

DESEMPENHO DE CULTIVARES DE MILHO QUANTO À EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO

RAFAEL PELLOSO DE CARVALHO¹, RENZO GARCIA VON PINHO² e
LIVIA MARIA CHAMMA DAVIDE¹

¹Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil, pellosodecarvalho@yahoo.com.br; liviadavide@ufgd.edu.br

²Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil, renzo@dag.ufla.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.10, n.2, p. 108-120, 2011

RESUMO - O nitrogênio (N) é o nutriente que mais interfere na produtividade do milho. O desenvolvimento de cultivares eficientes no uso de N é uma estratégia eficaz para reduzir custos de produção e minimizar a dependência de insumos agrícolas. Os objetivos deste trabalho foram avaliar cultivares de milho quanto à eficiência de absorção e uso de N, em níveis contrastantes desse nutriente. O experimento foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, Brasil, no ano agrícola 2006/07. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 20 tratamentos e três repetições, dispostos em um esquema fatorial com 10 cultivares e duas doses de N. Foram avaliados a produtividade de grãos, massa seca e teores de N nos grãos e na parte aérea. Também foram estimados os índices de eficiência nutricional das cultivares. As cultivares de milho apresentaram desempenhos distintos quanto à eficiência no uso e absorção de nitrogênio. Os níveis contrastantes de nitrogênio permitiram que ocorressem as diferenças necessárias, entre as características estudadas, para a seleção das cultivares mais eficientes. Os híbridos GNZ 2004 e P 30F53 destacaram-se por apresentarem os melhores desempenhos para os parâmetros de eficiência utilizados.

Palavras-chave: eficiência nutricional, índices de eficiência, produtividade de grãos, *Zea mays* L.

PERFORMANCE OF MAIZE CULTIVARS REGARDING NITROGEN USE EFFICIENCY

ABSTRACT - Nitrogen (N) is the nutrient that most interferes with maize productivity. The development of cultivars efficient in N use is an effective strategy to reduce production costs and minimize the dependence on agricultural inputs. The aim of this work was to evaluate maize cultivars as to their efficiency in absorbing and using N under contrasting levels of this nutrient. The experiment was conducted in the experimental area of the Federal University of Lavras (UFLA), in Lavras, MG, Brazil, in the agricultural year 2006/07. The experimental design was randomized blocks, with 20 treatments and three replicates, in a 10 x 2 factorial arrangement consisting of 10 cultivars and two N doses. The characteristics evaluated were grain yield, dry matter weight and N content in grains and shoot. The nutritional efficiency indices of the cultivars were also evaluated. The maize cultivars presented different behavior concerning most of the adopted nutritional efficiency indices. Contrasting nitrogen levels allowed the occurrence of differences among the studied characteristics, which were necessary for the selection of the most efficient cultivars. The hybrids GNZ 2004 and P 30F53 stood out for presenting the best performances for the efficiency parameters used.

Key words: nutritional efficiency, efficiency indices, grain productivity, *Zea mays* L.

Visando atender a crescente demanda mundial de alimentos e desenvolver soluções tecnológicas que levem à redução do risco associado à atividade agrícola, tem-se buscado maior eficiência na absorção e utilização do nitrogênio (N) por cultivares de milho, em solos tropicais.

Os desperdícios e a escassez do nitrogênio, que é o elemento mineral mais exigido pela maioria das culturas, podem gerar problemas econômicos, ambientais, de saúde pública e de segurança alimentar. Dessa forma, a seleção de cultivares que possuem a capacidade de absorver e utilizar nitrogênio de modo eficiente é uma estratégia que pode ser utilizada para melhor aproveitar o nitrogênio na cultura do milho, incrementar a produção, reduzir os custos com insumos e o efeito no meio ambiente.

Várias estratégias podem ser tomadas com esse intuito. Uma das mais simples é a redução das doses de adubos para níveis que sejam produtivos e seguros. Essa estratégia pode ser conciliada com algumas práticas de manejo, como a utilização de leguminosas em rotação com o milho; a fixação biológica de N em gramíneas e a agricultura de precisão (Santos et al., 1998).

Outra alternativa é a seleção e/ou o desenvolvimento de cultivares com maior eficiência no uso de nitrogênio. O comportamento diferencial de genótipos, durante a mudança de níveis de nitrogênio disponível às plantas, indica diferentes mecanismos relacionados à eficiência no uso de nitrogênio (Machado, 2003).

A eficiência é definida como a capacidade de determinado genótipo em adquirir o nutriente para incorporá-lo e utilizá-lo na produção de biomassa ou material vegetal de rendimento econômico, como os grãos, no caso específico dos cereais. Os critérios ou definições de eficiência são vários e, geralmente,

dividem-se entre os que enfatizam a produtividade e aqueles que enfatizam o requerimento interno do nutriente na planta, dependentes das características morfológicas, bioquímicas e fisiológicas dos vegetais (Blair, 1993).

Siddiqi & Glass (1981) e Moll et al. (1982) desenvolveram o uso de diferentes índices que permitem avaliar isoladamente os processos de absorção, distribuição e utilização do nutriente, para produção de matéria seca de grãos. Essa metodologia tem sido frequentemente utilizada para seleção e classificação de genótipos eficientes e responsivos quanto ao uso de nitrogênio (Fageria, 1998).

Atualmente, a existência de uma grande variedade de cultivares de milho comerciais oferecidas aos agricultores sugere uma possível variabilidade na eficiência quanto à utilização de nitrogênio por essas cultivares. As informações a respeito dessa eficiência poderia contribuir para uma adequada decisão a respeito de qual cultivar a ser utilizada e o nível de nutrientes a serem disponibilizados, para obter a produtividade máxima econômica.

Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram avaliar dez cultivares comerciais de milho quanto à eficiência no uso de nitrogênio, em ambientes com alta e baixa dose desse nutriente, verificar a relação entre os teores de nitrogênio em partes da planta de milho e sua produtividade e diferenciar grupos de cultivares formadas por híbridos simples, triplos, duplos e uma variedade, quanto a sua eficiência no uso de nitrogênio.

Material e Métodos

O experimento foi instalado sob o sistema plantio direto, na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras

(UFLA), no município de Lavras, MG, Brasil, cujas coordenadas geográficas são 44°57'50''W e 21°13'40''S, com 918 metros de altitude. De acordo com registros da Estação Climatológica Principal de Lavras (Figura 1), localizada a 80 metros da área experimental, a precipitação média anual é de aproximadamente 1.530 mm, a temperatura média anual em torno de 19,4 °C e a umidade relativa média de 76%.

A área experimental foi classificada originalmente como Latossolo Vermelho Distroférrico Típico - LVdf (Sistema..., 1999). Foi realizada amostragem de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade e as amostras foram submetidas às análises químicas e físicas do solo. O resultado das análises granulométricas permitiu classificar o solo como muito argiloso, contendo, em g.kg⁻¹ 190, 190 e 620 para areia, silte e argila, respectivamente. A análise química de solo revelou as seguintes

características: pH (água) = 5,6; P e K (mg.dm⁻³) = 10,0 e 6,2; Al, Ca, Mg e H + Al (cmol_c.dm⁻³) = 0,0; 2,2; 0,5 e 3,6; MO (dag.kg⁻¹) = 2,6.

A área foi cultivada com milho por várias safras, sob o sistema convencional de cultivo, e encontrava-se em pousio desde a colheita da safra anterior, coberta com espécies daninhas, que foram dessecadas para posterior plantio direto na palha.

Foram escolhidas 10 cultivares de milho contrastantes quanto à resposta ao nível de nitrogênio utilizado e quanto à produção de grãos (Tabela 1). O experimento foi instalado em blocos casualizados, com 20 tratamentos e três repetições, dispostos em um esquema fatorial 10 x 2, sendo dez cultivares e duas doses de nitrogênio (40 e 160 kg.ha⁻¹). Cada parcela constou de quatro linhas, espaçadas 0,8 m, com cinco metros de comprimento. As duas linhas centrais foram consideradas úteis, para efeito de coleta de dados.

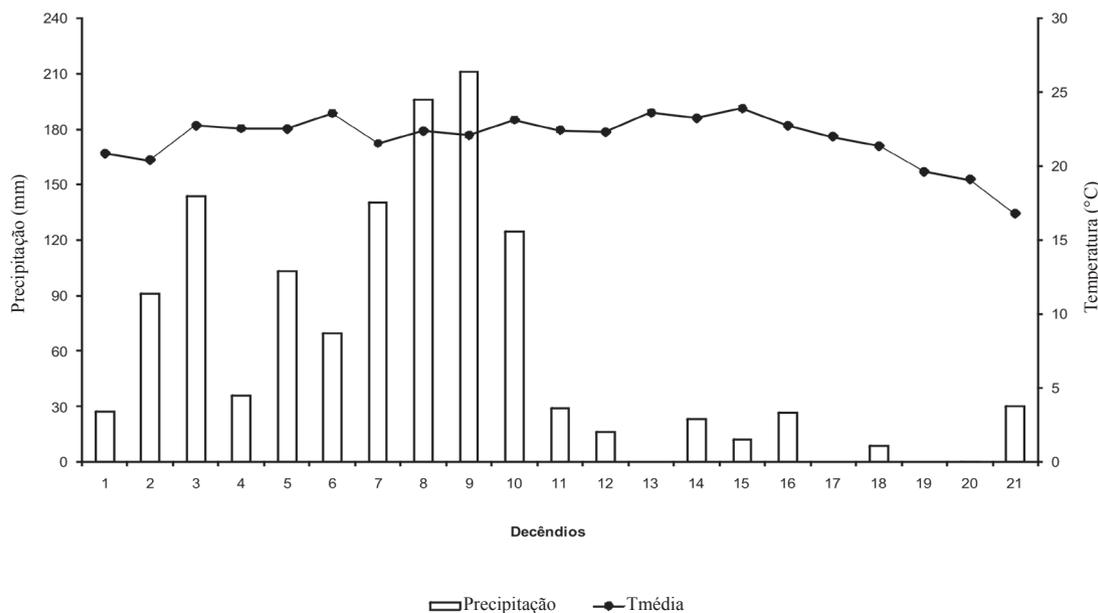


FIGURA 1. Dados médios de temperatura e precipitação pluviométrica, por decêndio, no período de 01/09/2006 a 10/04/2008, obtidos na Estação Climatológica Principal de Lavras, UFLA.

TABELA 1. Cultivares de milho utilizadas para avaliação da eficiência de absorção e uso do nitrogênio.

| Material Genético | Empresa | Tipo de obtenção |
|-------------------|-----------|------------------|
| P 30F53 | Pioneer | Híbrido Simples |
| GNZ 2004 | Geneze | Híbrido Simples |
| DKB 390 | Dekalb | Híbrido Simples |
| AG 5020 | Agroceres | Híbrido Triplo |
| DKB 566 | Dekalb | Híbrido Triplo |
| P 30S40 | Pioneer | Híbrido Triplo |
| DKB 798 | Dekalb | Híbrido Duplo |
| BM 2202 | Biomatrix | Híbrido Duplo |
| DKB 747 | Dekalb | Híbrido Duplo |
| AL 25 | CATI | Variedade |

Na preparação da área experimental, foi realizada uma dessecação com o herbicida glifosato, na dose de 3,5 L.ha⁻¹ do produto comercial Roundap Transorb. Após a secagem e a morte completa das plantas, realizou-se o sulcamento e adubação das linhas de semeadura. O controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho, evitando-se a interferência desses fatores nos resultados obtidos.

A semeadura foi realizada no dia 25 de novembro de 2006. A densidade populacional foi definida em 62.500 plantas por hectare, deixando-se duas sementes por cova a cada 0,2 m e desbastando-se para uma planta, duas a três semanas após a emergência.

Nas parcelas submetidas a alta dose de nitrogênio, foram aplicados 160 kg de N por hectare, e nas de baixa dose, 40 kg de N por hectare. A adubação de semeadura foi realizada por meio de semeadora de plantio direto, na dose de 500 kg por hectare do adubo formulado 08-28-16, adicionado FTE. A adubação nitrogenada para baixa dose de N (40 Kg.ha⁻¹) foi aplicada em dose única, no sulco de plantio. A adubação com alta dose de N (160 kg.ha⁻¹) foi parcelada em três vezes, sendo a primeira no sulco

de plantio, onde foram aplicados 40 kg de N por hectare, e o restante foi dividido em duas coberturas de 60 kg de N por hectare, aplicados nos estádios V3 (20/12/2006) e V6 (11/01/2007). A fonte de N utilizada para a adubação em cobertura foi a uréia (45%), distribuída a lanço de maneira manual, em solo com umidade próxima à capacidade de campo e, imediatamente após a aplicação, foi recoberta com solo, usando-se enxada manual.

A parte aérea de quatro plantas competitivas por parcela foi colhida cortando-se o colmo na região do colo, após o estágio de maturidade fisiológica, e separadas em duas partes: 1) grãos; 2) parte aérea da planta inteira, incluindo sabugo e palha da espiga. Determinou-se o peso de massa verde de planta inteira e o peso e a umidade dos grãos, calculando-se a massa de grãos corrigida para 13% de umidade, em base úmida. Na sequência, esses materiais foram colocados em estufa com circulação forçada de ar a 75 °C, até atingir massa constante e pesados em balança (precisão de 0,01g), para obtenção da massa de matéria seca (Machado, 2003). Após aferição da matéria seca da parte aérea total das plantas, estas foram trituradas em um picador e homogeneizadas para retirada de subamostras. Na sequência, os grãos e as subamostras trituradas

da planta inteira foram moídos e submetidos às análises laboratoriais, para determinação do teor total de nitrogênio nos grãos e da parte aérea das plantas, utilizando o método estabelecido por Kjeldahl, descrito em Mello (1977).

Os valores de acúmulo de N foram obtidos por meio do produto entre o teor de N na planta e a produção de massa seca (MS). Com os dados de matéria seca e acúmulo de N, foram calculados os seguintes índices, conforme Fageria (1998):

Eficiência agrônômica (EA): produção econômica obtida (grãos, no caso de culturas anuais) por unidade de nutriente aplicado. A eficiência agrônômica pode ser calculada pela seguinte equação:

$$EA = \frac{Y_f - Y_0}{Q_f} \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)}$$

em que: Y_f é a produção, em kg, com adubação; Y_0 é a produção, em kg, sem adubação; Q_f é a quantidade de nutriente aplicado, em kg.

Eficiência fisiológica (EF): é a produção biológica obtida (grãos + palha, em culturas anuais) por unidade de nutriente acumulado, podendo ser calculada pelo estimador:

$$EF = \frac{Y_f - Y_0}{N_{abf} - N_{ab0}} \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)}$$

em que: Y_f é a produção total de matéria seca, em kg, com adubação; Y_0 é a produção total de matéria seca, em kg, sem adubação; N_{abf} é o acúmulo de nutriente com adubação, em kg; N_{ab0} é o acúmulo de nutriente sem adubação, em kg.

Eficiência na produção de grãos (IG): é a produção de grãos obtida por unidade de nutriente acumulado e pode ser calculada pela seguinte equação:

$$IG = \frac{Y_f - Y_0}{QN_f - QN_0} \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)}$$

em que: Y_f é a produção de grãos, em kg, com adubação; Y_0 é a produção de grãos, em kg, sem adubação; QN_f é a acumulação de nutriente na parte aérea e nos grãos, em kg, com adubação; QN_0 é a acumulação de nutriente na parte aérea e nos grãos em kg, sem adubação.

Eficiência de recuperação do nitrogênio aplicado (RAN): é a quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado, podendo ser calculada através da equação:

$$RAN = \frac{QN_f - N_0}{Q_f} \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)}$$

sendo que: QN_f é a acumulação de nutriente, em kg, com adubação; N_0 é a acumulação de nutriente, em kg, sem adubação; Q_f é a quantidade do nutriente aplicado, em kg.

A eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) foi calculada por meio da seguinte equação:

$$EUN = EF \times RAN \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)}$$

Os resultados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Produtividade de grãos e do peso de matéria seca da parte aérea

Verificaram-se, pelo teste de F, diferenças significativas para as variáveis doses e cultivares para os fatores produtividade de grãos e do peso

TABELA 2. Valores médios da produtividade de grãos (PG) e da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) de cultivares de milho, analisadas nas doses de 40 e 160 kg.ha⁻¹ de nitrogênio.

| Cultivares ¹ | PG (kg.ha ⁻¹) | | Massa de MSPA (kg.ha ⁻¹) | | |
|-------------------------|---------------------------|---------|--------------------------------------|---------|---------|
| | 40 | 160 | 40 | 160 | Média |
| P 30F53 | 4822B | 9744 B | 15775 | 17706 | 16740 A |
| GNZ 2004 | 4895 B | 10786 A | 18195 | 18167 | 18181 A |
| DKB 390 | 6718 A | 10526 A | 17950 | 20989 | 19469 A |
| AG 5020 | 5317 B | 8093 D | 16850 | 19513 | 18181 A |
| DKB 566 | 6770 A | 8703 C | 16975 | 19890 | 18432 A |
| P 30S40 | 6572 A | 8744 C | 15775 | 19127 | 17413 A |
| DKB 789 | 6161 A | 9864 B | 17175 | 20256 | 18715 A |
| BM 2202 | 5661 B | 8802 C | 13925 | 16387 | 15156 B |
| DKB 747 | 5177 B | 7500 D | 12240 | 13909 | 13074 B |
| AL 25 | 6713 A | 8375 C | 18800 | 21363 | 20081 A |
| Média | 5881 b | 9114 a | 16366 b | 18730 a | - |

| FV | Quadrados Médios | |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| | PG (kg.ha ⁻¹) | MSPA (kg.ha ⁻¹) |
| Cultivar (C) | 2547432,36* | 26308976,35** |
| Dose (D) | 156765778,13** | 84439742,61** |
| C x D | 2799878,66* | 1489299,30 |
| CV (%) | 7,36 | 11,78 |

¹Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Scott-Knott. * e ** significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F.

de matéria seca da parte aérea (Tabela 2). Como previsto, as maiores produtividades foram alcançadas na maior dose de N, independente do tipo de material avaliado (híbrido simples, triplo, duplo ou variedade) corroborando Fidelis et al. (2007).

Também foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para a interação cultivares x doses de N (Tabela 2). Comportamento semelhante foi observado por Fidelis et al. (2007) e Medici (2003), indicando existir uma dependência entre os efeitos dos fatores cultivares e doses. Para Carvalho et al. (2011), essa interação será sempre esperada, quando se trabalha com grupos de cultivares com alta variabilidade genética, havendo diferença entre os mesmos para diversas características morfofisiológicas. Marriel et al. (2000) sugeriram que

características morfológicas de raiz poderiam ser uma das principais causas da interação genótipos x doses de adubação nitrogenada.

No ambiente com baixa dose de nitrogênio (40 kg.ha⁻¹), a produtividade de grãos das cultivares BM 2202, AG 5020, DKB 747, GNZ 2004 e P 30F53 não diferiram estatisticamente entre si e foram inferiores a produtividade das cultivares DKB 566, DKB 390, AL 25, P 30S40 e DKB 798 (Tabela 2). Já no ambiente onde foi aplicada alta dose de N (160 kg.ha⁻¹), as cultivares P 30F53, DKB 789, DKB 390 e GNZ 2004 não diferem entre si e foram superiores às cultivares DKB 747, AG 5020, AL 25, DKB 566, P 30S40 e BM 2202.

A diferença média entre a produtividade de MS da parte aérea na menor dose e a obtida com

a maior dose de N foi de 2.365 kg, ou seja, 12,6% (Tabela 2). Essa diferença foi ainda mais expressiva quando se considerou a variável produtividade de grãos, alcançando uma diferença de 3.232,81 kg ou 35%. Gomes et al. (2007) encontraram resultados semelhantes para diferenças de produtividade de MS de plantas de milho, quando expostas a alta e baixa doses de N e associaram o aumento da produtividade com o maior tempo de duração de crescimento vegetativo das plantas, quando expostas a condição de alta dose de N.

Merece destaque a variedade AL 25, a qual apresentou, em baixo nível de N, produtividade igual ou superior aos híbridos comerciais avaliados, evidenciando boa adaptação às condições oferecidas. Quando exposta a alta dose de N, a resposta dessa variedade foi semelhante à dos híbridos que apresentaram menor produtividade (Tabela 2).

De acordo com Ribeiro et al. (2000), a menor produtividade de grãos das cultivares de polinização aberta em relação aos híbridos é esperada, haja vista que uma variedade de polinização aberta é composta por uma infinidade de genótipos com diferentes potenciais produtivos. Por outro lado, os híbridos, sejam simples, triplos ou duplos, são teoricamente as melhores combinações híbridas específicas que podem ser obtidas dentro de uma ou mais variedades.

Carvalho et al. (2001), relataram que variedades melhoradas e não melhoradas de milho, embora tenham produzido cerca de 21,4% menos que os híbridos, apresentaram bons rendimentos de grãos e, por isso, têm importância fundamental nos sistemas de produção dos pequenos e médios produtores rurais.

Os híbridos DKB 747 e AG 5020 classificaram-se entre as menores produtividades, nos dois ambientes avaliados, indicando limitações quanto ao potencial produtivo. Em contrapartida, o

híbrido simples DKB 390 e o híbrido duplo DKB 789 apresentaram bons índices de produtividade tanto em alta como em baixa dose de N (Tabela 2).

Vale destacar o resultado apresentado pelo híbrido GNZ 2004, que obteve a maior produtividade entre as cultivares, em alto nível de N, porém quando exposto à menor dose, foi um dos que apresentaram menor produtividade de grãos (Tabela 2). Isso indica uma menor adaptação desse híbrido às condições de estresse de N.

Os valores de produtividade obtidos na dose de 160 kg.ha⁻¹ confirmam a observação de Cantarella (1993), de que, em várias partes do mundo, a recomendação de 150 a 250 kg.ha⁻¹ é para lavouras de milho de alta produtividade, ou seja, maior do que 9.000 kg.ha⁻¹. Vanotti & Bundy (1994), em um estudo de 24 anos, determinaram que a dose econômica variou de 168 kg.ha⁻¹ de N, em anos de alta produtividade, a 176 kg.ha⁻¹ de N, em anos de baixa produtividade.

Para o fator matéria seca da parte aérea, as cultivares DKB 747 e BM 2202 foram inferiores às demais e não diferiram estatisticamente entre si. A variedade AL 25 apresentou a maior média de matéria seca de parte aérea, alcançando valor médio superior a 20 mil kg por hectare.

A média da MS na parte aérea, na dose de 160 kg.ha⁻¹, foi superior a dose de 40 kg.ha⁻¹, confirmando que o uso de doses crescentes de N pode ser um fator primordial para alcançar altas produtividades.

Teor de nitrogênio na matéria seca da parte aérea e nos grãos

As doses de N utilizadas tiveram efeito nos teores de N na parte aérea e nos grãos (Tabela 3). Os menores valores foram observados no tratamento 40 kg.ha⁻¹ de N.

TABELA 3. Valores médios do teor de nitrogênio na matéria seca da parte aérea (NPA) e na matéria seca dos grãos (NG), em cultivares de milho submetidas as doses de 40 e 160 kg.ha⁻¹ de nitrogênio.

| Cultivares ¹ | NPA (g.kg ⁻¹) | | | NG (g.kg ⁻¹) | | |
|-------------------------|------------------------------|--------|--------|------------------------------|---------|---------|
| | Doses (kg.ha ⁻¹) | | Média | Doses (kg.ha ⁻¹) | | Média |
| | 40 | 160 | | 40 | 160 | |
| P 30F53 | 4,33 | 5,33 | 4,83 A | 13,00 | 16,33 | 14,67 A |
| GNZ 2004 | 4,33 | 6,33 | 5,33 A | 11,33 | 13,67 | 12,50 B |
| DKB 390 | 4,67 | 5,67 | 5,17 A | 12,33 | 15,00 | 13,67 B |
| AG 5020 | 5,33 | 6,67 | 6,00 A | 13,00 | 14,67 | 13,84 B |
| DKB 566 | 4,67 | 7,00 | 5,84 A | 12,67 | 14,00 | 13,34 B |
| P 30S40 | 5,67 | 6,33 | 6,00 A | 12,67 | 14,67 | 13,67 B |
| DKB 789 | 4,67 | 6,00 | 5,34 A | 12,67 | 13,67 | 13,17 B |
| BM 2202 | 4,33 | 6,00 | 5,17 A | 12,67 | 16,67 | 14,67A |
| DKB 747 | 4,67 | 5,67 | 5,17 A | 12,67 | 14,00 | 13,34 A |
| AL 25 | 5,33 | 5,67 | 5,50 A | 12,67 | 15,00 | 13,84 A |
| Média | 4,80 b | 6,07 a | - | 12,67 b | 14,77 a | - |
| FV | Quadrados Médios | | | | | |
| | NPA (g.kg ⁻¹) | | | NG (g.kg ⁻¹) | | |
| Cultivar (C) | 0,93 | | | 54,15* | | |
| Dose (D) | 24,07* | | | 2,15* | | |
| C x D | 0,55 | | | 1,12 | | |
| CV (%) | 15,88 | | | 7,77 | | |

¹Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Scott-Knott. *significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

O valor médio de N acumulado pelas plantas (parte aérea + grãos) foi de 154,21 kg.ha⁻¹ e 248,3 kg.ha⁻¹, para as doses de 40 kg.ha⁻¹ e 160 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 4). A produção média de MS de planta inteira e de grãos e os seus respectivos teores médios de N acumulados permite inferir que, para a produção de uma tonelada de MS de planta inteira, foram acumulados 6,93 kg de N, para a menor dose, e 8,91 kg de N, para a maior dose. Resultados semelhantes foram encontrados por Coelho & França (1995).

A quantidade total de N acumulado pelos grãos variou de 78,65 a 134,61 kg.ha⁻¹, para as doses de 40 kg.ha⁻¹ e 160 kg.ha⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Considerando a quantidade total de N extraído

(grãos e parte aérea), para a produção de uma tonelada de grãos, os valores obtidos estiveram entre 26,2 kg.t⁻¹, para a menor dose, e 27,2 kg.t⁻¹, para a maior dose de N. Esses valores estão próximos aos 24,2 kg de N citados por Aita et al. (1994). Esses resultados são importantes para a estimativa de N exportado de lavouras de milho destinadas à silagem de planta inteira ou apenas para colheita dos grãos.

Levando-se em conta que a eficiência no uso do fertilizante nitrogenado é de 39 a 62%, para áreas sob monocultura (Gentry et al., 2001), e que os valores totais de N acumulados na MS de plantas inteiras (parte aérea + grãos) por hectare foram superiores às quantidades totais de N por hectare fornecidas no solo via adubação, para as duas doses

TABELA 4. Valores médios da produtividade da matéria seca, teor de nitrogênio e acúmulo de nitrogênio na matéria seca da parte aérea (MSPA) e dos grãos (MSG), nas doses de 40 e 160 kg.ha⁻¹ de nitrogênio¹.

| Doses de N (kg.ha ⁻¹) ¹ | Produção média (kg.ha ⁻¹) | | Teor médio de N (g.kg ⁻¹) | | N acumulado (kg.ha ⁻¹) | | |
|--|---------------------------------------|---------|---------------------------------------|-------|------------------------------------|--------|--------|
| | MSPA | MSG | MSPA | MSG | MSPA | MSG | TOTAL |
| 40 | 15899,5 | 5881,25 | 4,80 | 12,87 | 76,31 | 75,69 | 152,0 |
| 160 | 18045,67 | 9114,06 | 6,07 | 14,77 | 109,53 | 134,61 | 244,14 |

utilizadas (Tabela 4), fica evidente a contribuição do fornecimento natural de N pelo solo.

Não houve diferença significativa entre as cultivares avaliadas para o teor de N na MS da parte aérea da planta (Tabela 3). Da mesma forma, Majerowicz et al. (2002) também não observaram diferenças estatísticas entre cultivares, ao estudarem a atividade da redutase do nitrato em partes vegetativas de milho cultivado em ambientes contrastantes de nitrogênio.

Já para o teor de N nos grãos (NG), foi verificada diferença significativa entre as cultivares. As cultivares AG 5020, DKB 390, P 30S40, DKB 566, DKB 789 e GNZ 2004 apresentaram teores médios de nitrogênio nos grãos semelhantes entre si e superiores às outras cultivares testadas, as quais apresentaram os mesmos teores médios de N nos grãos.

Associando os teores de N acumulados nas partes vegetativas e nos grãos em relação à produção de MS da parte aérea e dos grãos, por meio do coeficiente de correlação (r), foi verificado que não ocorreu nenhuma correlação entre o teor de N versus a produção. Os valores de r acusados pelos testes realizados situaram-se entre -0,04 e 0,21, indicando fraca correlação ao nível de 0,05% de significância. Assim, por exemplo, a cultivar que obteve os maiores teores de N, tanto nos grãos como na parte vegetativa, não foi aquela que apresentou os maiores valores de produtividade de grãos e MS da parte

aérea, independentemente da dose de N utilizada. Um exemplo disso são os híbridos DKB 747 e BM 2202, os quais se classificaram entre os híbridos com maior teor médio de N nos grãos, mas apresentaram baixas produtividades de grãos tanto em alto como em baixo nível de N (Tabelas 2 e 3).

Uma possível explicação para a não correlação existente entre esses resultados seria a existência de vários processos complexos envolvidos no uso de nitrogênio, tais como: absorção, assimilação e retranslocação do N dentro da planta de milho, os quais não permitiram que ocorresse uma relação direta entre os teores de nitrogênios acumulados nos grãos e na parte aérea do milho e a sua produtividade.

Em contrapartida, Duvick (1997) encontrou correlações negativas entre a produtividade de grãos e o baixo teor de N nos grãos e demonstrou, ainda, que os incrementos apresentados para a produtividade de grãos e do teor de amido, em híbridos americanos, foram acompanhados por declínio no teor de proteína nos grãos.

O reduzido teor de N nos grãos tem sido algumas vezes associado com maiores produtividades de grãos sob deficiência de N (Medice, 2003), embora seja possível encontrar informações contrastantes sobre esse assunto. Por exemplo, os trabalhos de Latiffe et al. (1994) e Machado (1997) indicaram que o elevado teor de N nos grãos foi importante para a produtividade do milho, em solos pobres em N.

Índices de Eficiência

Os índices de eficiência das variedades de milho foram calculados com o intuito de identificar a contribuição relativa dos vários processos de aquisição e distribuição do nitrogênio na variação total da eficiência do uso de N. Dentre os índices de eficiência avaliados, não foi detectada diferença significativa entre as cultivares apenas para o índice a eficiência fisiológica (EF), que representa a produção biológica (grãos) obtida por unidade de nutriente aplicado (Tabela 5). Esse fato sugere que a produção biológica não foi um fator determinante para diferenciar as cultivares quanto a maior ou menor eficiência ao N.

A eficiência agrônômica (EA), que significa a produção de grãos obtida por unidade de nutriente aplicado indicou a existência de pelo menos uma

diferença significativa entre os tratamentos. Os híbridos GNZ 2004 e P 30F53 apresentaram maior EA média e as cultivares AL 25, DKB 566, P 30S40 e DKB 747, à menor EA, não diferindo entre si. A partir dos resultados da eficiência de recuperação do N aplicado (RAN), foi possível constatar que as cultivares GNZ 2004, AG 5020, P 30F53, DKB 390 e BM 2202 não diferem entre si e foram superiores às demais cultivares, ou seja, acumularam maior quantidade de nutriente na parte aérea por unidade de nutriente aplicada. Coelho et al. (1991) indicaram que a baixa recuperação do N, caracterizada por híbridos de baixa eficiência, enfatiza a importância de ajustar as aplicações de fertilizantes para o mais próximo possível da quantidade requerida pela cultivar.

TABELA 5. Valores médios e resumo da análise de variância para a eficiência fisiológica (EF), eficiência agrônômica (EA), eficiência de recuperação (RAN), eficiência na produção de grão (IG) e eficiência de utilização (EUN) das cultivares de milho, nas doses 40 e 160 kg.ha⁻¹ de nitrogênio.

| Cultivares ¹ | EF (kg.kg ⁻¹) | EA (kg.kg ⁻¹) | RAN (%) | IG (kg.kg ⁻¹) | EUN (kg.kg ⁻¹) |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------|
| P 30F53 | 37,89 A | 9,84 A | 91,0 A | 11,02 B | 34,11 A |
| GNZ 2004 | 38,89 A | 11,78 A | 81,0 A | 14,99 A | 30,62 A |
| DKB 390 | 41,09 A | 7,61 B | 102,0 A | 7,56 C | 40,84 A |
| AG 5020 | 38,88 A | 5,55 C | 82,0 A | 6,78 C | 31,99 A |
| DKB 566 | 36,15 A | 3,86 D | 58,0 B | 6,74 C | 19,72 B |
| P 30S40 | 39,71 A | 4,34 D | 70,0 B | 6,24 C | 27,64 A |
| DKB 789 | 36,02 A | 7,41 B | 49,0 B | 15,51 A | 17,85 B |
| BM 2202 | 36,62 A | 6,28 B | 104,0 A | 6,08 C | 38,82 A |
| DKB 747 | 49,82 A | 4,46 D | 61,0 B | 7,85 C | 29,94 A |
| AL 25 | 44,83 A | 3,32 D | 68,0 B | 4,90 AC | 30,52 A |

| FV | Quadrados Médios | | | | |
|--------------|------------------|--------|--------|--------|---------|
| | EF | EA | RAN | IG | EUN |
| Bloco | 27,14 | 0,16 | 0,002 | 0,02 | 3,17 |
| Cultivar (C) | 56,68 | 22,26* | 0,102* | 42,76* | 158,43* |
| Erro | 68,22 | 0,60 | 0,025 | 3,10 | 38,86 |
| CV (%) | 20,65 | 11,94 | 20,67 | 20,08 | 20,64 |

¹Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Scott-Knott. *significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

Por meio da eficiência na produção de grãos (IG), que é a produção de grãos obtida por unidade de nutriente acumulado, verificou-se que as cultivares GNZ 2004 e DKB 789 tiveram o melhor desempenho na produção média de grãos, indicando um metabolismo mais eficiente na assimilação e conversão em grãos do nutriente absorvido.

Para a eficiência de utilização de N (EUN), que corresponde ao produto da eficiência fisiológica e a eficiência da recuperação, as cultivares DKB 789 e DKB 566 apresentaram valores de EUN inferior às demais cultivares.

O híbrido simples GNZ 2004 destacou-se dos demais, por apresentar bons valores de eficiência nutricional, independente do índice de eficiência utilizado. Outra cultivar que apresentou bom desempenho foi o híbrido simples P 30F53 que obteve valores estatisticamente iguais ao híbrido GNZ 2004 para os parâmetros EA, EF, RAN e EUN.

Também não foi verificada correlação entre os grupos de cultivares (híbridos simples, triplos, duplos ou variedade) e os resultados dos índices de eficiência nutricional de nitrogênio, de acordo com o coeficiente de correlação de Pearson. Isso indica não haver relação entre estes grupos de obtenção e as respostas aos índices de eficiência nutricional estudada, ou seja, a eficiência nutricional de uma determinada cultivar não mostrou ser dependente de sua classificação genética. Dessa forma, pode-se sugerir que a maior ou menor eficiência no uso de nitrogênio por uma determinada cultivar de milho será em função das características que lhe forem herdadas pelos seus genitores. Por exemplo, um híbrido simples só se mostrará eficiente no uso de N quando uma das duas linhagens cruzadas, ou as duas, possuírem essa característica e esta ainda permitir ser herdável. Majerowicz et al. (2002) citaram que a

variabilidade em milho é um dos principais fatores que podem interferir na eficiência do uso de nitrogênio.

Conclusões

As cultivares de milho apresentaram características distintas quanto aos índices de eficiência nutricional utilizados, com destaque para as cultivares GNZ 2004 e P 30F53, as quais obtiveram altas produtividades e boa eficiência quanto ao uso de nitrogênio.

Os teores de nitrogênio nos grãos e na parte aérea do milho não indicaram haver nenhuma correlação com suas produtividades, assim como não houve correlação entre os grupos de cultivares (híbridos simples, triplos, duplos ou variedade) e os resultados dos índices de eficiência nutricional utilizados.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) o suporte financeiro.

Referências

- AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 101-108, 1994.
- BLAIR, G. Nutrient efficiency what do we really mean? In: RANDALL, P. J.; DELHAYE, E.; RICHARDS, R. A.; MUNNS, R. (Ed.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic,

1993. p. 205-213. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50)
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p. 147-196.
- CARVALHO, H. W. L.; LEAL, M. L. S.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, M. X.; CARVALHO, B. C. L.; TABOSA, J. N.; LIRA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares e híbridos de milho no Nordeste brasileiro no ano agrícola de 1998. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 4, p. 637-644, 2001.
- CARVALHO, E. V.; AFFÉRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; LEÃO, F. F.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 392-403, 2011.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio (¹⁵N) 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, 1991.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2.ed. 2.ed. aum. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 2, p. 1-9, 1995. Encarte.
- DUVICK, D. N. What is yield? In: EDMEADES, G. O.; BANZIGER, M.; MICKELSON, H. R.; PENA-VALDIVIA, C. B. (Ed.). **Developing drought and low N-tolerant maize**. Mexico, DF: CIMMYT, 1997. 90 p.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.
- FIDELIS, R. R.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C.; GALVÃO, J. C. C.; PELUZIO, J. M.; LIMA, S. O. Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 147-153, 2007.
- GENTRY, L. E.; BELOW, F. E.; DAVID, M. B.; BERGEROU, J. A. Source of the soybean N credit in maize production. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 236, n. 2, p. 175-184, 2001.
- GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 931-938, 2007.
- LAFITTE, H. R.; EDMEADES, G. O. Improvement for tolerance to low nitrogen in tropical maize II. Grain yield, biomass production, and N accumulation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 39, n. 1, p. 15-25, 1994.
- MACHADO, A. T. **Perspectiva do melhoramento genético em milho (*Zea mays L.*) visando eficiência na utilização do nitrogênio**. 1997. 216 f. Tese (Doutorado em Ciência - Genética) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MACHADO, R. A. F. **Linhagens de milho contrastantes para tolerância à seca e eficiência de utilização de nitrogênio**. 2003. 90 f. Tese (Doutorado em Agricultura) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.
- MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J. M. S.; MEDICI, L. O.; BISON, O.; PEREIRA, M. B.; SANTOS JÚNIOR, U. M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista**

- Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 129-136, 2002.
- MARRIEL, I. E.; FRANÇA, G. E.; VASCONCELLOS, C. A.; GAMA, E. E. G.; SANTOS, M. X.; OLIVEIRA, A. C. Eficiência de absorção de nitrogênio e produtividade de grãos em populações de milho cultivadas sob estresse In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **A inovação tecnológica e a competitividade no contexto dos mercados globalizados: resumos expandidos**. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlandia, 2000. CD-ROM.
- MEDICI, L. O. **Cruzamentos Dialélicos entre Linhas de Milho Contrastantes no Uso do Nitrogênio**. 2003. 88 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MELO, W. J. **Dinâmica das formas de carbono e de nitrogênio em um Latossolo Roxo cultivado com Sorghum bicolor (L) Moench e com Dolichos lablab L, isoladamente, ou em cultura intercalada**. 1977. 118 f. Tese (Livre docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, 1982.
- RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 11, p. 2213-2222, 2000.
- SANTOS, M. X. dos; GUIMARÃES, P. E. O.; PACHECO, C. A. P.; FRANÇA, G. E.; PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G. e; LOPES, M. A. Melhoria intrapopulacional no Sintético Elite NT para solos pobres em nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 1, p. 55-61, 1998.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; [Rio de Janeiro]: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- VANOTTI, M. B.; BUNDY, L. G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, n. 2, p. 243-249, 1994.