm ou produzem amônia pode ser importante em solos manejados no sistema de plantio direto e adubados anualmente com altas doses de nitrogênio, mas deve ser menos acentuado em solos revolvidos anualmente através de arações e gradagens. Em ambos os casos, a aplicação de calcário corrige a acidez causada pelos fertilizantes.

### 8.3. FÓSFORO

Nenhum nutriente teve seu comportamento tão bem estudado quanto o fósforo, e muito se aprendeu sobre a dinâmica desse nutriente no solo. Do ponto de vista de manejo dos fertilizantes fosfatados, os princípios básicos de particular importância são: a) o fósforo encontra-se no solo em diversas combinações químicas, a maioria de baixa solubilidade em água; b) a taxa de recuperação do P-fertilizante pelas culturas no primeiro ano é muito baixa; c) no solo, o fósforo não se move a longas distâncias do local onde é colocado; d) a lixiviação de fósforo pela água de percolação praticamente inexiste em solos minerais. Devido a todos esses fatores, a adubação fosfatada apresenta grande efeito residual e de longa duração.

Assim, ao contrário da comprovada eficiência da aplicação dos fertilizantes nitrogenados via água de irrigação, devido à sua alta solubilidade e mobilidade no solo, a aplicação dos fertilizantes fosfatados é questionável, em função da baixa difusão do elemento no solo. Para ser absorvido pelas

plantas, o fósforo deve difundir-se para a superfície das raízes ou estas desenvolverem-se rumo ao nutriente. Nessa condição, é duvidosa a eficiência da aplicação desse nutriente na superfície do solo, como na fertigação.

Experimentos visando comparar a utilização do fósforo pelo milho e a movimentação desse nutriente no perfil do solo, quando aplicado via água de irrigação e no solo, pelo método convencional, foram realizados por Herget e Reuss (1976), em solo argiloso e arenoso. No solo arenoso, não observaram diferenças significativas na produção do milho com a aplicação do fósforo a lanço e incorporado ao solo antes do plantio e via água de irrigação, em aplicação única ou parcelada, após a emergência das plântulas. Entretanto, no solo argiloso, houve melhor desenvolvimento vegetativo inicial da cultura e maior produtividade de grãos quando o fósforo foi aplicado a lanço e incorporado ao solo em pré-plantio. De acordo com esses resultados e devido à incerteza quanto ao tempo requerido para esse nutriente movimentar-se em direção às raízes, mesmo no solo arenoso, quando aplicado via água de irrigação, os autores sugerem a sua aplicação no solo.

Na cultura do tomate rasteiro, Faria e Pereira (1993) verificaram, em experimento de campo em latossolo vermelho-amarelo, textura arenosa, que o parcelamento da adubação fosfatada, sendo 50 % da dose aplicada no plantio e 50 % em cobertura, 30 dias após, proporcionou produtividade significativamente superior (23 %) em relação à aplicação de toda a dose no plantio. Por outro lado, Belcher e Ragland (1972) verificaram que, no sistema de plantio direto em solo siltoso (76% de silte), a aplicação do fertilizante fosfatado a lanço na superfície do solo apresentou alta eficiência no suprimento desse nutriente e na produção de grãos da cultura do milho, com relação à aplicação combinada de parte das doses na superfície e no sulco de semeadura, ao lado e abaixo das sementes (Tabela 8.5).

Um interessante efeito da aplicação do fertilizante fosfatado via água de irrigação, nos experimentos de Herget e Reuss (1976), foi a profundidade de distribuição do fósforo no perfil do solo (Figura 8.4). No solo argiloso, o fósforo apresentou baixa movimentação, acumulando-se na camada superficial (< 4 cm). Entretanto, no solo arenoso, os dados mostram haver movimentação do nutriente até 18 cm de profundidade, com a fertigação. Resultados semelhantes foram obtidos por Faria e Pereira (1993), em ensaio de laboratório em colunas lixiviadoras com solos da região Nordeste do Brasil.

Assim, se o fósforo for aplicado via água de irrigação, em solos argilosos, ele tende a permanecer em uma fina camada de solo, de poucos centímetros, e, no ano de aplicação, poderá ser menos eficiente do que quando adequadamente aplicado no sulco de plantio.

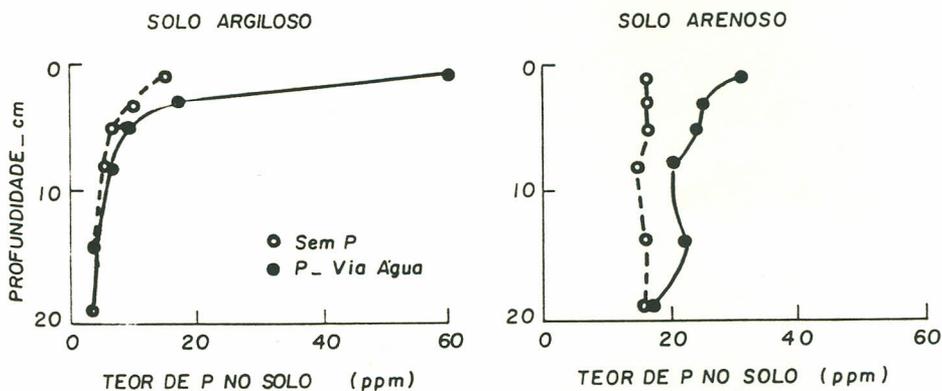
**TABELA 8.5.** Absorção de fósforo pelo milho ( em mg/planta) em diferentes fases de desenvolvimento e produção de grãos, em função de doses e métodos de aplicação de superfosfato em solo siltoso, em sistema de plantio direto

Doses de fósforo (kg/ha)	Superfície <sup>1</sup>				Superfície + sulco <sup>2</sup>			
	P-absorvido - D.a.e <sup>3</sup>			Produção de grãos (kg/ha)	P-absorvido - D.a.e			Produção de grãos (kg/ha)
	29	47	56		29	47	56	
0	36	158	201	4.645	37	168	198	4.771
56	85	321	352	7.533	90	271	300	5.901
112	105	360	395	6.278	102	301	331	6.152
224	130	342	447	6.528	144	399	447	6.780
Média	89	295	348	6.215	93	285	319	5.901

<sup>1</sup> Fósforo aplicado a lanço na superfície do solo, antes do plantio.

<sup>2</sup> Aplicação de 28 kg de P/ha no sulco de plantio, 5 cm ao lado e abaixo da semente, e o restante aplicado na superfície do solo, antes do plantio.

<sup>3</sup> D.a.e = dias após a emergência das plântulas  
Fonte: adaptado de Belcher e Ragland (1972).



**FIGURA 8.4.** Perfil de distribuição do fósforo (extrator Olsen) em solos quando aplicado via água de irrigação  
Fonte: adaptado de Herget e Reuss (1976).

Por outro lado, pesquisas indicam que o fósforo pode ser aplicado através de irrigação por gotejamento tanto em solos arenosos como argilosos. Nessa situação, há um aumento na mobilidade devido à saturação dos sítios de adsorção próximos ao ponto de saída da solução. Rauschkolb et

al. (1976) verificaram que, com a aplicação de ortofosfato através de gotejamento, o fósforo se movimentou cerca de 30 cm em profundidade, em solos argilosos. Isto representa uma movimentação 5 a 10 vezes maior do que quando o fósforo é aplicado na superfície do solo.

Embora existam evidências da eficiência da adubação fosfatada aplicada na superfície, em solos arenosos com baixa capacidade de adsorção de fósforo, a pouca mobilidade desse nutriente no solo e a maior exigência das culturas na fase inicial de crescimento não justificam a recomendação generalizada de sua aplicação via água de irrigação. Aliadas a esse aspecto, a baixa solubilidade da maioria dos adubos fosfatados e a facilidade de precipitação, que causam entupimento nos aspersores, são também restrições para sua utilização na fertigaçao (Hernandez Abreu et al. 1987).

Nos Estados Unidos, fertilizantes fluidos contendo NPK na forma de suspensão (3-10-30) têm sido utilizados na fertigaçao, em sistemas de pivô central (Dowler 1985). Nesse caso, há necessidade de equipamentos adequados, como o revestimento das linhas de irrigação e conectores com material anticorrosivo e sistema de agitação no reservatório, visando manter o fertilizante em suspensão. No Brasil, alguns produtores têm utilizado a aplicação de fósforo via água de irrigação, principalmente na cultura do feijão, utilizando o fosfato de amônio (MAP e DAP), devido à sua maior solubilidade ( 23 e 43g/100ml de água) em relação a outras fontes. Embora existam no mercado nacional fertilizantes fluidos em forma de suspensão coloidal ( 10-30-00) e misturas em suspensão ( 03-15-10), contendo fósforo, o comportamento desse nutriente no solo, conforme discutido anteriormente, o custo mais elevado ( 15 a 25%) em relação às fontes convencionais e, principalmente, a falta de resultados de pesquisas para as condições do Brasil, sobre a eficiência da aplicação do fósforo na fertigaçao, são restrições à recomendação dessa tecnologia como alternativa de manejo do fertilizante fosfatado em substituição aos métodos convencionais.

#### **8.4. POTÁSSIO**

A aplicação de potássio junto com o nitrogênio, via água de irrigação, é prática bastante utilizada pelos agricultores. De acordo com Vitti et al. (1993), a aplicação de potássio através da fertigaçao praticamente não apresenta problemas, devido à alta solubilidade da maioria dos sais de potássio. A utilização do sulfato de potássio é limitada, em relação ao cloreto ou ao nitrato, uma vez que, na presença de grandes concentrações de cálcio na água, ocorre a formação de precipitado de sulfato de cálcio (Hagin e Tucker 1982, citados por Vitti et al. 1993). As principais características dos fertilizantes potássicos são apresentadas na Tabela 8.6.

**TABELA 8.6.** Composição e solubilidade dos fertilizantes potássicos.

Fertilizante	Fórmula	Concentração	P.S. <sup>1</sup>	Índice salino
Cloreto de potássio	KCl	60%K <sub>2</sub> O + 48% Cl	34	115
Sulfato de potássio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	52% K <sub>2</sub> O+ 17% S	11	46
Nitrato de potássio	KNO <sub>3</sub>	44% K <sub>2</sub> O + 14% N	32	31
Nitrato de sódio e potássio	KNaNO <sub>3</sub>	14% K <sub>2</sub> O + 14% N	-	31
Sulfato de potássio e Magnésio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2MgSO <sub>4</sub>	22% K <sub>2</sub> O + 11% Mg + 22% S	29	43

<sup>1</sup>Partes solubilizantes em 100 partes de água

Desde que os fertilizantes potássicos não apresentem problemas para a aplicação via água de irrigação, o ponto crucial é definir em que condições deve-se fazer o parcelamento desse nutriente. Neste sentido, dois aspectos devem ser levados em consideração: o potencial de perdas por lixiviação em função de sua mobilidade nos diferentes tipos de solos e as exigências das culturas em relação à curva de absorção.

Com relação à movimentação no solo, Pushparajah et al. (1977), citados por Vilela et al. (1986) verificaram que as perdas de potássio por lixiviação variaram com a textura dos solos: as maiores perdas ocorreram em solos arenosos e as menores, em solos de textura média e argilosa. Em latossolo vermelho-escuro, textura argilosa (CTC efetiva = 6,0 meq/100cc), submetido a cultivos sucessivos de milho e feijão irrigado, Coelho e França (1994) verificaram que a lixiviação de potássio para as camadas inferiores (20 a 40 e 40 a 60 cm) do perfil do solo somente ocorreu com a aplicação de 120 kg de K<sub>2</sub>O/ha no sulco de plantio (Figura 8.5.).

A aplicação de uma alta dose de potássio no sulco, ocupando menor volume de solo, pode gerar uma maior concentração de K<sup>+</sup> na solução do solo, o que provoca maiores perdas desse elemento por lixiviação. Nessa condição, o parcelamento da adubação potássica é uma alternativa para reduzir as perdas. Em solos de textura arenosa, que normalmente apresentam baixa CTC efetiva e alto potencial de perdas por lixiviação, a aplicação parcelada de potássio via água de irrigação apresenta-se como técnica altamente vantajosa, visando maior eficiência no manejo desse nutriente. Neste caso, a época de aplicação e o número de parcelamento vão depender da dose a ser aplicada e da demanda de cada cultura, de acordo com a curva de absorção, conforme mencionado no final deste capítulo.

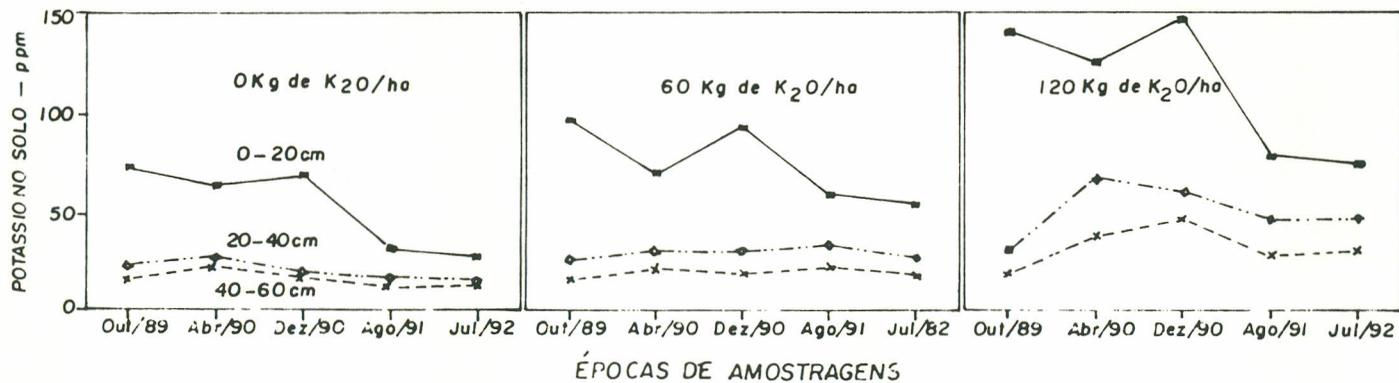


FIGURA 8.5. Valores de K-disponível (extrator Mehlich) em um latossolo vermelho-escuro, textura argilosa, em cultivos sucessivos de milho e feijão. Sete Lagoas, MG.

Fonte: adaptado de Coelho e França (1994).

## 8.5. CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE

A nutrição com cálcio e magnésio não constitui geralmente grande preocupação nos programas de adubação, tendo em vista que a prática de calagem ainda é a maneira mais usual de fornecimento desses nutrientes às plantas. Em regiões onde não haja disponibilidade de calcários magnesianos ou dolomíticos, pode-se utilizar o calcítico a lanço, com posterior adição de magnésio no sulco de plantio ou aplicado via água de irrigação, na forma de sulfato de magnésio, devido à sua alta solubilidade.

A exemplo do nitrogênio, o fornecimento de enxofre às culturas através da fertigação não apresenta problemas, em função da mobilidade do íon sulfato ( $SO_4^{=}$ ) para a camada subsuperficial do solo e da existência, no mercado, de fertilizantes que contêm esse nutriente, com alta solubilidade em água.

As necessidades de enxofre das culturas são, em geral, supridas via fornecimento de fertilizantes carreadores de macronutrientes primários e também portadores de enxofre. O sulfato de amônio, que contém 24% de enxofre, é a fonte mais comum desse nutriente. As fábricas nacionais de fertilizantes fluidos produzem a fórmula 20-00-00 + 4% S, que é obtida pela adição de sulfato de amônio ao uran. Esse fertilizante é uma solução verdadeira, utilizada para a adubação de cobertura de cana-de-açúcar e de culturas anuais como o milho, algodão e tomate.

## 8.6. MICRONUTRIENTES

Na aplicação via água de irrigação, as fontes de micronutrientes são diluídas em água, formando soluções ou suspensões e, a seguir, distribuídas através da aspersão sobre o solo. Assim, os mesmos princípios apresentados para a aplicação dos macronutrientes, ou seja, a solubilidade, compatibilidade e a mobilidade no solo, devem ser considerados.

Entre as fontes de micronutrientes, além dos compostos inorgânicos, as formas orgânicas constituídas por quelatos podem ser aplicadas de forma eficiente. Na tabela 8.7 são apresentados alguns fertilizantes que contêm micronutrientes e suas principais características.

Com exceção do molibdênio, que se move livremente na solução do solo em direção às raízes e do boro, em solos arenosos, a baixa difusão no solo dos demais micronutrientes (zinco, cobre, ferro e manganês) deixa dúvidas quanto à eficiência da aplicação desses nutrientes na superfície do solo, com o uso da fertigação.

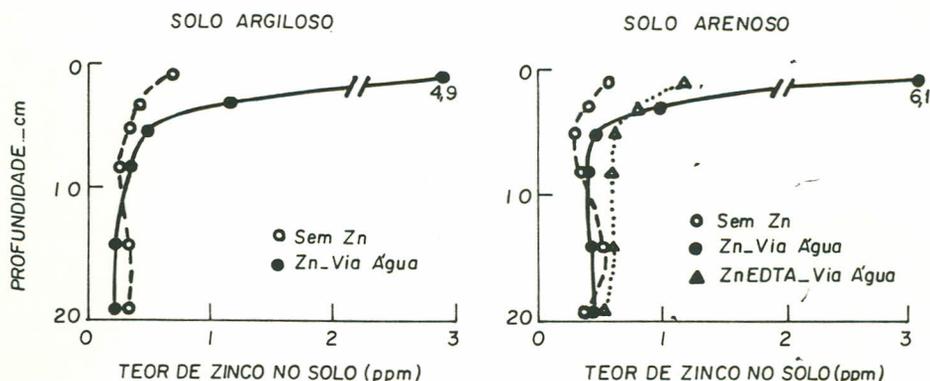
Hergert e Reuss (1976) realizaram experimentos para verificar a distribuição do zinco no perfil de dois solos de textura diferente, quando apli-

cado via água de irrigação (Figura 8.6). A movimentação do zinco, quando aplicado na forma de sulfato, não foi afetada pela textura do solo, com maior acúmulo na camada superficial de 5 cm. Nessa condição, a aplicação do zinco no solo, em pré-plantio, foi mais eficiente na produção do milho, devido à maior demanda no estágio inicial de desenvolvimento da cultura, quando o sistema radicular é ainda pouco desenvolvido. Quando o zinco foi aplicado na forma de quelato (Zn EDTA), em solo arenoso, foi detectada uma movimentação até a profundidade de 10 cm (Figura 8.6). Entretanto, a incorporação do zinco na profundidade observada só será eficiente para atender o requerimento do milho se esta ocorrer no estágio inicial da cultura. Devido à pouca movimentação desse nutriente tanto no solo argiloso como arenoso, parece ser mais adequada sua aplicação no solo por ocasião do plantio.

**TABELA 8.7.** Composição e solubilidade de fertilizantes que contêm micronutrientes.

Fertilizante	Fórmula	Concentração	P.S. <sup>1</sup>
Sulfato de cobre	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25 % Cu	22
Sulfato de manganês	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	28 % Mn	105
Molibdato de sódio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39 % Mo	56
Molibdato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	48 % Mo	40
Sulfato de zinco	$\text{ZnSO}_4$	22 % Zn	75
Ácido bórico	$\text{H}_3 \text{Bo}_3$	16 % B	5

<sup>1</sup>Partes solubilizantes em 100 partes de água.



**FIGURA 8.6.** Perfil de distribuição de zinco (extrator DTPA) em solos, quando aplicado via água de irrigação.

Fonte: adaptado de Hergert e Reuss (1976).

A aplicação em sulco, por ocasião do plantio, é, geralmente, mais eficiente para os fertilizantes que contêm manganês e ferro, uma vez que mesmo as formas solúveis em água desses micronutrientes oxidam rapidamente com as aplicações a lanço, com acentuada redução na eficiência agrônômica.

A tendência atual é utilizar adubos NPK granulados contendo micronutrientes nos grânulos, para a adubação no solo, o que facilita a aplicação uniforme na lavoura.

## **8.7. FERTILIZANTES NA FORMA FLUIDA OU LÍQUIDA**

Além dos fertilizantes na forma isolada ou em combinações de dois ou mais nutrientes, o mercado brasileiro apresenta fertilizantes na forma fluida ou líquida. Os adubos líquidos podem estar na forma de soluções claras, soluções coloidais e misturas em suspensão (Boaretto et al. 1991; Vitti et al. 1993).

### **8.7.1. Misturas líquidas claras e soluções nitrogenadas**

São soluções puras ou perfeitas, sendo as soluções nitrogenadas a forma mais comum de adubo fluido. As soluções nitrogenadas sem pressão vêm ganhando cada vez mais popularidade no Brasil, sendo obtidas na indústria pela mistura de soluções de uréia e nitrato de amônio. Esse produto é designado como uran (ou UAN nos Estados Unidos) e pode conter de 28 a 32% de nitrogênio total. No Brasil, o uran comercializado contém 32% de nitrogênio total, sendo 14 %  $N-NH_2$ , 9%  $N-NO_3^-$  e 9%  $N-NH_4^+$ . Essa solução nitrogenada, por possuir o nitrogênio em formas mais estáveis ( $-NH_2$ ,  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ), oferece menor possibilidade de perdas por volatilização durante o uso; também não apresenta nenhum risco aos operadores. A inclusão de outros elementos, como os micronutrientes, é possível, desde que permanecem em solução e confirmam estabilidade à formulação. As soluções claras podem ser utilizadas para a aplicação na fertigação, em qualquer sistema, seja em aspersão, sulco ou gotejamento.

### **8.7.2. Soluções coloidais**

São consideradas bases as misturas binárias obtidas pela reação do ácido fosfórico com amônia, nas quais os fosfatos de amônio formados encontram-se completamente dissolvidos no meio líquido. Essas soluções são mais comuns nos Estados Unidos, onde a tecnologia de produção de adubos fluidos e a utilização do ácido superfosfórico permitem a produção de soluções mais concentradas. No Brasil, como não existe comercialmente o ácido superfosfórico, essas soluções não são produzidas. A indústria

nacional produz suspensões coloidais pela reação do ácido ortofosfórico com a amônia anidra. São exemplos as misturas 06-30-00 e 10-30-00, as quais são empregadas principalmente como matéria-prima para a produção de outras formulações fluidas, pela mistura com uran e cloreto de potássio. As suspensões coloidais 06-30-00 e 10-30-00 podem ser empregadas puras em pulverizações foliares por avião ou diluídas em aplicações terrestres, na fertigação, ou podem ser empregadas na adubação via solo. As características das formulações líquidas contendo nitrogênio e fósforo existentes no mercado são apresentadas na Tabela 8.8.

### 8.7.3 Misturas em suspensão

São obtidas a partir da mistura dos elementos simples fluidos (32-00-00, 10-30-00, 6-30-00) com cloreto de potássio. É uma mistura a frio, sem ocorrência de reação química, sendo que apenas pequena parcela do potássio permanece em solução, e a maior parte do mesmo é mantida em suspensão, através da adição de argilas, como a atalpigita ou a bentonita. Essa forma de fertilizante pode ser utilizada em sistemas de irrigação por aspersão, desde que a solução no reservatório seja mantida sob constante agitação. No sistema de gotejamento, não deve ser usada, devido à decantação das partículas na tubulação e ao entupimento dos emissores de água. Atualmente, seu maior uso é na aplicação direta sobre o solo, em substituição aos fertilizantes sólidos, principalmente nas culturas de café, cana-de-açúcar e citros.

**TABELA 8.8.** Características físicas e químicas das suspensões coloidais.

Composição	Suspensões coloidais	
	10-30-00	06-30-00
N amoniacal (%)	10	6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em água (%)	27	27
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,370	1,350
Aspecto físico	Líquido espesso, coloração amarelada	Líquido espesso, coloração branca
Volatilidade	Não volátil	Não volátil
pH	6,2 - 6,8	3,5 - 4,5
Corrosividade	Pouco corrosivo <sup>1</sup>	Pouco corrosivo
Estabilidade	Bastante estável <sup>2</sup>	Bastante estável

<sup>1</sup>A suspensão coloidal 06-30-00 é mais corrosiva que a 10-30-00, por apresentar reação mais ácida.

<sup>2</sup>Embora consideradas estáveis por se tornarem homogêneas com uma leve agitação, essa prática é indispensável antes da utilização.

## 8.8. COMPATIBILIDADE DOS FERTILIZANTES

Quando se utiliza mais de um fertilizante, Costa et al. (1986) recomendam observar a compatibilidade entre eles, para que não ocorram precipitações. Outra alternativa para evitar que os minerais reajam entre si e não deixar que se precipitem é a aplicação alternada dos fertilizantes. Goldberg e Rimon (1975), citados por Vitti et al. (1993), realizaram pesquisa alternando os adubos, num ciclo de quatro dias, com fertigação diária, obtendo excelentes resultados.

A respeito da compatibilidade dos fertilizantes com micronutrientes e defensivos, Santos et al. (1987), citados por Vitti et al. (1993), fazem as seguintes recomendações:

a) até cerca de 2 % de um ou mais micronutrientes podem ser adicionados a soluções claras e em suspensões; esse índice atinge cerca de 10 %;

b) são citados como compatíveis com fertilizantes os seguintes produtos: Atrazina, Dicarbam, Linuron, Nitralin, Fluometuron, Dinoseb, Simazina, EPTC, Herbamina, Diuron, Trifluralina, Vernolate e Alachlor;

c) normalmente as formulações de inseticidas e fungicidas tipo emulsão, solução concentrada e pós-solúveis apresentam compatibilidade física com fertilizantes líquidos. As formulações em pó-molhável necessitam de agitação constante para que não ocorra decantação. Muitas misturas de inseticidas e fungicidas com fertilizantes podem apresentar reações secundárias após certo tempo. Em vista disso, recomenda-se aplicar a mistura imediatamente após o preparo. Como precaução, verificar as recomendações dos fabricantes, constantes nas embalagens dos defensivos, e, em caso de dúvida, efetuar teste prévio de mistura, para avaliar a compatibilidade física entre os produtos, sendo que qualquer alteração significa, a priori, incompatibilidade.

Para maiores informações sobre a compatibilidade dos fertilizantes com herbicidas, inseticidas e fungicidas, recomenda-se ao leitor consultar os capítulos deste livro referentes à aplicação desses produtos.

## 8.9. ACUMULAÇÃO DE NUTRIENTES E MANEJO DA ADUBAÇÃO

Definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para determinada cultura, o passo seguinte, 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 e o potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos são fatores importantes a considerar na aplicação parcelada de fertilizantes em culturas irrigadas.

Embora a marcha de absorção de nutrientes seja afetada pelo clima, cultivares e sistemas de cultivos, de modo geral, pode-se dizer que os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo, sendo as diferenças verificadas nas velocidades de absorção em função do ciclo e na translocação das folhas e dos colmos para os órgãos reprodutivos. Como exemplo, podem-se citar estudos sobre a acumulação de nutrientes realizados por Andrade et al. (1975), citados por Büll (1993), para a cultura do milho, e por Haag et al. (1967), para a cultura do feijão (Figura 8.7). 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 à do nitrogênio e do fósforo (Figura 8.7A), sugerindo uma maior necessidade de potássio na fase inicial, como um elemento de "arranque". Para o nitrogênio e o fósforo, o milho apresenta 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 e Benoit 1992). Tem sido demonstrado, por pesquisadores da

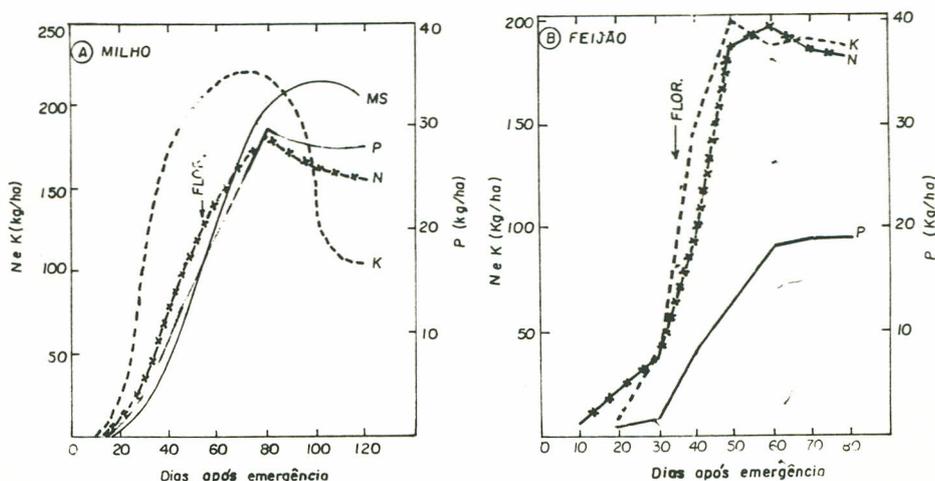


FIGURA 8.7. Acumulação de nutrientes pelas culturas de milho (A) e feijão (B).

Adaptado de Bull (1993) e Haag et al. (1967).

Universidade de Purdue, EUA, que alguns híbridos de milho absorvem grandes quantidades de nitrogênio após o início da formação da espiga (Tsai et al. 1984).

Resultados obtidos por Novais et al. (1974) (Tabela 8.9), sobre o parcelamento de nitrogênio na cultura do milho, mostram que o não-suprimento desse nutriente durante a fase inicial de desenvolvimento vegetativo, com a aplicação de toda a dose no florescimento (65 dap), e excessivo número de aplicações parceladas apresentaram menor eficiência do que a aplicação por ocasião do plantio e na fase de desenvolvimento vegetativo (Tabela 8.9).

Para a cultura do feijão (Figura 8.7B), a exemplo do que ocorre com o milho, o padrão de absorção de potássio difere daqueles obtidos para o nitrogênio e fósforo, com a diferença de que, no caso do feijão, são aparentes dois períodos de grande demanda pelo nutriente, sendo o primeiro compreendido entre 25 e 35 dias, época de diferenciação dos botões florais, e o segundo, compreendido entre 45 e 55 dias, época em que se dá o final do florescimento e o início de formação das vagens (Rosolem 1987). Para o nitrogênio e o fósforo, o período de máxima absorção ocorre entre 45 e 55 dias, ou seja, durante o florescimento e o início da formação das vagens. No caso do nitrogênio, a curva de absorção mostra que, embora o período de maior absorção seja o descrito acima, existe possibilidade de resposta ao nutriente aplicado tardiamente, uma vez que, aparentemente, a cultura absorve o nutriente até o final do ciclo (Rosolem, 1987). Este as-

**TABELA 8.9.** Efeito do parcelamento de nitrogênio (%), nas doses de 60 e 120 kg/ha, na produção de milho (kg/ha) em latossolo argiloso de Patos de Minas, MG.

Plantio	Época de aplicação - Dap <sup>1</sup>			Produção de espigas	
	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	

<sup>1</sup> Dias após o plantio

Fonte: adaptado de Novais et al. (1974)

pecto resume importância para aplicações parceladas do nitrogênio em situações em que sejam necessárias altas doses de N-fertilizante e o potencial de perdas no perfil do solo, principalmente por lixiviação de  $N - NO_3^-$ , seja evidente.

As informações aqui discutidas evidenciam a importância de que, no manejo de fertilizantes em agricultura irrigada, o conhecimento das demandas de nutrientes durante o ciclo das culturas 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 as exigências das culturas em relação à curva de absorção e o potencial de perdas dos nutrientes em função de sua mobilidade no solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E. de; RESENDE, M.; COELHO, A. M.; SANTOS, N. C. dos; PRADO LEITE, C.E. do. Aplicação de fertilizantes nitrogenados via água de irrigação. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1988-1991**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, v.6, p.32-34, 1992.
- BRITO, R. A. L. Irrigação plena e suplementar nos cerrados do Centro-Oeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABID/CIC, 1988. p139-160.
- BELCHER, R. C.; RAGLAND, J. L. Phosphorus absorption by sod-planted corn (*Zea mays* L.) from surface-applied phosphorus. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p. 754-756, 1972.
- BOARETTO, A. E.; CRUZ, A. de P.; LUZ, P.H. de C. **Adubo líquido: produção e uso no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. 100p.
- BULL, L. T. Nutrição Mineral do Milho. In: BULL, L.T.; CANTARELA, H. **Cultura do Milho. Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p63-145.
- CAMPOS, A. X.; TEDESCO, J. M. Eficiência da uréia e do sulfato de amônio na cultura do milho (*Zea mays* L.) **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.15, n.1, p.119-125, 1979.

- COELHO, A. M. Mineralização e nitrificação do nitrogênio em amostras do perfil de um latossolo vermelho-escuro fase cerrado. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1988-1991**. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, v.6, p.216, 1992.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) em um latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.15, n.2, p.187-193, 1991a.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO, A. F. C. Nutrição e adubação do milho forrageiro. In: EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). **Milho para silagem: tecnologias, sistemas e custo de produção**. Sete Lagoas; 1991b. p 29-33. (EMBRAPA/CNPMS. Circular Técnica, 14)
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO, A. F. C. Dinâmica do nitrogênio em um latossolo vermelho-escuro fase cerrado cultivado com milho. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1988-1991**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, v.6, p.215, 1992a.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas: v.16, n.2, p.61-67, 1992b.
- COELHO, A. M.; SILVA, B. G. da. Fontes de nitrogênio na consorciação milho verde e feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15, Maceió, **Anais...** Brasília: EMBRAPA/EPEAL, 1986. p 323-330.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. Adubação potássica em cultivos sucessivos de milho e feijão sob irrigação. Produção de grãos e silagem. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1992-1993**. Sete Lagoas: EMBRAPA/ CNPMS, v.6, p.36-38, 1994.
- COSTA, E. F. da; FRANÇA, G. E. de; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.39, p.63-68, 1986.
- DOWLER, C.C. "Co-chemigation" showing promise". **Solutions**, v.29, n.1, p.36-43, 1985.

- FARIA, C. M. B. de; PEREIRA, J. R. Movimento de fósforo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.12, p.1363-1370, 1993.
- FASSBENDER, H. **Química de Suelos**. Con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica: IICA.1975. 398p.
- GASCHO, G. J.; HOOK, J. E. Development of a nitrogen fertigation program for corn on sand soil. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON CHEMIGATION, 3, Tifton, Ga. **Proceedings...**Tifton, Ga: University of Georgia, 1985. p.42-50
- GROVE, L. T.; RITCHEY, K. D.; NADERMAN JR., G. C. Nitrogen fertilization of maize on oxisol of the cerrado of Brasil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 27, n.2, p.261-265, 1980.
- HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n 30, p. 381-391, 1967.
- HAUCK, R. D. Quantitative estimates of nitrogen-cycle process-concepts and review. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nitrogen-15 in soil-plant studies**. Vienna, 1971. p65-80.
- HERGET,G.W.; REUSS,J.O. Sprinkler application of P and Zn fertilizers. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.5-8, 1976.
- HERNANDEZ ABREU, J. M.; RODRIGO LOPEZ, J.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDEZ, J.F. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. 317p.
- KATYAL. J. C.; SINGH, B.; VLEK, P. L. G.; BURESCH, R. J. Efficient nitrogen use as affected by urea application and irrigation sequence. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.51, p. 366-370, 1987.
- MELLO JR.; COELHO, A. M.; ALBUQUERQUE, P. E. Níveis de água e nitrogênio na movimentação e recuperação do N em latossolo cultivado com trigo. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Miho e Sorgo 1992-1993**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, v.6, p.32-34, 1994.
- MITCHELL, G. A. Fertigation for crop production in the Georgia Coastal Plain.In: NATIONAL SYMPOSIUM ON CHEMIGATION, 2., Tifton, Ga., 1982. **Proceedings...** Tifton, Ga: University of Georgia, 1982. p.11-17.
- MORAGHAN, J. T.; REGO, T. J.; BURESH, R. J. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics.III. Field studies on alfisol. **Plant and Soil**, The Hague, v.82, n.2, p.193-203, 1984a

- MORAGHAN, J. T.; REGO, T. J.; VLEK, P. L. G.; BUFORD, J. R.; SINGH, S.; SAHRAWAT, K. L. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics.II. Field studies on a vertisol. **Plant and Soil**, The Hague, v,80, n.1, p.21-23, 1984b.
- NOVAIS, M. V.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M. Efeito da adubação nitrogenada e de seu parcelamento sobre a cultura do milho em Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n.115, p. 193-202, 1974.
- NEPTUNE, A. M. L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do nitrogênio na produção do milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar utilizando sulfato de amônio -  $^{15}\text{N}$ . **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.34, n.1, p.515-539, 1977.
- OLNESS, A.; BENOIT, G. R. A closer look at corn nutrient demand. **Better Crops with Plant Food**, v.76, n.2, p.18-20, 1992.
- OLSEN, S. R. The role of ammonium nutrition en higher yields. In: GREAT SOIL FERTILITY WORKSHOP. **Proceedings...** Denver, Colorado. 1986 . p-6-15.
- RAUSCHKOLB, R. S.; ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; CARLTON, A. B.; BURAU, R. J. Phosphorus fertilization with drip irrigation. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.40, p.68-71, 1976.
- REM, G. W. Fertigation of corn in the eastern great plains, In: NATIONAL SYMPOSIUM ON CHEMIGATION, 2., Tifton, Ga, 1982. **Proceedings...** Tifton, Ga: University of Georgia, 1982. p.4-10
- REHM, G. W.; WIESSE, R. A. Effect of method of nitrogen application on corn (*Zea mays* L.) grown of irrigated sandy soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.39, p.1217-1220, 1975
- RHOADS, F. M.; MANSELL, R. S.; HAMMOND, L. C. Influence of water and fertilizer management on yield and input efficiency of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, p.305-308, 1978.
- RHOADS, F. M. STANLEY JR., R. L. Fertilizer scheduling, yield and nutrient uptake in irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, p.971-974, 1981.
- ROSOLEM, C. A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (POTAFOS. Boletim Técnico,8).
- TSAI, C. Y.; HUBER, D. M.; GLOVER, D. V.; WARREN, H. L. Relationship of N deposition to grain yield and N response of three maize hybrids. **Crop Science**, Madison, n.24, p.277-281, 1984.

VILELA, L.; SILVA, J. E. da; RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G. de. Potásio. In: GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados**; tecnologias e estratégias de manejo. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1986. p.203-222.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fontes de fertilizantes e fertigação. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS. Piracicaba, 1993. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/CENA, POTAFOS, 1993. p. 233-256.