

## **TEOR DE NITROGÊNIO, ÍNDICES DE ÁREA FOLIAR E DE COLHEITA, NO MILHO, EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA, EM SOLO DE VÁRZEA**

MARCOS EMANUEL DA COSTA VELOSO<sup>1</sup>, SERGIO NASCIMENTO DUARTE<sup>2</sup>, DURVAL DOURADO NETO<sup>3</sup>, EDSON CABRAL DA SILVA<sup>4</sup> e CARLOS RODRIGUES PEREIRA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Engº. Agrº., D.Sc. Embrapa Meio-Norte. Av. Duque de Caxias, 5650, bairro Buenos Aires, C.P 01. CEP: 64.006-220, Teresina, PI, Fone: (86) 3255-1141. E-mail: marcos@cpamn.embrapa.br

<sup>2</sup>Prof. Dr. Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP, e-mail: snduarte@esalq.usp.br

<sup>3</sup>Prof. Dr. Departamento de Produção Vegetal - ESALQ/USP, e-mail: dourado@esalq.usp.br

<sup>4</sup>Engº. Agrº., D.Sc. Pós-doutorando do CENA/USP, e-mail: ecsilva@cena.usp.br

<sup>5</sup>Prof. Dr. Departamento de Ciências Ambientais – UFRRJ, e-mail: crpereira@ufrrj.br

---

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.8 n.1, p. 13-25, 2009*

**RESUMO** - O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido e exportado em maior quantidade, o de maior custo e o que mais influencia a resposta em produtividade do milho. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de doses de nitrogênio nos teores de N total nas folhas de milho, na época do florescimento, e na parte aérea e nos grãos, além do índice de área foliar e de colheita do milho, no estádio de grãos farináceos, cultivado em solo de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. O experimento foi desenvolvido em área pertencente à ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco tratamentos (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> N) e três repetições. O incremento da dose de N proporcionou aumento linear no teor de N total nas folhas do híbrido simples Pionner 30 P70, na época do florescimento, no teor de N total na parte aérea e nos grãos, no estádio de grãos farináceos. O aumento da dose de N promoveu resposta linear no índice de área foliar do híbrido simples Pionner 30 P70 e não influenciou significativamente o índice de colheita.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, dose de nitrogênio, ureia, drenagem.

## **NITROGEN CONTENTS, LEAF AREA INDEX AND HARVEST INDEX IN MAIZE AFFECTED BY NITROGEN FERTILIZATION IN WETLAND SOIL**

**ABSTRACT** - Nitrogen (N) is the nutrient absorbed and exported in largest amount, the most expensive, and the element that more influences maize productivity. The objective

of this work was to verify the effect of N doses on total N contents in maize leaves at flowering time, and in plant aerial parts and grains, besides leaf area index and harvest index at farinaceous grain stage, in maize cultivated in wetland soil under the underground drainage system. The experiment was carried out at ESALQ/USP, in Piracicaba, São Paulo state, Brazil, using a completely randomized blocks design, with five treatments (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha<sup>-1</sup> N) and three replications. The increment in N dose caused linear increase in the total N content in leaves at flowering time; and in the total N contents in the plant aerial parts and grains at the farinaceous grain stage. The increase of N rates promoted linear dose-response in leaf area index of the maize simple hybrid P30 P70 but not significantly influenced the harvest index.

**Key words:** *Zea mays*, nitrogen rate, urea, drainage.

O milho é o principal cereal produzido no Brasil, cultivado em cerca de 14,4 milhões de hectares, com produtividade média de 3,66 Mg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2009). Um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade é o manejo incorreto do adubo nitrogenado, cuja eficiência de utilização pela planta é influenciada pelo sistema de cultivo, pelo tipo de fertilizante, pelas formas de manejo, pelas condições edafoclimáticas (Amado et al., 2002) e pelo genótipo utilizado (Sachs et al., 1996; Porto & Storck, 2003; Silva et al., 2006a).

As áreas de várzeas, no Brasil, abrangem um total de 30 milhões de hectares, aproximadamente (Lamster, 1980). Esses solos caracterizam-se por apresentarem grandes variações espaciais (morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas e, consequentemente, de aptidão de uso) e, geralmente, têm de média a alta fertilidade e possuem drenagem natural deficiente (Pinto et al., 1999). O uso racional

das áreas de várzeas irrigáveis representa, para vários estados brasileiros, uma das alternativas para a expansão econômica da fronteira agrícola e o milho constitui numa alternativa cultural para essas áreas, principalmente para rotação com o arroz, principal espécie cultivada nesses solos (Porto & Storck, 2003; Silva et al., 2006a).

Para o uso de áreas de várzea, é importante conhecer as principais alterações químicas provocadas pela fertilização e correção ou mesmo pelo arejamento deficiente em certas épocas do ano, que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. O desenvolvimento e a produção da maioria das espécies vegetais cultivadas são prejudicados em solos maldrenados, devido à falta de oxigênio livre no solo (Vartapetian & Jackson, 1997). A extensão de danos decorrentes do encharcamento do solo depende de vários fatores, incluindo a duração do período de saturação, o estádio de desenvolvimento da planta, a espécie e as

condições ambientais (Vartapetian & Jackson, 1997; Silva et al., 2006a). Para a cultura do milho, a redução no rendimento de grãos, em áreas encharcadas, é mais pronunciada quando o estresse ocorre no início do estádio vegetativo (Mukhtar et al., 1990; Kanwar et al., 1988) e no período de floração (Cruciani, 1985).

A maioria das transformações do N é mediada metabolicamente por microrganismos autotróficos e quimiorganotróficos (heterotróficos), os quais são fortemente influenciados pelas condições físicas e químicas prevalecentes no ambiente (Rhoden et al., 2006). Cerca de 95 % do N do solo está na forma orgânica, indisponível para as culturas até que ocorra sua mineralização (Camargo et al., 1997). Dessa forma, a matéria orgânica do solo (MOS) é considerada a mais importante fonte de N para as culturas e o seu teor no solo serve de base para o manejo da adubação nitrogenada do milho, em condições de sequeiro, em vários estados brasileiros (Alves et al., 1999; Amado et al., 2002; Sousa & Lobato, 2004; CQFS-RS/SC, 2004). Entretanto, em solos alagados, a entrada da água faz com que ocorram alterações de ordem física, química e biológica, as quais afetam a dinâmica da decomposição da MOS, bem como o ciclo do N, o que dificulta a predição da dose de fertilizante nitrogenado a ser recomendada, diferentemente do que ocorre em solos de terras altas. Cassman et al. (1996) observaram que não houve correlação entre os teores de C orgânico e N total do solo e o N absorvido por plantas de arroz irrigado. Por sua

vez, Li et al. (2003) e Rhodem et al. (2006a), avaliando a mineralização anaeróbia do N, encontraram correlação significativa entre o teor de C orgânico do solo e o N mineralizado pelo solo, o que pode, não necessariamente se refletir em N absorvido pelas plantas, nesse ambiente.

A decomposição da MOS mineraliza o N orgânico do solo em diferentes velocidades, em função da sua recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (Camargo et al., 1997). Portanto, cada solo possui capacidade intrínseca de fornecer N às plantas a partir da decomposição da MOS em quantidades e taxas diferentes, que dependem do tipo de solo (especialmente pH, condições redox, temperatura e textura), da atividade microbiana e das condições ambientais, além da entrada de N no sistema via adubação nitrogenada.

Nesse sentido, faz-se necessária a busca de informações que contribuam para maximizar a eficiência de utilização do N do fertilizante, bem como do N do solo potencialmente disponível, para se aprimorar sistemas de recomendação e manejo de fertilizantes nitrogenados, em condições de várzea, diminuindo, assim, custos para o produtor e minimizando os impactos ambientais.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito das doses de nitrogênio nos teores de N total nas folhas de milho, no período de floração, na parte aérea, nos grãos, no índice de área foliar e de colheita do milho, no estádio de grãos farináceos, cultivado em solo de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea, no município de Piracicaba, SP.

## Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em uma várzea localizada na área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, ESALQ-USP, Piracicaba-SP, situada nas coordenadas geográficas de 22°42'30” S e 47°36'00” W, a uma altitude média de 546 m.

A área trata-se de uma várzea sistematizada, em solo classificado como Gleissolo eutrófico, horizonte ‘A’ moderado, textura argilosa, com inclusões de solos vérticos. Essa área continha um sistema de drenagem já implantado, constituído por 19 drenos subterrâneos, espaçados de 10 m, instalados na profundidade de 1 m e declividade de 3%, com um comprimento de 45 m.

Antes da instalação do experimento, foi realizada amostragem do solo na camada de 0-0,20 m e as suas características químicas e granulométricas apresentaram os seguintes resultados: pH ( $\text{CaCl}_2$ ) = 6,4; M.O = 32 g  $\text{dm}^{-3}$ ; P (resina) = 30 mg  $\text{dm}^{-3}$ ; S = 13 mg  $\text{dm}^{-3}$ ; K = 1,3  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; Ca = 240  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; Mg = 160  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; Al = 0  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; H+Al = 25  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; SB = 401,3  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; T = 426,3  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; V = 94 %; m = 0 %; B = 0,45 mg  $\text{dm}^{-3}$ ; Cu = 5,3 mg  $\text{dm}^{-3}$ ; F = 67 mg  $\text{dm}^{-3}$ ; Mn = 24,9 mg  $\text{dm}^{-3}$ ; Zn = 2,3 mg  $\text{dm}^{-3}$ ; areia = 180 g  $\text{kg}^{-1}$ ; silte = 280 g  $\text{kg}^{-1}$ ; argila = 540 g  $\text{kg}^{-1}$ .

As precipitações pluviométricas foram obtidas da Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, localizada a aproximadamente 500 metros

da área experimental, até o 16 DAE. Nessa data, instalou-se um pluviômetro com diâmetro de boca de 0,21 m, localizado a 1,5 m acima do nível do solo, dentro da área experimental.

Utilizou-se um delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco tratamentos (0; 50; 100; 150 e 200 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ) e três repetições. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente em 15 parcelas, medindo cada uma 302,4  $\text{m}^2$  (9 m x 33,6 m).

Em cada parcela experimental, havia um dreno subterrâneo na sua parte central. Entre as parcelas, ao longo dos drenos, foram construídas valas e camalhões separando as parcelas, com a finalidade de diminuir a influência do escoamento superficial entre os tratamentos.

O preparo do solo constou de duas passagens de grade aradora pesada. A adubação foi definida em função da análise do solo, para uma produtividade de grãos esperada de 8 a 10 Mg  $\text{ha}^{-1}$ , segundo Raij *et al.* (1996). A adubação de semeadura constou de 60 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , 40 kg  $\text{ha}^{-1}$  de S e 50 kg  $\text{ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio. Posteriormente, aplicaram-se manualmente em sulcos feitos com enxadas, com 0,05 a 0,10 m de profundidade, 30 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N, na forma de uréia, em todos os tratamentos, exceto a testemunha.

A semeadura do milho foi realizada mecanicamente, em linhas espaçadas de 0,7 m. Utilizou-se um híbrido simples (Pioneer 30P70), de ciclo precoce, para uma população de plantas de 60 mil por hectare, com 4,2 plantas por metro linear. Após a semeadura, fez-se a aplicação de

um herbicida seletivo, contendo 370 g L<sup>-1</sup> de atrazina mais 290 g L<sup>-1</sup> de S-metalacloro, na dose de 4,5 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada com ureia, aplicada manualmente na superfície do solo, correspondente à complementação da dose de cada tratamento (0, 20; 70; 120 e 170 kg ha<sup>-1</sup> de N), quando as plantas de milho estavam com seis a sete folhas expandidas, aos 31 dias após a emergência (DAE).

Foram realizadas três pulverizações com deltametrina, na dose de 0,2 L ha<sup>-1</sup> de i.a, na formulação de concentração emulsionável, aos 11, 17 e 35 DAE, para o controle da lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*) e da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

Foram coletadas, por ocasião do florescimento do milho, aos 57 DAE, 15 folhas de plantas de milho localizadas na base da espiga principal (superior), dentro da área útil da parcela, escolhidas aleatoriamente, de cada tratamento, selecionando-se o terço central dessas folhas, segundo metodologia descrita por Raij et al. (1996). Após a coleta, o material foi secado a 65 °C, em uma estufa com circulação forçada de ar, por um período de 72 horas, e, em seguida, passado em um moinho tipo Willey, com peneira de 20 mesh. A determinação do teor de N total foi realizada segundo a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Aos 98 DAE, retirou-se uma amostra aleatória de espigas de milho e determinou-se a umidade dos grãos, a qual foi de 46 %, ponto

esse que foi considerado como estádio farináceo dos grãos, descrito como adequado para se fazer silagem (Fancelli & Dourado Neto, 2000). No dia seguinte, retiraram-se duas plantas de milho por parcela e separou-se o solo das raízes, com o auxílio de um jato de água.

Após a secagem ao ar livre, as plantas foram levadas para o Laboratório de Ecofisiologia de Plantas da ESALQ/USP e separadas em raiz, colmo, bainha, folha seca, folha verde, brácteas (palha da espiga de milho), sabugo, grãos, cabelos (pistilo mais estigmas) e pendão (inflorescência). Cada parte da planta foi colocada para secar, a 65 °C, em uma estufa com circulação forçada de ar, por um período de 72 horas, exceto para os colmos, que foram deixados por mais 48 horas, para serem pesados.

Após a determinação da matéria seca do colmo, bainha, folha, brácteas e pendão das plantas de milho, no estádio farináceo, procedeu-se à mistura das partes das duas plantas colhidas, fragmentou-se manualmente em pequenos pedaços, e passou-se em uma máquina trituradora de plantas, retirando-se uma amostra, que foi levada, logo em seguida, para passar em um moinho tipo Willey, com peneira de 20 mesh. Procedeu-se também à moagem de uma amostra de grãos de milho colhido no estádio farináceo, secados previamente.

A determinação de N total foi realizada conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). A área foliar foi determinada utilizando-se um medidor de área foliar digital LI-300 (LI-COR). Os dois índices de colheita

foram determinados dividindo-se a massa de grãos secos pela massa com e sem raiz mais a massa de colmo, bainha, folhas, brácteas, sabugo, cabelos e pendão.

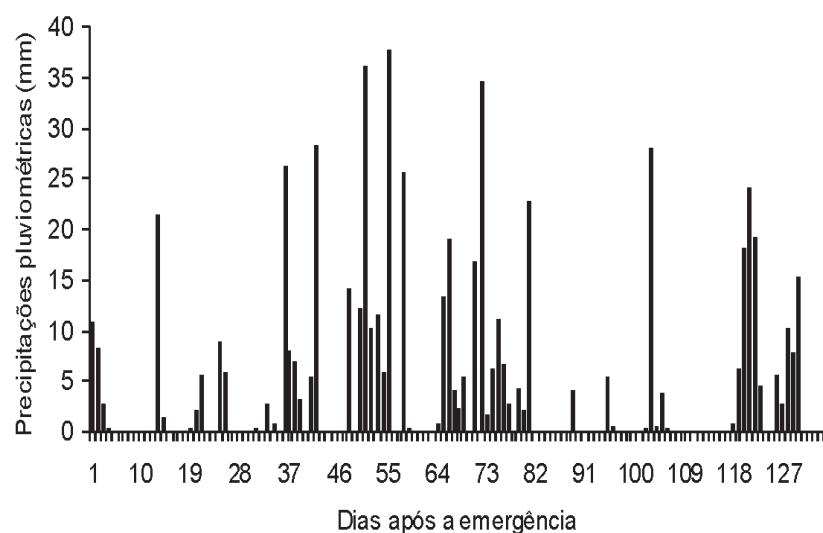
Os dados foram submetidos à análise de regressão. Na análise de variância, utilizou-se o teste F ( $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ ) para definir o modelo linear ou quadrático, utilizando-se os coeficientes para ajustamento de polinômios ortogonais (Gomes & Garcia, 2002).

## Resultados e Discussão

Durante a condução do experimento, houve boa distribuição das chuvas, capaz de atender, de modo geral, a necessidade hídrica da cultura do milho, especialmente no estádio de floração e enchimento dos grãos, com um total de 562 mm (Figura 1). A necessidade hídrica do

milho, segundo Doorenbos & Kassam (1994), para se obter produção máxima, está entre 500 e 800 mm de água, dependendo do clima.

A concentração de N total nas folhas de milho foi proporcional às doses de N no intervalo de 0 a 200 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2 A) e a análise de regressão revelou um modelo linear e efeito significativo ( $P < 0,01$ ) e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) de 88,15%. As concentrações de N nas folhas de milho variaram de 26,5 a 33,8 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca. Os teores adequados de N nas folhas, segundo Malavolta et al. (1997) e Raij et al. (1996), variam de 27,5 a 32,5 g de N kg<sup>-1</sup> e de 27 a 35 g de N kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Observou-se que o teor de N do tratamento 1 (0 kg<sup>-1</sup> de N ha<sup>-1</sup>) foi inferior (26,5 g de N kg<sup>-1</sup>) e, no tratamento 5 (200 kg de N ha<sup>-1</sup>), foi superior (33,8 g de N kg<sup>-1</sup>) às recomendações de Malavolta et al. (1997) e adequadas segundo

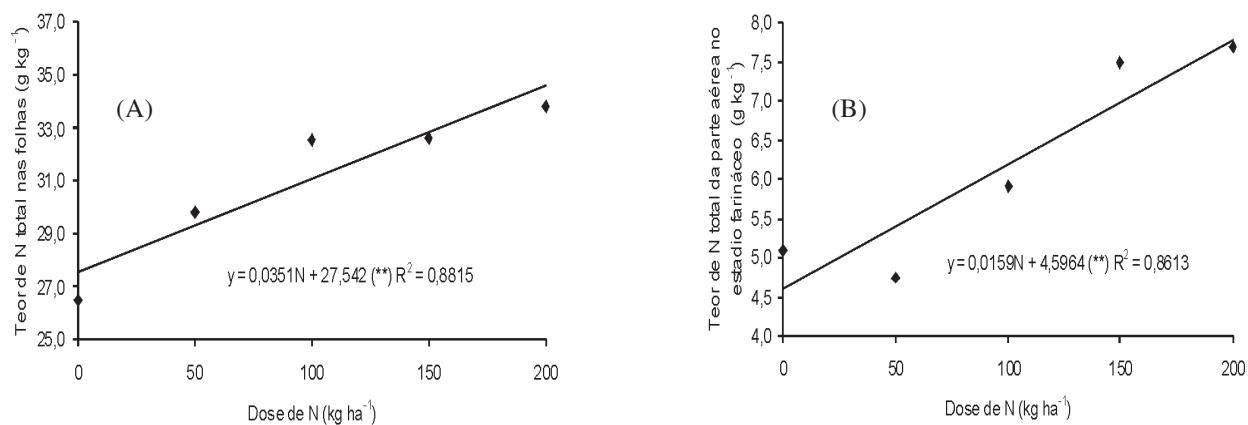


**FIGURA 1.** Valores das precipitações pluviais (mm) ocorridas no período da emergência à colheita do milho.

Raij et al. (1996), situando-se os tratamentos 2, 3 e 4 dentro da faixa considerada como adequada. Silva et al. (2005), em condições de sequeiro, encontraram teores de N inferiores aos descritos como adequado e atribuíram tal efeito ao híbrido utilizado (Pioneer 30F80), justificando que, mesmo em doses mais elevadas de N (180 kg de N ha<sup>-1</sup>), não se obtiveram valores adequados, e os valores apresentaram um comportamento quadrático. Semelhantemente, Mar et al. (2003) também em condições de sequeiro, encontraram o modelo de regressão quadrático, com um valor máximo do teor de N na folha de 28 g kg<sup>-1</sup>, obtido com a dose de 145 kg de N ha<sup>-1</sup>. Normalmente, as principais causas das variações do teor de N foliar nas plantas de milho são fatores relacionados à genética do milho, à fertilidade de solo e, principalmente, às mudanças nas condições climáticas (Silva et al., 2005; Jakelaitis et al., 2005; Silva et al., 2006a).

Observa-se, na Figura 2B, que o teor de N total da parte aérea (colmos, bainhas, folhas, brácteas e pendões) aumentou linearmente com o aumento das doses de N aplicadas, de 0 a 200 kg ha<sup>-1</sup>, apresentando um modelo de regressão linear e significativo ( $P < 0,01$ ), com um coeficiente de regressão ( $R^2$ ) igual 86,13 %. O teor médio de N da matéria seca variou de 4,6 g kg<sup>-1</sup> a 7,7 g kg<sup>-1</sup>. O N atua diretamente no processo de divisão e expansão celular, além de fazer parte da molécula de clorofila (Malavolta et al., 1997). Com isso, o maior teor de N foliar proporciona maior crescimento e desenvolvimento da planta, contribuindo para um maior índice de área foliar e acúmulo de carboidratos, em função da fotossíntese (Malavolta et al., 2006; Silva et al., 2005; Silva et al., 2006b).

Verifica-se que o incremento na dose de N proporcionou um aumento no teor de N na massa seca dos grãos de milho (Figura



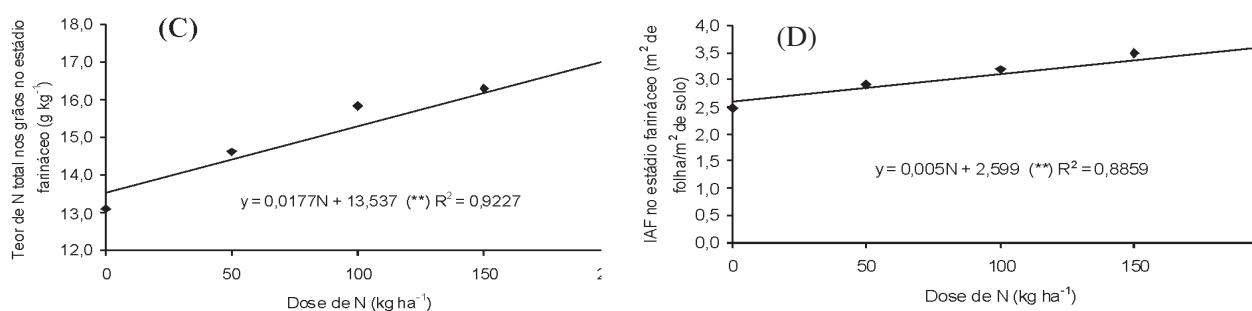
**FIGURA 2.** Teor de nitrogênio total nas folhas de milho (A), na parte aérea (colmo, folha, brácteas e pendões) (B), na época do florescimento, em função das diferentes doses de N.

3C), variando de 13,1 a 16,7 g kg<sup>-1</sup>, para os tratamentos 1 (0 kg de N ha<sup>-1</sup>) e tratamento 5 (200 kg ha<sup>-1</sup> de N). O modelo de regressão que melhor representou essa relação foi o linear, o qual apresentou efeito significativo ( $P<0,01$ ), com um coeficiente de regressão ( $R^2$ ) igual 92,27 %. Esses valores médios ficaram um pouco abaixo dos encontrados por Silva et al. (2006b), em condições de sequeiro, em dois anos de avaliação, material avaliado após a maturação fisiológica dos grãos, os quais foram de 13,80, 14,55, 15,54, 16,61 e 17,16 g kg<sup>-1</sup> para as doses de 0, 30, 80, 130 e 180 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Verifica-se, na Figura 3D, que o modelo de regressão que melhor se ajustou ao índice de área foliar (IAF), em relação às doses de N, foi o linear, o qual apresentou efeito significativo ( $P<0,01$ ), com um coeficiente de regressão ( $R^2$ ) igual 88,59 %. O incremento na dose de N proporcionou um aumento no IAF, variando de 2,47 a 3,43 m<sup>2</sup> de folha m<sup>-2</sup> de solo; entretanto,

o tratamento 4 apresentou um valor de IAF de 3,5 m<sup>2</sup> de folham<sup>-2</sup> de solo, o que mostra, provavelmente, que as doses aplicadas nos tratamentos, especialmente as mais altas, tinham uma tendência decrescente, ou seja, talvez se tivesse mais um tratamento com uma dose de 250 kg ha<sup>-1</sup> de N ter-se-ia encontrado o ponto de máximo referente ao IAF. Fancelli e Dourado Neto (2000) citam que o rendimento de grãos e o número de grãos aumentam, significativamente, com os incrementos do IAF, variando de 3 a 5 m<sup>2</sup> de folha m<sup>-2</sup> de solo, conforme resultados obtidos no *Corn Belt* americano. Neste estudo, somente os valores de IAF 3,20, 3,50 e 3,43 m<sup>2</sup> de folha/m<sup>2</sup> de solo, relativos aos tratamentos 3, 4 e 5 (100, 150 e 200 kg de N ha<sup>-1</sup>), ficaram dentro dos limites americanos.

A área foliar de uma planta depende do número e do tamanho das folhas e, consequentemente, do seu estádio de desenvolvimento; por sua vez, o IAF depende da fertilidade do solo, das condições climáticas,



**FIGURA 3.** Teor de nitrogênio total nos grãos (C) e índice de área foliar – IAF (D), no estágio de grãos farináceos, em função de diferentes doses de nitrogênio.

do espaçamento e do material genético utilizado (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Por isso, a estimativa do IAF é uma importante ferramenta de planejamento, que permite nortear ações de manejo e decisões de investimento no setor agrícola.

A estimativa do IAF pode ser modelada utilizando modelos explanatórios, os quais permitem adequar modelos estatísticos arbitrários que melhor minimizam a soma dos quadrados dos resíduos (quadrado da diferença entre os valores observados e estimados), cujo objetivo principal é a “explicação numérica do fenômeno”. A estimativa do IAF utilizando os modelos extrapoláveis tem por objetivo fazer com que o resultado seja generalizado para outras situações diferentes da condição em que os resultados foram obtidos. A filosofia é estimar a ordem de grandeza para fins de planejamento, sendo requeridos formação teórica apurada, experiência e bom-senso do usuário da informação (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Não houve diferença significativa ( $P>0,05$ ) para ambos os índices de colheita, por causa, provavelmente, do baixo número de repetições (três) utilizadas no experimento, tornando-se a análise do modelo de regressão de baixa sensibilidade. Os índices médios de colheita com raízes foram 0,52, 0,57, 0,58, 0,57, 0,56 e, sem raízes, de 0,56, 0,61, 0,63, 0,62 e 0,62, apresentando média de 0,56 e 0,62, respectivamente. O IC, para o milho, geralmente apresenta elevadas interações entre genótipo e ambiente e pode variar de 0,3 a 0,5, sendo o

valor de 0,4 considerado satisfatório, para a obtenção de alta produtividade (Doorenbos & Kassam, 1994). Conforme Fancelli & Dourado Neto (2000), o IC apresenta alta correlação com o potencial produtivo do genótipo utilizado, variando de 0,6, para o cultivo do milho em regiões de clima temperado e elevada latitude nos EUA, a 0,27 (Gana) e 0,1 (Quênia), na África. O IC é um parâmetro que está intimamente correlacionado com a interação entre o genótipo e o ambiente. Portanto, a rigor, o índice de colheita obtido em um determinado local não pode ser extrapolado para outras regiões (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

De maneira geral, o aumento das doses de N teve reflexo direto no teor de N na folha (Figura 2A), na produtividade de massa seca da parte aérea (Figura 2B) e no índice de área foliar (Figura 3C). Ocorreu melhor distribuição do N e maior transferência para os grãos (Figura 3D), o que garantiu maior produtividade (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

A resposta linear dos componentes de produção e produtividade avaliados neste estudo sugere que a quantidade de fertilizante nitrogenado requerida, em solo de várzea, é maior, considerando-se o mesmo nível de produtividade do sistema de sequeiro, visto que a maioria dos estudos nessas condições demonstra resposta quadrática a doses de N, frequentemente inferiores à máxima utilizada ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) e em solos com nível de saturação por bases e teor de MOS inferiores ao deste estudo (Mar et al., 2003; Silva et al., 2005;

Silva et al., 2006b; Duete et al., 2008; Ferreira et al., 2009). Além disso, a resposta linear indica que, provavelmente, haveria resposta à aplicação de dose superior à máxima utilizada. Tal fato, possivelmente, é decorrente de as taxas de mineralização da MOS em solos de várzea serem reduzidas, quando comparadas às de solo de sequeiro. Portanto, resulta na liberação mais lenta e gradual do N (Camargo et al., 1997, Rhoden et al., 2006a,b) e o N do solo, em condições de campo, geralmente compreende a principal fonte de N para a cultura do milho (Amado et al., 2002; Silva et al., 2006c; Ferreira et al., 2009; Silva et al., 2009). Por outro lado, pode ter ocorrido também perda de N. Neste caso, principalmente por desnitrificação, em razão da ocorrência de sítios anaeróbicos, já que a ureia foi incorporada ao solo, o que mitiga bem as perdas por volatilização (Lara Cabezas et al., 2004) e as perdas por lixiviação foram relativamente pequenas (Veloso et al., 2006).

### Conclusões

O incremento da dose de N proporcionou aumento linear no teor de N total nas folhas do híbrido simples Pionner 30 P70, na época florescimento, no teor de N total na parte aérea e nos grãos, no estádio de grãos farináceos.

O aumento da dose de N promoveu resposta linear no índice de área foliar do híbrido simples Pionner 30 P70 e não influenciou significativamente o índice de colheita.

### Literatura Citada

ALVES, V. M. C.; VASCONCELLUS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOURENÇO, J. E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

AMADO, T. J. C.; MILNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 241-248, 2002.

CAMARGO, F. A.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 575-579, 1997.

CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, P. C.; STACRUZ, P. C.; GINES, G. C.; SAMSON, M. I.; DESCALSOTA, J. P.; ALCANTARA, J. M.; DIZON, M. A.; OLK, D. C. Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 182, p. 267-278, 1996.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC - CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 400 p.

- CRUCIANI, D.E. Caracterização agronômica de coeficientes de drenagem para a elaboração de projetos com a cultura do milho (*Zea mays L.*). **Item; Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 22, p. 28-31, 1985.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de GHEYI, H .R.; SOUSA, A. A.; DAMASCENO, F. A. V.; MEDEIROS, J. F. Campina Grande: UFPB, 1994. p.154-159. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).
- DUETE, R. R. C.; MURAOKA T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 161-171, 2008.
- FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; FIGUEIREDO, A. G. Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 173-179, 2009.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplo e orientação para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 209 p. (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 11).
- IBGE. **Levantamento da produção agrícola: sistemático** maio/2009. Brasília, DF, 2009. Disponível em: < [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_200905\\_6.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_200905_6.shtml) >. Acesso em: 23 jun. 2009.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 39-46, 2005.
- KANWAR, R. S.; BAKER, J. L.; JUKHTAR, S. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 31, n, 1, p. 133-141, 1988.
- LAMSTER, E. C. Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas – Provárzeas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, p.3-8, 1980.
- LARA CABEZAS, W. R. L.; ALVES. B. J. R.; URQUIAGA, S.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1005-1013, 2004.
- LI, H.; HAN, Y.; CAI, Z.. Nitrogen mineralization in paddy soils of the Taihu Region of China under anaerobic conditions: dynamic and model fitting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 115, p.161-175, 2003.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das**

- plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: POTAPOS, 1997. 319 p.
- MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 62, p. 267-274, 2003.
- MUKHTAR, S.; BAKER, J. L.; KANWAR, R. S. Corn growth as effected by excessive soil water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, p. 437-442, 1990.
- PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S.; SOUSA, R. O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. (Ed). **Manejo de solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 11-36.
- PORTO, M. P.; STORCK, L. Comportamento de híbridos comerciais de milho em solos hidromórficos, no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, p. 34-42, 2003.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- RHODEN, A. C.; SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; BRITZKE, D.; BENEDETTI, E. L. Mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1780-1787, 2006a.
- RHODEN, A. C.; SILVA, L. S.; BRITZKE, D. RANNO, S. K. Relação entre características de solos de várzea e a absorção de nitrogênio pelo arroz irrigado em dois cultivos sucessivos em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, p. 325-331, 2006b.
- SACHS, M. M.; SUBBAIAH, C. C.; SAAB, I. N. Anaerobic gene expression and flooding tolerance in maize. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 1-15, 1996.
- SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 353-362, 2005.
- SILVA, S. D. A.; SERENO, M. J. C. M.; SILVA, C. F. L. BARBOSA NETO, J. F. Capacidade combinatória de genótipos de milho para tolerância ao encharcamento do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 391-396, 2006a.
- SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; GUIMARÃES, G. L.; BUZETTI, S. Acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura e no milho cultivado em sucessão sob diferentes doses de nitrogênio em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, p. 202-217, 2006b.
- SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; TRIVELIN, P. C. O.; VELOSO, M. E. C. Absorção de nitrogênio nativo do solo pelo milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 723-732, 2006c.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; CONTRERAS ESPINAL, F. S. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 118-127, 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 129-145.

VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Plant adaptations to anaerobic stress. **Annals of Botany**, London, v. 79, p. 3-20, 1997.

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; MIRANDA, J. H.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E. C.; CRUCIANI, D. E. Avaliação do teor de nitrato lixiviado em área de várzea cultivada com milho sob diferentes doses de nitrogênio. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 18, p. 27-35, 2006.

