

## Inovações para uma eficiente fertilização NITROGENADA



*O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para que o milho dê altas produtividades. Porém, seu correto suprimento ainda é um desafio, pois o que é aportado via fertilização está sujeito a diversos tipos de perdas naturais*

***Engenheiros agrônomos Leonardo Bastos, mestrando da Kansas State University (KSU/EUA), leonardombastos@gmail.com, e Telmo Amado, doutor, professor da Universidade de Santa Maria/RS e da KSU, amado@ksu.edu***

O Brasil é responsável por aproximadamente 9,5% do milho produzido mundialmente, superado somente por Estados Unidos e China. A área de cultivo do cereal no País já ultrapassa 16 milhões de hectares, representando importante alternativa de incremento da renda ao produtor a partir do cultivo de safrinha. Para manter-se competitivo no mercado internacional, há a necessidade de aumentar a produtividade, fato que somente será possível com o aprimoramento no manejo da cultura e com a adoção de inovações tecnológicas.

Um dos principais fatores determinantes da produtividade da cultura é o manejo da fertilidade do solo, onde o adequado suprimento de nitrogênio (N) ainda é um desafio na maioria das lavouras. Esse nutriente é demandado em grande quantidade pela cultura, e o solo, fonte natural, tem limitada capacidade de suprimento às plantas. E o aportado via fertilização está sujeito a diversos tipos de perdas, especialmente em clima tropical, resultando frequentemente em plantas com nutrição subótima.

A mineralização da matéria orgânica, a decomposição dos resíduos culturais aportados à superfície do solo e o teor de N mineral presente na camada de enraizamento de milho são as principais fontes no solo. Ainda em uma quantidade pequena, o N é aportado através das chuvas. Essas fontes raramente são suficientes para atender plenamente a demanda da cultura do milho, de modo que a fertilização suplementar faz-se necessária para alcançar produtividades competitivas. Exemplificando, para produzir 150 sacas/hectare, a planta de milho precisa absorver uma quantidade de N próxima a 150 kg/ha.

Para suprir essa elevada demanda de N pelas plantas de milho, fertilizantes industriais são utilizados com o intuito de potencializar a produção de grãos. Os principais fertilizantes nitrogenados utilizados no Brasil são a ureia (46% de N), o sulfato de amônio (21% de N) e o nitrato de amônio (34% de N). A ureia é a fonte mais utilizada, com 60% do mercado. Esse fato está associado à maior concentração do nutriente e ao menor custo por unidade de N, tornando-a, em uma análise superficial, a fonte mais econômica a ser aplicada à cultura. No entanto, o N presente na ureia está sujeito a diversas perdas, que dependendo da sua intensidade afetam a produtividade da cultura e o retorno econômico. Além disso, tais perdas ocasionam importantes impactos ambientais com reflexos na qualidade do ar e da água.

Devido à grande mobilidade do N mineral no solo e à complexidade da ciclagem desse elemento, a eficiência no uso do fertilizante nitrogenado em nível global é baixa, alcançando valores médios de 33%. Isso significa que, a cada 100 kg de N aplicado, as plantas utilizarão diretamente somente 33 kg, e o restante, no melhor cenário,

acaba sendo imobilizado, fato que pode concorrer para o incremento da matéria orgânica ou, no pior cenário, será perdido para o ambiente.

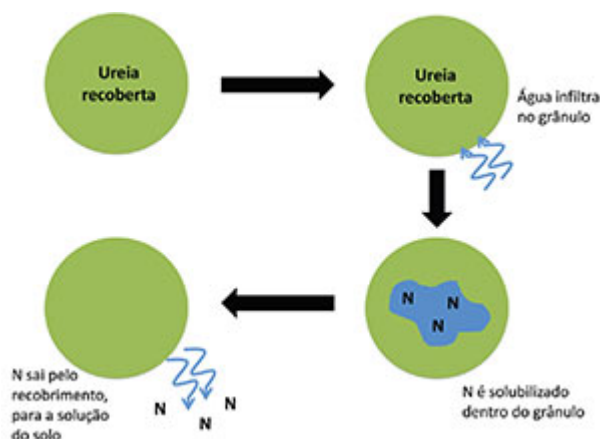
**Busca da eficiência** — A eficiência da fertilização nitrogenada é influenciada por uma complexa interação de fatores, muitos dos quais de difícil controle pelo agricultor. No entanto, a obtenção de elevadas produtividades de milho passa necessariamente pelo grau de acerto na fertilização nitrogenada. As principais causas da tradicional baixa eficiência da fertilização nitrogenada são apresentadas na Figura 1. São elas a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ), a lixiviação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e a desnitrificação.

A volatilização de  $\text{NH}_3$  é de maior importância quando a ureia é aplicada em cobertura, sem incorporação mecânica, especialmente em sistemas que mantenham grandes quantidade de resíduos vegetais na superfície, como as áreas manejadas sob plantio direto, cana recentemente colhida e pastagens. Isso ocorre devido à barreira física formada pelo material vegetal, diminuindo o contato entre fertilizante e solo e, também pela presença da enzima urease, encontrada em grandes quantidades no solo com presença de resíduos vegetais. Essa enzima promove a quebra da ureia, liberando o gás  $\text{NH}_3$  (amônia). Essa molécula gasosa entra em equilíbrio com o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), que é sólido.



*Para produzir 150 sacas de milho por hectare, a planta de milho precisa absorver uma quantidade de nitrogênio de cerca de 150 quilos*

O equilíbrio dessa reação é afetado pelo pH do solo, sendo que a formação de  $\text{NH}_3$  é favorecida sob valores de pH mais elevados. A rápida solubilização da ureia pela enzima urease eleva o pH do solo em torno do fertilizante, potencializando as perdas por volatilização, as quais podem apresentar uma grande amplitude – de 10% a 70% do N aplicado. Sem a opção da incorporação mecânica do fertilizante ao solo em sistemas conservacionistas, a melhor estratégia para reduzir as perdas por volatilização é a aplicação do fertilizante antecedendo um evento de chuva ou de irrigação. Dessa forma, os grânulos de ureia serão mais facilmente incorporados ao solo e as perdas por volatilização serão reduzidas.



Outra alternativa é o uso de ureias recobertas e inibidores de urease. A ureia recoberta possui uma capa protetora ao redor dos grânulos do fertilizante. Esta capa pode ser fabricada de diferentes materiais, sendo os mais comuns à base de enxofre e polímeros. A velocidade de liberação de N é afetada pela permeabilidade do material usado no recobrimento e da qualidade do processo de recobrimento (Figura 1). Dessa forma, o N da uréia será disponibilizado às plantas de forma mais gradual, evitando picos de formação de  $\text{NH}_3$  e, conseqüentemente, diminuindo as chances de perda. Inibidores de urease, como o tiofosfato de N-(n- butil) triamida (NBPT) são aditivos que acompanham o fertilizante e tem a função de inibir a rápida solubilização do grânulo de ureia causada pela enzima urease, prevenindo a elevada concentração de  $\text{NH}_4^+$  e elevados valores de pH, desse modo diminuindo a volatilização de  $\text{NH}_3$ .

Da mesma forma que o recobrimento, os inibidores de ureia têm a função de diminuir a rápida taxa de formação de  $\text{NH}_3$ . Assim, tem-se uma janela mais prolongada (aproximadamente dez dias) para que ocorra um evento de chuva ou de irrigação que incorpore o fertilizante, antes que as perdas por volatilização sejam intensificadas. Recentes trabalhos de pesquisa reportaram que o uso de NBPT tem reduzido a volatilização de  $\text{NH}_3$  em até 60% quando comparados com a ureia não tratada, promovendo menor impacto ambiental e melhor eficiência no uso do fertilizante e aumento da produtividade de grãos.

A lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  - é uma forma de perda que pode alcançar valores elevados em solos de textura arenosa sujeitos a precipitações de elevado volume. Essa perda pode representar de 10% a 50% do N aplicado, em casos extremos. Quando a ureia é aplicada ao solo, a  $\text{NH}_3$ , liberada poderá ser volatilizada, ou transformada em  $\text{NH}_4^+$ . Uma vez na forma de  $\text{NH}_4^+$ , essa molécula de N será transformada em  $\text{NO}_3^-$ , pelo processo biológico denominado nitrificação. Ambos,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , são as formas pelas quais as plantas absorvem o nutriente.

### **Figura 1: Esquema da liberação do N a partir de ureia recoberta com polímero (Adaptado de Blaylock, 2010)**

**Para evitar lixiviação e desnitrificação** — No entanto, uma vez que o N encontra-se na forma de  $\text{NO}_3^-$ , ele estará sujeito a duas importantes formas de perda: lixiviação e desnitrificação (Figura 2). Lixiviação é o processo no qual as moléculas de  $\text{NO}_3^-$ , por possuírem carga negativa, são repelidas pelas cargas negativas da superfície dos argilominerais do solo, ficando na solução do solo onde estão sujeitas ao transporte pela água de drenagem para camadas mais profundas do solo, posicionando- se longe das raízes das culturas e, não raras vezes, causando a contaminação do lençol freático.

Estratégias de manejo para minimizar esse tipo de perda são evitar o uso de fertilizantes que possuam elevada concentração na forma nítrica, parcelar a aplicação de N em cobertura de modo a proporcionar o ajuste entre a demanda das plantas e a oferta do nutriente, e o uso de inibidores de nitrificação. Os inibidores, como o dicianodiamida (DCD), são aditivos aplicados junto ao fertilizante, que tem a função de bloquear a transformação do  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$ . Se o N permanecer na forma de  $\text{NH}_4^+$ , as chances de perda por lixiviação e desnitrificação são drasticamente reduzidas. Outra alternativa de redução das perdas é utilizar fontes que combinem a forma amoniacal com a nítrica.

### **Figura 2: Ciclo do nitrogênio e principais perdas em solos agrícolas**

A desnitrificação é o produto de um conjunto de reações biológicas responsáveis por transformar o  $\text{NO}_3^-$  em formas gasosas, as quais são facilmente perdidas para o ambiente. Esse tipo de perda de N ocorre, principalmente, em condições de elevada umidade do solo. Entre os produtos da desnitrificação estão o óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e o gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ). Enquanto que o  $\text{N}_2$  é inerte e não causa impacto ambiental considerável, o  $\text{N}_2\text{O}$  é um gás de efeito estufa aproximadamente 300 vezes mais potente que o  $\text{CO}_2$ . Além disso, o  $\text{N}_2\text{O}$  participa da degradação da camada de ozônio. O  $\text{N}_2\text{O}$  também é gerado durante o processo de nitrificação, mas acredita-se que a desnitrificação seja a principal origem desse composto sob condições de solo úmido e/ou alagado. Além da umidade do solo, ambos os processos são também influenciados pela temperatura, pH e carbono disponível aos microrganismos.

Os solos agrícolas são a principal fonte de N<sub>2</sub>O, sendo que mundialmente estima-se que a agricultura é responsável por aproximadamente 60% das emissões. No Brasil, estima-se que a contribuição da agricultura às emissões de N<sub>2</sub>O possa alcançar um valor superior a 90%. Entre as práticas agrícolas que mais influenciam a emissão de N<sub>2</sub>O destacam-se a fertilização nitrogenada e o manejo do solo. Essa perda é de maior relevância em solos de textura argilosa com baixa capacidade de infiltração e com alagamento temporário. Perdas de N<sub>2</sub>O por solos agrícolas são geralmente da ordem de 1% a 5%, podendo chegar próximo aos 20% do N aplicado em casos extremos.

**Inibidores** — Da mesma forma que para a lixiviação, o uso de inibidores de nitrificação auxiliam no manejo dessa perda, pois mantêm N na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> por um período mais prolongado. Em trabalhos conduzidos fora do Brasil, em solos planos e com drenagem deficiente, foi reportado que, por meio da utilização de fertilizantes com inibidores de nitrificação, foi possível aumentar a produtividade do milho em 11%, devido à obtenção de eficiência aparente de recuperação do N na ordem de 49% em comparação aos 35% da fonte tradicional. O uso de ambos os inibidores, de urease e de nitrificação, também é uma alternativa de manejo da fertilização nitrogenada. Enquanto que o inibidor de urease promove redução de volatilização de NH<sub>3</sub>, o inibidor de nitrificação mantém o N no solo na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, evitando perdas de lixiviação e desnitrificação associadas ao elevado teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

No entanto, a eficiência dessa prática necessita ser comprovada pela pesquisa, uma vez que os resultados obtidos até o momento são contraditórios. Em alguns trabalhos, foi observado que, quando ambos os inibidores foram utilizados, perdas por volatilização foram maiores quando comparadas ao uso do inibidor de urease de forma isolada. Acredita-se que, devido ao maior acúmulo de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> recorrente da inibição da nitrificação, tenha existido maior potencial para a perda por volatilização. Em contrapartida, outros estudos não encontraram diferenças quanto às perdas de N quando ambos os inibidores foram usados, se comparados com o uso de inibidor de urease isoladamente.

No Brasil, o milho vem apresentando, especialmente nas lavouras tecnificadas, importante incremento de produtividade, que requer maiores aportes de fertilizantes nitrogenados. Nesse contexto, estratégias de manejo que venham a diminuir as perdas de nitrogênio e proporcionem aumento da eficiência agrônômica da fertilização são uma prioridade. A indústria de fertilizantes vem ofertando produtos de melhor qualidade física e contendo inovações tecnológicas que têm despertado o interesse dos produtores. Embora exista uma carência de informação sobre esses novos produtos nas condições brasileiras do solo, clima e manejo, os produtores nacionais têm que ficar atentos às novas opções do mercado. O desafio é a implementação de um manejo da fertilização nitrogenada que aumente a eficiência agrônômica, reduza os impactos ambientais e, portanto, concilie elevadas produtividades de milho com a preservação ambiental.



*A ureia é a fonte de nitrogênio mais utilizada, com 60% do mercado, visto a maior concentração do nutriente e ao menor custo por unidade de N*