

DOSES DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO, EM SOLOS DE VÁRZEA, SOB SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA¹

MARCOS EMANUEL DA COSTA VELOSO², SERGIO NASCIMENTO DUARTE³, DURVAL DOURADO NETO⁴, JARBAS HONÓRIO MIRANDA⁵, EDSON CABRAL DA SILVA⁶ e VALDEMÍCIO FERREIRA DE SOUSA⁷

¹ Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, realizada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- Esalq/USP.

² Eng. Agr. 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

³ Prof. Dr. Departamento de Engenharia Rural - Esalq/USP, e-mail: srbnduarte@esalq.usp.br

⁴ Prof. Dr. Departamento de Produção Vegetal - Esalq/USP, e-mail: dourado@esalq.usp.br

⁵ Prof. Dr. Departamento de Ciências Exatas – Esalq/USP, e-mail: jhmirand@esalq.usp.br

⁶ Eng. Agr. D.Sc. Pós-doutorando do CENA/USP. E-mail: ecsilva@cena.usp.br

⁷ Eng.Agr. D.Sc. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI. E-mail: vfsousa@cpamn.embrapa.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.5, n.3, p.382-394, 2006

RESUMO - O milho é um dos mais importantes cereais cultivados e comercializados no mundo. O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade, o de maior custo, e também o que mais influencia a resposta em produtividade de grãos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos das doses de N nos componentes de produção da planta e da produtividade do milho, em solo de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. O experimento foi desenvolvido em uma 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⁻¹ N) e três repetições. A máxima produtividade de grãos de milho (10.446 kg ha⁻¹) foi estimada com a dose de 180 kg ha⁻¹ de N, com um incremento de 31,5% em relação à testemunha. O incremento na dose de N proporcionou aumento linear para alguns componentes de produção (número de espiga por planta, massa de 1000 grãos e número de espigas por hectare) e quadráticas para outros (número de grãos por espiga e número de grãos por fileira). As alturas de plantas, inserção de espiga e a produtividade de grãos responderam de forma quadrática às doses de N.

Palavras-chave: *Zea mays*, dose de nitrogênio, adubação nitrogenada, uréia

NITROGEN RATES IN THE MAIZE CROP IN MEADOW SOIL UNDER SYSTEM OF UNDERGROUND DRAINAGE SYSTEM

ABSTRACT - The maize is one of the most important cultivated and commercialized cereals in the world. Nitrogen (N) is the nutrient needed in larger amount, the one of higher cost, and also the one that influences the most the response in grain productivity. With the purpose of evaluating the N effect on the maize plant components and the grain productivity in a meadow soil under underground drainage system, an experiment was

carried out at ESALQ/USP, in Piracicaba county, state of São Paulo, Brazil, in system of implanted drainage. The experimental design was completely randomized blocks, with five treatments (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ N) and three replications. The maximum maize grains productivity (10,446 kg ha⁻¹) was estimated with the rate of 180 kg ha⁻¹ N, with an increase of 31.5%, in relation to control. The increment of N fertilizer provided linear increase for some production components (ears per maize plant, mass of 1,000 grains and number of ears per hectare) and quadratic for other (number of grains for ear and number of grains for row). The plant height, maize-cob insertion height and grain productivity had quadratic responses to N rates.

Key words: *Zea mays*, nitrogen rate, nitrogen fertilizer, urea

O milho, em função de seu uso na alimentação humana e animal e como biocombustível e de elevado potencial produtivo, além de sua composição química e seu valor nutritivo, constitui um dos mais importantes cereais cultivados e comercializados no mundo. O Brasil é o terceiro maior produtor desse cereal, após EUA e China. Os estados brasileiros que mais se destacaram na sua produção, no ano de 2004/05, foram Paraná, Minas Gerais e São Paulo (Anuário Brasileiro do Milho, 2005).

O nitrogênio (N) é o nutriente mineral quantitativamente mais exigido pelas plantas para seu crescimento e desenvolvimento. O maior reservatório do N é a atmosfera (78% dos gases), entretanto, a sua disponibilidade depende do teor de matéria orgânica (MO), de fatores climáticos de difícil previsão, da relação C:N e das atividades microbianas. As formas de N mais prontamente absorvidas pelas plantas são o nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+) (Raij et al., 1997; Vanloon & Duffy, 2000; Camargo & Sá, 2004). O teor de MO é utilizado como um dos critérios de recomendação de adubação nitrogenada para as culturas nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Amado et al., 2002), São Paulo (Raij et al., 1997) e na região dos Cerrados (Sousa & Lobato, 2004). A adubação de semeadura deve ser baseada no histórico de uso da área e na produtividade esperada.

Os principais fatores que influenciam a produtividade da cultura do milho são a adubação nitrogenada, a população de plantas, o material genético e o clima (Costa et al., 2005). A recomendação de adubação nitrogenada é complexa, por causa da sua dinâmica, das transformações que ocorrem no solo, da sua alta mobilidade e dos fatores que influem no seu aproveitamento pelas plantas, além de ser o elemento exigido em maior quantidade, o de maior custo relativo, e também o que mais influencia a resposta em produtividade de grãos, sendo a uréia o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura mundial (Amado et al., 2002; Cantarella & Duarte, 2004; Sousa & Lobato, 2004; Cantarella et al., 2005). A dose ótima de N pode variar ao longo do ano, em função da taxa de mineralização, do teor de matéria orgânica e da lixiviação do nitrato no solo e, principalmente, pelos valores de precipitação pluvial no período de condução da cultura do milho (Jaynes & Colvin, 2005).

O N é absorvido e exportado em grande quantidade nas colheitas. Como ordem de grandeza, em média, o milho necessita de 18 a 20 kg de N para a produção de uma tonelada de grãos (Resende et al., 2003). A eficiência da aplicação de N depende da forma de aplicação (na superfície ou incorporado e localizado ou em área to-

tal), da fonte (fertilizante) do genótipo (sistema radicular) e do solo (teor de matéria orgânica), principalmente. A ordem de grandeza oscila entre 20 e 60% do aplicado, sendo que as principais perdas desse nutriente são por volatização, lixiviação e imobilização (França & Resende, 2003). A maximização da eficiência de utilização do fertilizante é obtida utilizando o solo conforme sua aptidão agrícola e manejo adequado (correta definição das fontes, épocas e formas de aplicação dos fertilizantes) (Anghinoni & Bayer, 2004). Segundo Fancelli & Dourado Neto (2000), as aplicações de N devem ser feitas com base na fenologia da cultura.

No estado de Minas Gerais, para uma produtividade de grãos de milho maior que 8 Mg ha⁻¹, Alves *et al.* (1999) recomendam uma adubação nitrogenada de semeadura de 10 a 20 kg de N ha⁻¹, e uma adubação em cobertura de 140 kg ha⁻¹ de N, no solo, quando as plantas apresentarem de seis a oito folhas completamente desenvolvidas.

A recomendação nitrogenada para o estado de São Paulo é realizada com base na classe de resposta a N (alta, média e baixa resposta), definida conforme o manejo e histórico da gleba, no rendimento esperado e nos teores foliares. Atualmente, há carência de critério confiável de recomendação da adubação nitrogenada com base na análise de solo. A adubação de N recomendada para uma produtividade esperada de 8 a 10 Mg ha⁻¹ é de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Sugere-se localizar e incorporar o N ao lado das plantas, com quatro a oito folhas totalmente desenvolvidas (Raij *et al.*, 1997).

A aplicação de N pode proporcionar aumentos significativos com o uso de genótipos de produtividade de potencial elevada. Costa *et al.* (2005) avaliaram o efeito da adubação nitroge-

nada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N) na produtividade de grãos de genótipos de milho e concluíram que a adubação nitrogenada propiciou aumento da produtividade média de 236% (variando de 175 a 356%). A maioria dos genótipos utilizados respondeu à aplicação do N-fertilizante acima da dose de 120 kg ha⁻¹ de N.

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, na aptidão de uso), geralmente, têm de média a alta fertilidade, possui drenagem natural deficiente (Pinto *et al.*, 1999) e apresentam um grande potencial para a cultura do milho. Nesse sentido, considera-se relevante o desenvolvimento de pesquisa sobre o desempenho dos componentes de produção de milho em áreas de várzeas, com adubação nitrogenada e que contribua para o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida do agricultor. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos das doses crescentes de nitrogênio nos componentes de produção de planta, na produtividade de grãos de milho, em solo de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em uma várzea localizada na área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, Esalq - USP, Piracicaba-SP, localizada nas coordenadas geográficas de 22°42'30" de latitude Sul e 47°36'00" de longitude Oeste, a uma altitude média de 546 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, tropical úmido, ocorrendo

chuvas de verão e secas de inverno e, de acordo com a série histórica de 1917 a julho de 2006 (Universidade de São Paulo, 2006), apresenta temperatura média do ar mensal de 21,5 °C, com o mês mais quente de 24,6 °C (fevereiro) e do mês mais frio de 17,4 °C (julho). A umidade relativa média mensal do ar e a precipitação pluvial média anual são de 73% e de 1270 mm, respectivamente.

Os dados climáticos relativos à precipitação pluvial foram obtidos de uma estação meteorológica localizada a 500 m da área experimental, até o 16º dia após a emergência (DAE). Nessa data, instalou-se um pluviômetro dentro da área experimental. A umidade do solo foi monitorada por tensiômetros instalados, aos 15 DAE, a uma profundidade média de 0,20 e 0,40 m, alinhados com as plantas, nas fileiras de milho.

A área trata-se de uma várzea sistematizada, situada entre uma encosta e o rio Piracicaba, em solo classificado como Gleissolo eutrófi-

co, horizonte 'A' moderado, textura argilosa. O sistema de drenagem é constituído por 19 drenos subterrâneos paralelos, espaçados de 10 m, instalados na profundidade de 1 m, com 45 m de comprimento, que descarregam em um dreno coletor aberto (Figura 1).

Antes da instalação do experimento, foi realizada uma amostragem do solo, na camada de 0-0,20 m, e as suas características química e granulométrica foram determinadas: pH (CaCl_2) = 6,4; M.O = 32 g dm^{-3} ; P (resina) = 30 mg dm^{-3} ; S = 13 mg 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 dm^{-3} ; Cu = 5,3 mg dm^{-3} ; Fe = 67 mg dm^{-3} ; Mn = 24,9 mg dm^{-3} ; Zn = 2,3 mg dm^{-3} ; areia = 180 g kg^{-1} ; silte = 280 g kg^{-1} ; argila = 540 g kg^{-1} .

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco tratamentos (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1} de N) e três repetições. Cada parcela possuía 48 fileiras de milho,

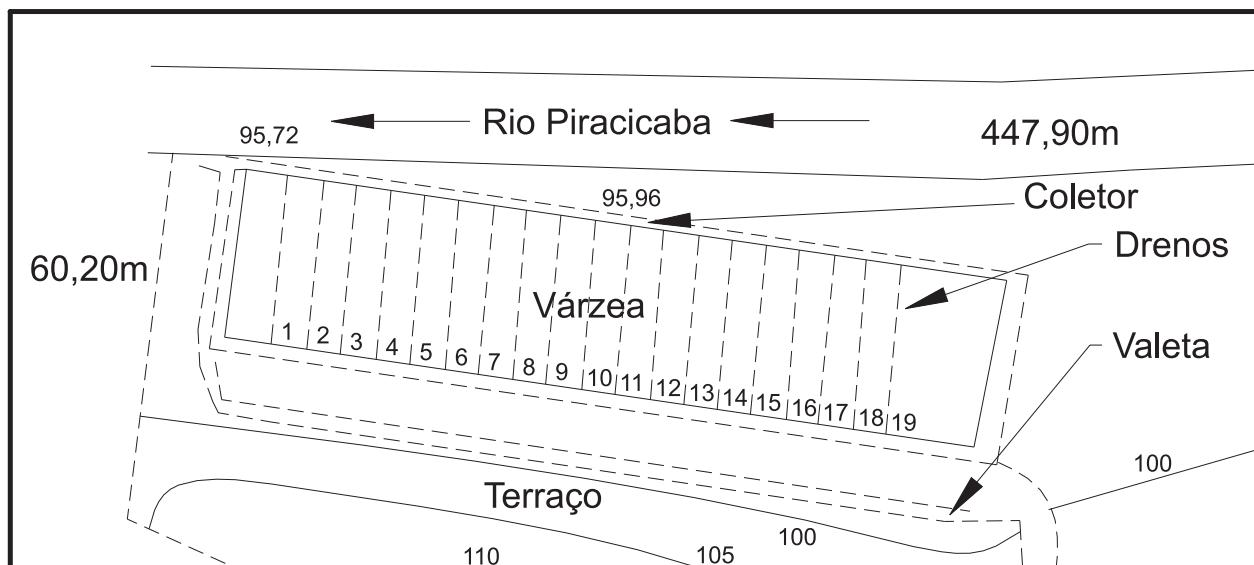


FIGURA 1. Levantamento planialtimétrico da área experimental de drenagem, do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

espaçadas de 0,7 m, com 9 m de largura, totalizando 302,4 m², e havia um dreno subterrâneo na sua parte central. Entre as parcelas, ao longo dos drenos, foram construídas valas, feitas com um sulcador de cana-de-açúcar, e camalhões, construídos manualmente, na parte superior, seguindo a orientação dos drenos subterrâneos, separando as parcelas, evitando assim, possíveis influências do escoamento superficial.

O preparo do solo foi feito no dia 21/10/04 e constou de duas passagens de grade aradora pesada. Um dia antes da semeadura (04/11/04), passou-se uma grade niveladora para controlar plantas daninhas que surgiram nesse intervalo de tempo, destorroar e dar um melhor nivelamento ao solo.

A semeadura do milho foi realizada mecanicamente, no dia 05/11/04, em linhas espaçadas de 0,7 m. Foram utilizadas sementes do milho híbrido simples da Pioneer (30P70) de ciclo precoce, para uma população almejada de 60 mil plantas por hectare, com 4,2 plantas por metro linear. A emergência das plantas de milho ocorreu aos dez dias após a semeadura, em função da precipitação pluvial, que foi irregular nesse período, contribuindo para uma germinação irregular, vindo a uniformizar nessa data.

A adubação foi definida em função da análise do solo, para uma produtividade de grãos esperada de 8 a 10 Mg ha⁻¹, segundo Raij et al. (1997). A adubação de semeadura foi feita com adubadora mecânica, colocando 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 40 kg de S ha⁻¹ e 50 kg de K₂O ha⁻¹, na forma de superfosfato simples, contendo os dois primeiros macronutrientes e cloreto de potássio. Posteriormente à semeadura, aplicaram-se manualmente, em sulcos feitos com enxada, de 0,05 a 0,10 m de profundidade, 30 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em todos os tratamentos, exceto para a testemunha.

Após a semeadura, fez-se a aplicação de um herbicida seletivo, contendo 370 g L⁻¹ de atrazina mais 290 g L⁻¹ de S-metolacloro, na dose de 4,5 L ha⁻¹ do produto comercial. Foram realizadas três pulverizações com deltametrina, na dose de 0,2 L ha⁻¹ de i.a, na formulação de concentração emulsãoável, aos 11, 17 e 35 DAE, para o controle da lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*) e da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

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

A maturidade dos grãos foi determinada pela formação da camada preta na inserção do grão com o sabugo (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Considerou-se atingida a maturidade fisiológica quando 50% dos grãos da parte central da espiga estavam com a camada preta formada. A altura de plantas e de inserção de espigas foi determinada, aos 125 DAE, após a constatação do ponto de maturidade fisiológica dos grãos de milho, medindo-se a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha. Para a espiga, foi medida a distância entre o colo da planta e a inserção da espiga principal (superior), em amostras de 30 plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela.

A colheita foi realizada manualmente, aos 132 DAE. A área útil constou de 20 amostragens de três metros de comprimento, totalizando uma área de 42 m² (20 amostras x 0,7 espaçamento x 3 m), coletadas aleatoriamente ao longo da área da parcela, referente a cada tratamento. Eliminou-se, no mínimo, uma fileira nas extremidades da área e no mínimo duas plantas de milho nas laterais. Na colheita, foram coletadas em tor-

no de 252 plantas competitivas por parcela, as quais formaram a base da determinação dos parâmetros de produção da cultura.

Após a pesagem dos grãos de milho, retirou-se uma amostra de 1 kg, de cada tratamento, que foi posta dentro de saco de plástico e mantida fechada, para a determinação do teor de água e massa de 1.000 grãos, segundo Brasil (1992). Os valores de teores médios de água dos grãos foram corrigidos para o teor de 13%.

O estande final foi submetido à análise de variância, aplicando o teste F e comparação de médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para os demais parâmetros, realizou-se 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; Barbin, 2003).

Resultados e Discussão

Verificou-se que houve uma boa distribuição das chuvas, capaz de atender, de modo geral, à necessidade hídrica da cultura de milho, especialmente no estádio de floração e de

enchimento dos grãos (Figura 2a). Nos meses de novembro a março, houve precipitações pluviais de 117 mm, 103 mm, 275 mm, 70 mm e 114 mm, respectivamente, ocorrendo maior intensidade de chuva no mês de janeiro, com um total de 562 mm. A necessidade hídrica do milho, segundo Doorenbos & Kassam (1994), para se obter produtividade máxima, está entre 500 e 800 mm de água, no período da semeadura a maturação fisiológica, dependendo do clima. Fancelli & Dourado Neto (2000) citam que a exigência mínima é de 350 a 500 mm de precipitação pluvial no verão, para que se produza a contento.

Os valores das tensões de água no solo comprovam a boa distribuição pluviométrica ocorrida no período do 16º ao 125º DAE. As tensões determinadas a 0,20 m foram maiores que 70 kPa somente em um curto período de tempo, de 96 a 100 DAE, aproximadamente, enquanto nos tensiômetros instalados a 0,40 m de profundidade as tensões sempre estiveram abaixo desse valor (Figura 2b). No cultivo do milho irrigado, Fancelli & Dourado Neto (2000) recomendam proceder à irrigação toda vez que os valores da tensão de água no solo se encontrarem entre 30 e 55 kPa.

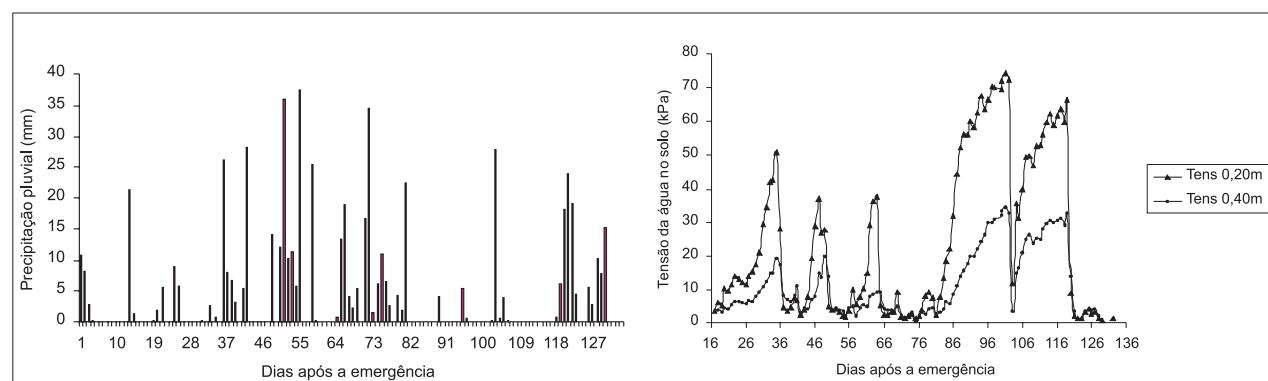


FIGURA 2. Valores das precipitações pluviais (mm) e das tensões da água no solo (kPa), 0,20 e 0,40 m de profundidade, no período da emergência à colheita do milho. Piracicaba-SP, 2004/05.

Componentes da planta e da produção do milho

No estande final, entre os tratamentos, não houve diferença significativa ($P > 0,05$), ficando a população final média entre os tratamentos de 60.285 plantas por hectare, variando de 60.158 a 60.396. A altura de plantas ($P < 0,05$) e de inserção de espigas ($P < 0,01$) ajustou-se a um modelo quadrático (Figura 3). A altura máxima de plantas de milho (2,43 m) correspondeu a uma dose de 190 kg ha⁻¹ de N e a de inserção de espiga (1,31 m), de 175 kg ha⁻¹ de N. Silva et al. (2005) avaliaram doses crescentes de N (0, 30, 80, 130 e 180 kg ha⁻¹ de N), obtendo-se os pontos de máximo com as doses de 171 e 158 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Mar et al. (2003) também verificaram que a altura de plantas de milho respondeu de forma quadrática às doses crescentes de N (30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹); a máxima altura de plantas (2,1 m) e de inserção de espigas (0,99 m) foram obtidas com as doses de 121,5 kg ha⁻¹ e 116,1 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Verifica-se que o número de espigas por hectare aumentou com o incremento das doses de N (Figura 4), variando de 61.190 a 69.841, correspondendo a um incremento de 12,38%. O melhor modelo de regressão que se ajustou foi o linear ($P < 0,01$), com um coeficiente de determinação (R^2) igual 92,63%, indicando que a variação do número de espigas por hectare das plantas de milho, variável dependente 'y', é explicada por esse modelo de regressão. Duete (2000) também encontrou efeito das doses crescentes de nitrogênio sobre o número de espigas com um modelo de regressão linear ($P < 0,05$).

Observa-se, pela Figura 5, que a massa de mil grãos de milho aumentou com o incremento das doses de N, variando de 277 a 324 g, com um incremento de 14,5%. O melhor modelo

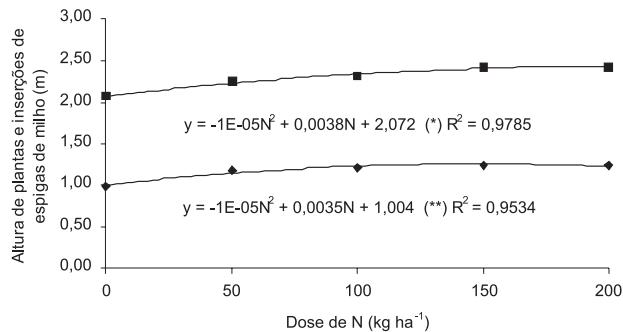


FIGURA 3. Altura de plantas e de inserção de espigas de milho (m), determinadas em função das diferentes doses de nitrogênio (kg ha⁻¹). Piracicaba-SP, 2004/05. (*) e (**) significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

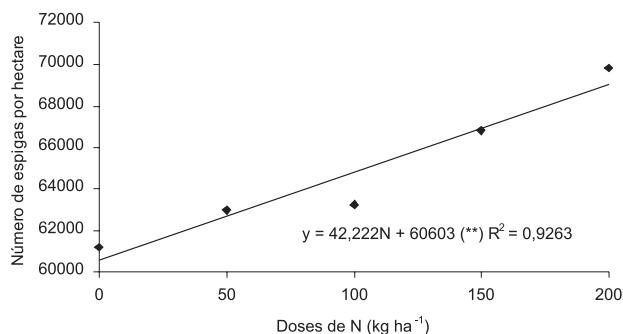


FIGURA 4. Número médio de espigas por hectare, determinado em função das diferentes doses de nitrogênio (kg ha⁻¹). Piracicaba-SP, 2004/05. (**) significativo a 0,01 de probabilidade, pelo teste F.

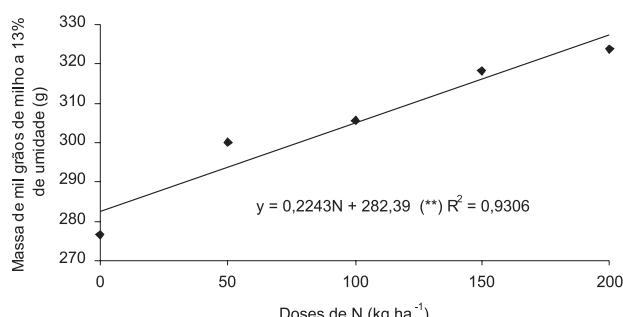


FIGURA 5. Massa média de mil grãos de milho, a 13% a base de umidade, determinada em função das diferentes doses de nitrogênio (kg ha⁻¹). Piracicaba-SP, 2004/05. (**) significativo a 0,01 de probabilidade, pelo teste F.

de regressão que se ajustou foi o linear ($P < 0,01$), com um coeficiente de determinação (R^2) igual 93,06%, indicando que a variação da massa média de mil grãos de milho a 13% de umidade, variável dependente 'y', é explicada por esse modelo de regressão.

A massa de mil grãos é considerada um importante componente para avaliar a produtividade de grãos de milho, uma vez que, após o florescimento, qualquer tipo de estresse a que a planta seja submetida, de natureza biótica ou abiótica, poderá afetá-lo significativamente (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Assim, a deficiência ou a fitotoxicidade de N poderá reduzir a massa de grãos das plantas de milho (Soares, 2003). Silva et al. (2005), trabalhando com as doses 0 a 180 kg ha⁻¹ de N, observaram também que a massa de 1000 grãos aumentou de forma linear, variando de 286,36 g a 316,96 g.

Sangui & Almeida (1994) também encontraram efeito significativo ao avaliarem doses crescentes de N, verificando efeito linear da adubação N sobre a massa de mil grãos de milho, sendo que a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N proporcionou aumento de 7% em relação à testemunha (0 kg.ha⁻¹ de N). Destacaram que o aumento na massa de mil grãos pode ter sido conseguido devido ao fato de que as maiores doses de N mantiveram atividade fotossintética por um período mais prolongado, o que resultou no maior acúmulo de carboidratos nos grãos. Entretanto, Ferreira et al. (2001) encontraram resposta quadrática, sendo que a massa máxima de mil grãos (352 g) foi obtida para a dose de 207 kg de N ha⁻¹.

Verifica-se, na Figura 6, que o número de grãos por espiga de milho ajustou-se a um modelo quadrático em função das doses de N aplicadas ($P < 0,05$), com um coeficiente de determinação (R^2) igual 85,81%, indicando que a variação do número de grãos por espiga de mi-

lho, variável dependente 'y', é explicada por esse modelo de regressão quadrática. O número máximo de grãos por espiga de milho (502 grãos), em função das doses de N, foi obtido com a aplicação de 119 kg ha⁻¹ de N.

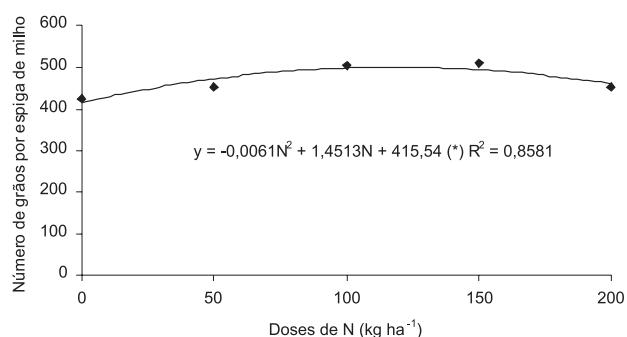


FIGURA 6. Número de grãos por espiga de milho, determinado em função das diferentes doses de nitrogênio (kg ha⁻¹). Piracicaba-SP, 2004/05. (*) significativo a 0,05 de probabilidade, pelo teste F.

O rendimento de grãos do milho está diretamente associado às variações no número de grãos por espiga, o qual dependerá das taxas de crescimento externadas pela cultura durante o florescimento (Cantarero et al, 1999). Soares (2003) observou também que a aplicação de N em doses crescentes exerceu grande influência no número de grãos de milho por fileira. O número de grãos por planta e por unidade de área constitui um dos mais importantes componentes determinantes do rendimento da cultura, o qual é influenciado por eventos ocorridos entre a emissão da quarta e da décima folha, além daqueles evidenciados no florescimento (fecundação). Em área tropical, esse é o parâmetro que, normalmente, concorre para as maiores oscilações de rendimento da cultura. A obtenção do maior número de grãos possível é função da população e do número de espigas encontradas por planta (proliferação) e por área (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

O incremento nas doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N) promoveu aumento linear no número de grãos por espiga (Amaral Filho, 2005).

Verifica-se, pela Figura 7, que o número de grãos por fileira de espiga de milho ajustou-se a um modelo quadrático, em função das doses de N aplicadas ($P < 0,05$), com um coeficiente de determinação (R^2) igual 69,95%, indicando que a variação do número de grãos por fileira de espiga de milho, variável dependente 'y', é explicada por esse modelo de regressão quadrática. O número máximo de grãos por fileira de espiga de milho, em função das doses de N, foi obtido com a aplicação de 116 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a 39 grãos por fileira, aproximadamente. Silva et al. (2005) também constataram que o número de grãos por fileira aumentou de forma quadrática, em função do aumento das doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N), com a máxima eficiência técnica de 154 kg de N. Já Fernandes et al. (2005) não encontraram efeito significativo ($P > 0,05$) das doses de N (0, 30, 90 e 180 kg ha⁻¹) em relação ao número de grãos por fileira por espiga.

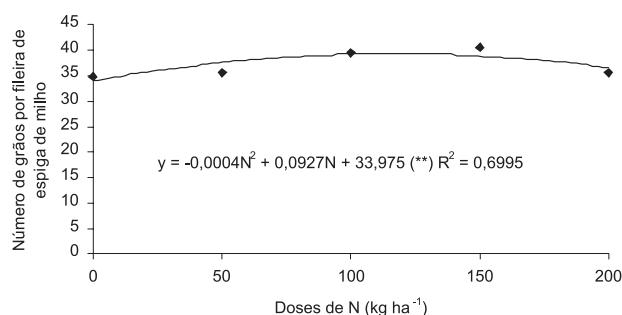


FIGURA 7. Número de grãos por fileira de espiga de milho, determinado em função das diferentes doses de nitrogênio (kg ha⁻¹). Piracicaba-SP, 2004/05. (**) significativo a 0,01 de probabilidade, pelo teste F.

Verifica-se, pela Figura 8, que a prolificidade e o número de espigas por planta de milho ajustou-se a um modelo linear em função das doses de N aplicadas ($P < 0,01$), com um coeficiente de determinação (R^2) igual 93,78%, indicando que a variação da prolificidade das plantas de milho, variável dependente 'y', é explicada por esse modelo de regressão linear. Houve uma variação da prolificidade de 1,01 a 1,16, indicando que esse parâmetro responde à adubação de N; entretanto, a prolificidade cresce, mas, o tamanho, principalmente da segunda espiga, muitas vezes torna-se muito pequeno, além de a espiga ficar desgranada e deformada, deixando a entender que o aumento da prolificidade não significa crescimento de produtividade de grãos de milho, apesar de ter a sua contribuição. Esses resultados estão de acordo com Ferreira (1997), Duete (2000) e Soares (2003), que também observaram um aumento significativo do número de espigas por planta de milho, ao efetuarem a aplicação de doses crescentes de N. Entretanto, Ferreira et al. (2001) encontraram modelo de regressão quadrático, com o incremento das doses de N.

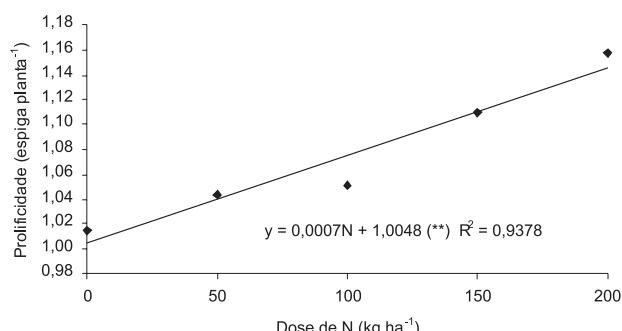


FIGURA 8. Prolificidade (número de espigas por planta), determinada em função das diferentes doses de nitrogênio (kg ha⁻¹). Piracicaba-SP, 2004/05. (**) significativo a 0,01 de probabilidade, pelo teste F.

A produtividade média de grãos de milho, a 13% de umidade, ajustou-se a um modelo quadrático, em função das doses crescentes de N ($P < 0,01$), com um coeficiente de determinação (R^2) igual 98,95%, indicando que a variação da produtividade média da massa de grãos, variável dependente ‘y’, é explicada por esse modelo de regressão quadrática (Figura 9). A máxima produtividade técnica de massa de grãos de milho a 13%, de umidade ($10.446 \text{ kg ha}^{-1}$), foi obtida com a aplicação de 180 kg ha^{-1} de N, correspondendo a um incremento de 31,5%, em relação ao tratamento testemunha. Esse aumento demonstra que, apesar de o solo possuir boa fertilidade e teor de MO (32 g dm^{-3}), o que o classifica como de baixa resposta à adubação nitrogenada (Raij et al., 1997), houve considerável resposta à aplicação desse nutriente, o que, provavelmente, está relacionado com o genótipo utilizado. A menor produtividade foi de 7.155 kg ha^{-1} de massa de grãos; entretanto, esse valor encontra-se bem acima da produtividade média nacional dos últimos cinco anos (safra 2000/01 a 2004/05), que foi de 3.255 kg ha^{-1} (FNP Comercial e Consultoria, 2005). Os componentes da planta que mais influenciaram a

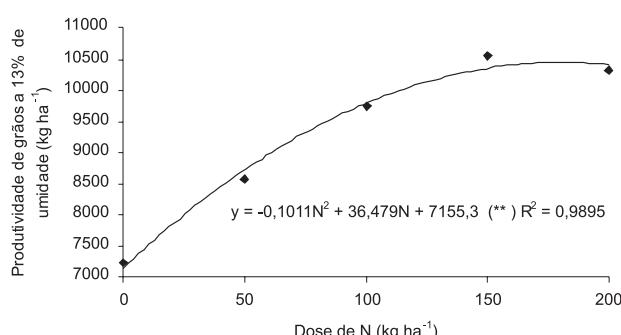


FIGURA 9. Produtividade média de grãos de milho (kg ha^{-1}), a 13% de umidade, determinada em função das diferentes doses de nitrogênio (kg ha^{-1}). Piracicaba-SP, 2004/05. (**) significativo a 0,01 de probabilidade, pelo teste F.

resposta quadrática da produtividade foram o número de grãos por fileiras e número de grãos por espiga de milho.

Em Quebec – Canadá, Liang & Mackenzie (1994) encontraram também resposta quadrática da produtividade de grãos de milho às doses de N, em solo “Humic Gleysol” e “Grew Brown Luvisol”; para atingir a produtividade máxima de grãos de milho, necessitou-se de 300 e 350 kg ha^{-1} de N. Silva et al. (2005) também verificaram, no estado de São Paulo, que a máxima produtividade de milho foi alcançada com a dose de 166 kg ha^{-1} de N.

Efeitos quadráticos em função de doses crescentes de N também foram verificados em outros estudos (Fernandes et al., 1999; Ferreira et al., 2001; Mar et al., 2003; Duarte, 2003; Soares, 2003; Fernandes et al., 2005).

A produtividade de grãos da cultura de milho dependente diretamente da atividade fotossintética da planta, sendo que a fotossíntese, por sua vez, depende da área foliar e do tempo de permanência das folhas em plena atividade na planta (Fancelli & Dourado Neto, 2000), o que, por sua vez, depende do estado nutricional da planta, principalmente N, em virtude de esse nutriente estar relacionado diretamente com a divisão e a expansão celular, influenciando o crescimento e o desenvolvimento da planta (Büll, 1993). Nas adubações nitrogenadas, é importante que a quantidade de N a ser aplicada na cultura do milho seja a mais exata possível, minimizando tanto os excessos, que prejudicam a qualidade ambiental e oneram o produtor, quanto as quantidades deficientes, que comprometem a produtividade projetada (Amado et al., 2002).

Conclusões

O incremento na dose de N proporcionou aumento na massa de 1000 grãos e na pro-

lificidade (número de espiga por planta). Houve resposta (quadrática) às doses crescentes de N para altura de planta e de inserção de espiga de milho, número de grãos por espiga de milho, número de grãos por fileira e produtividade de grãos.

Literatura Citada

- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, 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. (Eds.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- 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, v. 26, p. 241-248, 2002.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 467-473, 2005.
- ANGHINONI, I.; BAYER, C. Manejo da fertilidade do solo. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; MARINO, J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênesis, 2004. p. 251-263.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO. Ed. Gazeta Santa Cruz. 2005. 136p.
- BARBIN, D. **Planejamento e análise de experimentos agronômicos**. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA; DNDV; CLAV, 1992. 265 p.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.
- CAMARGO, F. A. O.; SÁ, E. L. S. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; MARINO, J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênesis, 2004. p. 93-116.
- CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 139-182.
- CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P.; ANDRADE, C.A de. Manejo de nitrogênio e da matéria orgânica em milho no sistema de plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho: tecnologia e produção**. Piracicaba: ESALQ/USP/LVP, 2005. p.59-82.
- CANTARERO, M. G.; CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Night temperature at sinking affects kernel set in Maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 703-710, 1999.
- COSTA, F. M. P da.; DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.; BONNECARRERE, R. A. G.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Nitrogênio e produtividade de grãos de milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho: tecnologia e produção**. Piracicaba: ESALQ/USP/LVP, 2005. p. 118-128.

- 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).
- DUARTE, A. P. Resposta de cultivares de milho ao nitrogênio no sistema plantio direto e sua influencia na qualidade dos grãos.** 2003. 174 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DUETE, R. R. C. Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando ^{15}N .** 2000. 152 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, A. C.** Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 4, p. 195-204, 2005.
- FERNANDES, L. A.; VASCOLNCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A.A.** Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 1691-1698, 1999.
- FERREIRA, A. C. B. Efeito da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho.** 1997. 73 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FERREIRA, A. C. B.; ARAUJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A.** Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, mobilidênio e zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 131-138, 2001.
- FRANÇA, G. E.; RESENDE, M.** Manejo de corretivos e fertilizantes em agricultura irrigada. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 107-125.
- 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. 309 p. (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz; n° 11).
- JAYNES, D. B.; COLVIN, T. S.** Nitrate losses in tile drainage from mid-season N-fertilizer. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING 2005. Tampa.. Meeting... Tampa: ASAE, 2005. CD-ROM.
- LAMSTER, E. C.** Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas – Provárzeas. **Informe Agropecuária**, Belo Horizonte, v. 6, n. 65, p. 3-8, 1980.
- LIANG, B. C.; MACKENZIE, A. F.** Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, p. 235-240, 1994.
- 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, n. 2, p. 267-274, 2003.

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. (Eds.). **Manejo de solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 11-36.

RAIJ, B.; 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, 1997. 285 p. (IAC.Boletim Técnico, 100).

RESENDE, M; ALBUQUERQUE, P. E. P de; COUTO, L. Manejo de irrigação. In: RESENDE, M; ALBUQUERQUE, P. E. P; COUTO, L. (Coord.). **A cultura do milho irrigado**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. p. 266-301.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. de. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.

SILVA, E. C.; FERREIRA, S. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; GUIMARÃES, G. L. Épocas e for-

mas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 725-733, 2005.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho**. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Departamento de Ciências Exatas. Base de dados da Estação convencional. Médias mensais e totais de chuva: período 1917 a 2006. Disponível em: <http://www.ciagri.usp.br/~emdabreu/MEDIAS.TXT>. Acesso em: 17 ago. 2006.

VANLOON, G. W.; DUFFY, S. J. **Environmental chemistry - a global perspective**. New York: Oxford University Press, 2000. p. 337-347.