UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE PLANTAS PARA A MÁXIMA PRODUTIVIDADE DE MILHO E MELHOR RETORNO ECONÔMICO NA REGIÃO SUL DO MARANHÃO.

Francisco de Brito Melo
Engenheiro agrônomo

JABOTICABAL, SP – BRASIL
2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE PLANTAS PARA A MÁXIMA PRODUTIVIDADE DE MILHO E MELHOR RETORNO ECONÔMICO NA REGIÃO SUL DO MARANHÃO.

Francisco de Brito Melo
Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá
Co – Orientador: Dr. Milton José Cardoso

Tese apresentada à Unesp - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Abril de 2010

Melo, Francisco de Brito
M528a Adubação nitrogenada e densidade de plantas para a máxima produtividade de milho e melhor retorno econômico na região sul do maranhão. / Francisco de Brito Melo. – – Jaboticabal, 2010
ix, 52f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010
Orientador: José Eduardo Corá.
Banca examinadora: José Eduardo Corá, Luiz Evaldo de Moura Pádua, Adeodato Ari Cavalcante Salviano, José Carlos Barbosa, Edson Luiz Mendes Coutinho.
Bibliografia

1. População de planta. 2. Plantio direto. 3. Fertilizante. 4. Uréia. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.86:633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FRANCISCO DE BRITO MELO - Nasceu em Piracuruca, PI no dia 24 de outubro de 1956. Em março de 1979, iniciou o curso de graduação em agronomia na Universidade Federal do Piauí, localizada em Teresina, PI, onde foi monitor entre março de 1980 e dezembro de 1983, concluindo o curso de agronomia na mesma Universidade em 1983. De março de 1984 a abril de 1987 realizou o curso de pós-graduação em agronomia, em nível de mestrado (área de concentração em Solo e Nutrição de Plantas), na Universidade Federal do Ceará, situada em Fortaleza – CE. Em 11 de maio de 1987, iniciou vínculo empregatício como pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, localizada em Teresina- PI; em agosto de 2006, iniciou o seu doutorado em agronomia, área de concentração em produção vegetal, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista, situada em Jaboticabal, SP, concluindo-o em 27 de abril de 2010.

O mundo está nas mãos daqueles que

têm coragem de sonhar, e correr o risco de

viver seus sonhos. Cada qual com seu talento.

Paulo Coelho

DEDICO

Ao meu pai, José de Carvalho Brito (em memória) e

à minha mãe Raimunda Rodrigues de Brito,

por terem permitido que eu estudasse.

OFEREÇO

À minha esposa Maria do Socorro Bandeira Brito

e aos meus filhos Francisco de Brito Melo Júnior e

Caroline Bandeira de Brito Melo por terem aceitado

seguir Juntos na realização do meu sonho e, por estar

ao meu lado apoiando, incentivando, ajudando,

participando e, principalmente, por me entender.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/UNESP) e aos professores do Curso de Pós-graduação Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal, pelo aperfeiçoamento profissional.

À Universidade Federal do Piauí/Centro de Ciências Agrárias pela oportunidade em participar do DINTER.

Aos professores Luiz Evaldo de Moura Pádua e Jairo Osvaldo Cazetta pelo empenho e dedicação na coordenação do DINTER.

Ao meu orientador Prof. Adjunto Dr. José Eduardo Corá e ao meu co-orientador Dr. Milton José Cardoso, pelas orientações, ensinamentos, apoio e amizade.

Ao professor Dr. José Carlos Barbosa, pela colaboração durante a confecção dos gráficos de superfície de resposta.

Aos engenheiros agrônomos e pesquisadores da Embrapa Meio-Norte, Valdenir Queiroz Ribeiro, Aderson Soares de Andrade Júnior e Maria do Perpetuo Socorro Bona do Nascimento pela colaboração durante a execução das análises estatísticas, econômicas e revisão do summary.

Aos proprietários da fazenda Santa Luzia Osvaldo Massao Ishii,, Paulo Massao Yzui e Jorge Massaaki Ido, pela concessão da área para a execução do experimento.

Ao engenheiro agrônomo Adelmo Oliveira Gomes pelo fornecimento de dados para compor o cálculo do custo de produção.

Aos assistentes de pesquisa Benedito Inácio de Abreu Neto e José de Anchieta Fontenele pela colaboração durante a condução do ensaio no campo.

À PETROBRÁS e Embrapa Meio-Norte pelo financiamento do projeto de pesquisa que deu origem a tese de doutorado.

SUMÁRIO

Página

RESUMO ..... **viii**
Palavras-Chaves ..... **viii**
SUMMARY ..... **ix**
Keywords ..... **ix**
1 Introdução **1**
2 Revisão de Literatura **2**
2.1 Importância do milho no Brasil e no mundo **2**
2.2 Importância do nitrogênio para a produtividade da cultura **3**
2.3 Fatores que afetam a eficiência da adubação com o nitrogênio **7**
2.4 Efeito da densidade de plantas na produtividade do milho **17**
2.5 Avaliação econômica **20**
3 Material e Métodos **21**
4 Resultados e Discussão **26**
5 Conclusões **37**
6 Referências **37**

ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE PLANTAS PARA A MÁXIMA PRODUTIVIDADE DE MILHO E MELHOR RETORNO ECONÔMICO NA REGIÃO SUL DO MARANHÃO.

RESUMO - Na cultura do milho (*Zea mays* L.), um dos mais importantes cereais cultivados e comercializados no mundo, o suprimento inadequado de nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes da produtividade de grãos. Também a densidade inadequada de plantas é uma das causas dos baixos rendimentos das lavouras de milho no Brasil. O trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de doses de N e de densidades de plantas nos componentes de produção, na produtividade de grãos, no teor foliar de N e na receita líquida em cultura de milho. A área experimental foi instalada em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, cultivada em sistema de plantio direto, localizada no município de São Raimundo das Mangabeiras, MA. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de N (0; 50; 100; 150 e 200 kg ha^{-1}) e quatro densidades de plantas (25.000, 50.000, 75.000 e 100.000 plantas por hectare). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e os tratamentos segundo o arranjo em um esquema fatorial 5 x 4. As maiores produtividades de grãos de milho foram obtidas quando foram aumentadas concomitantemente as doses de nitrogênio e a densidade de plantas, atingindo a máxima produtividade técnica de grãos de milho com 120 kg ha^{-1} de N e densidade de 83.000 plantas por hectare. O nível crítico de N na folha do milho foi de 25 g kg^{-1}, acima do qual ocorreu o consumo de luxo. A utilização dos insumos (dose de nitrogênio e densidade de plantas) de forma combinada e equilibrada proporcionou valor de receita líquida técnica de US$ 1.493,00 ha^{-1} e econômica de US$ 1.502,00 e a relação beneficio/custo técnica e econômica de 1,70 e 1,71, respectivamente.

Palavras-Chave: densidade de semeadura, fertilizante, semeadura direta, uréia, *Zea mays*

NITROGEN FERTILIZATION AND PLANT DENSITY FOR MAXIMUM CORN YIELD AND BETTER ECONOMIC RETURNS IN THE SOUTH OF MARANHÃO - Brazil.

SUMMARY - In the corn (*Zea mays* L.) crop, one of the most important cultivated and marketed cereals in the world, the inadequate nitrogen (N) supply is one of the main limiting factors to the kernel productivity. In Brazil, the inadequate plant density reduces the corn cropping income. This research aimed to evaluate, in the corn crop the influence of different levels of N application and plant density upon the production components, productivity, leaf N content and the best economical return. In the experimental area, located in São Raimundo das Mangabeiras, MA, Brazil, the soil is a dystrophic loamy textured Red Yellow Latosol, cultivated under the no tillage system. The treatments were made up by the combination of five rates of N (0; 50; 100; 150, and 200 kg ha^{-1}) and four plant densities (25,000, 50,000, 75,000, and 100,000 plants per ha). The completely randomized experimental design, with four repetitions was used, with treatments arranged in a 5 x 4 factorial. The results showed that the greatest grain yields were achieved when increasing both population density and nitrogen level. The highest kernel productivity was obtained with 120 kg ha^{-1} of N and 83,000 plants per ha. The leaf critical N level was 25 g kg^{-1}, above which occurring the luxury consumption. The use of inputs (nitrogen rates and plant density) in a combined and balanced way provided a U.S. $ 1,493.00 ha^{-1} technical net revenues and a U.S. $ 1,502.00 economical net revenue, with a benefit/technical and a benefit/economical cost ratio of 1.70 and 1.71, respectively.

Keywords: fertilizer, no tillage, sowing density, urea, *Zea mays*

1 INTRODUÇÃO

O milho em função de seu uso na alimentação humana, animal e ultimamente utilizado como matéria prima para biocombustível, é o mais importante cereal cultivado e comercializado no mundo. No Brasil de acordo com o IBGE (2010) no ano de 2008 foram cultivados 14.747 milhões de ha e colhidos 58,933 milhões de toneladas de grãos de milho. No Estado do Maranhão (IBGE, 2010) também no mesmo ano foram cultivados 367,079 mil hectares e colhidos 353,045 mil toneladas de grãos de milho; isso representa 2,4% da área colhida e 0,8% da produção de grãos do país.

O estado do Maranhão, com uma área territorial de 32,5 milhões de hectares (SÃO LUÍS, 1991), apresenta 9,8 milhões de hectares de Cerrado, correspondendo a 4,9% do Cerrado no Brasil ou 30,5% do Cerrado no Nordeste.

O nitrogênio está incluído entre os nutrientes que mais limitam a agricultura no cerrado brasileiro por causa das suas condições climáticas, principalmente de temperatura e de umidade, que contribuem para acelerar os processos de decomposição da matéria orgânica e perdas de N, resultando em solos com baixos teores desse nutriente (VARGAS, et al., 2004)

Na adubação nitrogenada da cultura do milho, um aspecto a ser considerado é o seu retorno econômico, observando-se os custos fixos e os operacionais. A quantidade do nutriente a ser aplicada deve ser aquela que proporcione a máxima produtividade econômica, ou seja, a dose que permita a máxima receita líquida. Portanto, não há recomendação pré-estabelecida para qualquer situação, ou seja, para outras regiões com solo, clima, sistema de cultivo e material genético diferentes. O recomendado é fazer calibrações para cada situação e sempre levando em conta a produtividade esperada, nível tecnológico e, principalmente, o fator econômico.

Dessa forma, pesquisas regionais visando determinar as doses econômicas de N para o milho são de grande importância para que o agricultor possa racionalizar os custos de produção e auferir maiores lucros com a cultura.

A obtenção de maior produtividade de milho, também, é afetada pela densidade de plantas, a qual depende do híbrido, do nível de fertilidade do solo, da disponibilidade

hídrica para a cultura e do grau tecnológico a ser utilizado no sistema de plantio.

Baseando-se no exposto o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio e densidade de plantas nos componentes de produção, na produtividade de grãos, no teor foliar de N e no retorno econômico da cultura de milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do milho no Brasil e no mundo

O milho em função de seu uso na alimentação humana e animal e ultimamente utilizado como matéria prima para biocombustível, é o mais importante cereal cultivado e comercializado no mundo. No Brasil de acordo com o IBGE (2010) no ano de 2008 foram cultivados 14.747 milhões de ha e colhidos 58,933 milhões de toneladas de grãos de milho. No Estado do Maranhão (IBGE, 2010) também no mesmo ano foram cultivados 367,079 mil hectares e colhidos 353,045 mil toneladas de grãos de milho; isso representa 2,4% da área colhida e 0,8% da produção de grãos do país.

No cenário mundial, o Brasil situa-se como o terceiro maior produtor de milho. Apesar do alto potencial produtivo desta cultura, evidenciado por produtividades de grãos de até 16 Mg ha^{-1}, alcançados em condições experimentais, a produtividade média no Brasil é de apenas 3 Mg ha^{-1}, muito baixa quando comparada com produtividades médias de 8,7 Mg ha^{-1} e 4,7 Mg ha^{-1}, obtidas nos Estados Unidos e na China, principais produtores mundiais desta cultura (ARAÚJO et al., 2004).

Entre os fatores responsáveis pela alta produtividade da cultura do milho nos Estados Unidos, está o aumento expressivo do uso dos fertilizantes nitrogenados. Enquanto no Brasil a quantidade utilizada desse nutriente é, em média, de 60 kg ha^{-1}, na China é de 130 kg ha^{-1} e nos Estados Unidos, de 150 kg ha^{-1} (DUETE et al., 2008).

2.2 Importância do nitrogênio para a produtividade da cultura

Os ganhos de produtividade de milho nos EUA nas últimas décadas, segundo CANTARELLA & DUARTE (2004), foram proporcionais ao aumento no uso de fertilizantes nitrogenados minerais, associados à alta densidade de semeadura e ao melhoramento genético.

No Brasil, dentre os principais fatores que contribuem para a baixa produtividade do milho, destaca-se a aplicação de quantidade insuficiente de N, nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, que mais influencia o rendimento de grãos e mais onera o custo de produção da cultura (ARAÚJO et al., 2004; SILVA et al., 2005c). Enquanto no Brasil a quantidade utilizada desse nutriente no cultivo do milho é, em média, de 60 kg ha^{-1}, nos Estados Unidos é de 150 kg ha^{-1} e, na China, de 130 kg ha^{-1} (DUETE et al., 2008).

O nitrogênio é um dos principais nutrientes para praticamente todas as culturas. Para o milho, ele desempenha papel importante no acúmulo de proteína e na produtividade de grãos. A disponibilidade de N no solo para as plantas é controlada basicamente pela decomposição da matéria orgânica e principalmente por adubações nitrogenadas.

Segundo MALAVOLTA et al. (1997), o N tem participação na fotossíntese das plantas e como função estruturais, ou seja, é constituinte de aminoácidos e proteínas, bases nitrogenadas e ácidos nucléicos, enzimas e coenzimas, vitaminas, glico e lipoproteínas, fitocromos, clorofila e produtos secundários. Na planta, quase todo o N encontra-se em forma orgânicas, representadas em maior proporção por aminoácidos e proteínas. Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas.

Em contrapartida a deficiência de N manifesta-se, no campo, com a cultura em crescimento intenso, pela coloração verde-pálida das folhas novas e pela clorose nas folhas velhas, que se tornam amareladas no sentido do ápice para o centro, seguindo a nervura central e tomando a forma de um V invertido. Persistindo a carência, a clorose

vai atingindo as folhas menos velhas, podendo alcançar, em casos extremos, toda a planta. Nessa fase, a superfície das folhas mais velhas torna-se inteiramente amarelada (FORNASIERI FILHO, 2007).

Como os sintomas característicos de deficiência de qualquer nutriente apenas se manifestam em casos graves, a identificação do nível nutricional da planta somente é possível pela a análise química da mesma. O órgão de controle mais freqüentemente utilizado é a folha, por ser a sede do metabolismo e refletir na sua composição as mudanças nutricionais.

A utilização do teor de N na folha, como indicador do nível desse nutriente na planta, está baseada na relação existente entre produtividade de grãos e seu teor na folha. Geralmente, o teor de N na folha é capaz de detectar deficiências, mas também possibilita demonstrar o consumo de luxo, em que o teor de N continua aumentando e a produtividade de grãos fica estável com doses altas desse nutriente (FORNASIERI FILHO, 2007).

O N está incluído entre os nutrientes que mais limitam a agricultura no Cerrado brasileiro por causa das suas condições climáticas, principalmente de temperatura e de umidade que contribuem para acelerar os processos de decomposição da matéria orgânica e de perdas de N, resultando em solo com baixos teores desse nutriente (VARGAS et al., 2004).

Vários trabalhos, tanto na literatura nacional como estrangeira, mostram os efeitos do nitrogênio no aumento da produtividade da cultura do milho (COUTINHO et al., 1987; JOKELA & RANDALL, 1997; SILVA et al., 2005c; FERNANDES, 2006; DUETE et al., 2008). Analisando os dados obtidos em 170 experimentos conduzidos em Minas Gerais, FRANÇA et al. (1985) relataram que, em 99% dos ensaios, o milho apresentou resposta positiva à adubação nitrogenada. Resultados, incluindo médias de diversos experimentos, mostram respostas com a aplicação de até 120 kg ha^{-1} de N. O maior incremento, entretanto, foi verificado com a dose de 30 kg ha^{-1} de N, cuja produção foi de 47% superior à testemunha sem adubação (ARGENTA & SILVA, 1999).

VELOSO et al. (2006), no município de Piracicaba, SP, observaram que a

máxima produtividade de grãos de milho (10,5 Mg ha^{-1}) foi obtida com a dose de 180 kg ha^{-1} de N. No entanto ARAÚJO et al. (2004), no município de Morro Agudo, SP, em Latossolo Vermelho distroférrico típico, de textura argilosa, alcançaram a maior produtividade de grãos de milho, 11,2 Mg ha^{-1}, com a maior dose de nitrogênio testada no experimento (240 kg ha^{-1}) e BASTOS et al. (2008), no município de Baixa Grande do Ribeiro, PI, observaram efeito linear, quando aplicaram doses crescentes de nitrogênio na cultura do milho, cultivado em sistema de plantio direto, obtendo produtividade de grãos de 7,7 Mg ha^{-1} com 180 kg ha^{-1} de N.

Trabalhando com doses de N em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura, ESCOSTEGUY et al. (1997) concluíram que a dose de 160 kg ha^{-1} de N proporcionou maior rendimento de grão, quando comparada com a de 80 kg ha^{-1} de N.

KURAMOTO & FERNANDES (1998) concluíram que a dose de 120 kg ha^{-1} de N combinada com aplicações no plantio e cobertura influenciou positivamente o número de espigas/planta e o stand final.

CARDOSO & MELO (1998), testando cinco doses de N (0, 80, 120, 160 e 200 kg ha^{-1}), sendo 1/3 na semeadura e o restante por volta dos 40 dias após a emergência das plantas, em um Neossolo Flúvico, em Teresina, PI, verificaram, que a produção máxima obtida (5.713 kg ha^{-1}) correspondeu à dose de 107 kg ha^{-1}de N. O acréscimo em relação à testemunha foi de 57%, indicando que o N foi um fator limitante. Os autores ainda constataram que o número de grãos por espiga e o peso de 1000 grãos foram os componentes de produção que mais contribuíram para a produtividade de grãos.

SILVA et al. (1999), utilizando tratamentos que constaram de doses de N na semeadura (20, 40, 50, 100 e 200 kg ha^{-1}), e em cobertura (0, 50, 80 e 160 kg ha^{-1}), aplicadas em três épocas, nos estádios de 4-5 folhas, 6-8 folhas e 12 folhas. Os autores concluíram que o tratamento que recebeu 20 kg ha^{-1} de N na semeadura e 80 kg ha^{-1} em cobertura, no estádio de 6-8 folhas, foi o que apresentou maior produtividade de grãos de milho.

FORNASIERI FILHO & CASAGRANDE (2002), trabalhando com épocas de

aplicação de uréia (todo N em semeadura ou todo em cobertura) em milho safrinha, não observaram efeitos significativos de épocas de aplicação e nem de doses de N nas características agronômicas do milho no cultivo safrinha.

Estudando doses de N em milho, FERNANDES et al. (1998), utilizando três sistemas de preparo do solo e quatro doses de N em cobertura (0, 60, 120 e 240 kg ha^{-1}), em solo sob Cerrado, verificaram que os dados de produtividade de grãos de milho se ajustaram à funções quadráticas em relação às doses de N. As máximas produtividades de grãos de milho foram obtidas com as doses de N de 147, 156 e 168 kg ha^{-1}, no sistema de plantio direto, preparo do solo com arado de disco e com arado de aiveca, atingindo produtividades máximas de grãos de 6,2, 5,0 e 4,6 Mg ha^{-1}.

Testando cinco doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha^{-1}) em monocultura de milho e em rotação (milho-soja-milho), na produção de grãos de milho em um Latossolo Vermelho-Escuro, ARAÚJO et al. (2003) verificaram que o sistema de rotação de culturas não afetou a produção de grãos de milho, mas afetou o teor de N nos grãos e, foi observado resposta da adubação nitrogenada na produção de grãos do milho. Resultados semelhantes foram obtidos por OHLAND (2001) o qual observou que, independentemente da cultura antecessora ao milho, a adição de 200 kg ha^{-1} de N proporcionou maior incremento na produtividade e peso de mil grãos em relação à testemunha.

Contradizendo esses autores, SOUZA et al. (2002) verificaram que houve diferença significativa para a produtividade de grãos de milho, para a interação entre a cultura antecessora e doses de N, sendo que a máxima eficiência obtida foi nas doses de 141,9, 138,3, 150,0 kg ha^{-1} de N quando o milho foi semeado em sucessão ao trigo, ervilhaca peluda e nabo forrageiro, respectivamente.

Em Latossolo Vermelho distrófico, SILVA et al. (2005) estudaram doses (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1} de N) e seis combinações de épocas de aplicação de N na cultura do milho sob sistema plantio direto recém instalado e concluíram que a aplicação de metade do N na semeadura e metade no estádio de 4 a 6 folhas, metade do N na semeadura e metade no estádio 8 a 10 folhas e todo o N no estádio de 4 a 6 folhas

proporcionaram maior produtividade de grãos de milho.

Portanto, embora existam inúmeros trabalhos de pesquisa referentes à resposta da cultura do milho às doses de nitrogênio, a interpretação desses resultados exige que sejam considerados alguns fatores como: responsividade do material genético, condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (sistema plantio direto e sistema convencional), época de semeadura (milho safra e safrinha), rotação de culturas, aspectos econômicos, operacionalização, época, modo de aplicação e fontes de nitrogênio empregadas. Isso tudo confirma a regra de que as recomendações de nitrogênio devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas (FERNANDES, 2006).

2.3 Fatores que afetam a eficiência da adubação com o nitrogênio

A recomendação de adubação nitrogenada é complexa, por causa da dinâmica das transformações do N no solo, da sua mobilidade e dos fatores que influenciam no seu aproveitamento pelas plantas. Os principais fatores que podem influenciar o potencial de resposta da cultura ao N são: suprimento de outros minerais, profundidade do perfil do solo com presença efetiva de raízes, tempo de cultivo, sistema de preparo do solo, sistema de cultivo, rotação de culturas, quantidade e distribuição de chuvas, textura do solo, nível de radiação solar, temperatura do solo e teor de matéria orgânica do solo (SOUSA & LOBATO, 2004).

A uréia quando aplicada na superfície do solo está sujeita a perdas na forma de amônia (volatilização). As perdas são maiores quando a uréia for aplicada em solo úmido, seguido de vários dias de sol ou for colocada sobre resíduos de plantas, tais como a palhada formada em sistema de plantio direto (VELOSO, 2006).

A adição de uréia a um solo deve causar um aumento inicial do pH, que decresce para valores abaixo do original, após completa nitrificação do amônio. Os principais fatores que afetam a nitrificação são: aeração, temperatura, umidade, calagem, fertilizante e relação C/N. O nitrato é o íon nitrogenado absorvido

preferencialmente pela maioria das plantas cultivadas. Em condições de baixa concentração de oxigênio, poderá ser perdido por desnitrificação (VICTÓRIA et al., 1992).

Solos que adsorvem nitrato na superfície coloidal contribuem para uma maior eficiência da adubação nitrogenada em função da redução das perdas por lixiviação desse íon. Nas regiões tropicais há adsorção de nitrato em solos ricos em óxidos de ferro e materiais amorfos e a retenção do nitrato está relacionada às propriedades físicas e químicas desses solos, tais como pH, matéria orgânica, superfície de adsorção e concentração eletrolítica (OLIVEIRA et al., 2000).

De uma maneira geral, parte considerável dos nutrientes é retirada do solo pelas culturas. Para ser absorvido pelas plantas, o N orgânico presente na matéria orgânica do solo deve ser antes transformado para a forma mineral, isto é, para NH_4^+ e NO_3^- (realizado por microorganismos quimiorganotrópicos), pelo processo da mineralização, o qual é função da temperatura (maiores taxas ocorrem entre 25 e 30ºC), aeração, umidade e pH do solo. A contribuição da matéria orgânica no suprimento de N para as culturas é difícil de ser avaliada com exatidão, em função da alta dependência dos fatores climáticos de difícil previsibilidade; estima-se, de uma forma expedita, que 5% da matéria orgânica é constituída de N e somente 2% desta, é mineralizada anualmente (CAMARGO & SÁ, 2004).

Na última década, as recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho evoluíram muito no Brasil. As principais inovações estão na segmentação de doses de nutrientes conforme a produtividade esperada, a qual é função das diferenças de tipos de solos, manejo, material genético e época de semeadura (CANTARELLA & DUARTE, 2004).

A tendência de aumento das doses de N na semeadura do milho é principalmente em função do aumento de produtividade da cultura pela utilização de híbridos de alto potencial de produção, mas reflete também a maior demanda por N nas áreas em plantio direto e ao reconhecimento, pelos resultados encontrados em trabalhos científico, da importância do fornecimento deste nutriente ao milho nos

primeiros estádios de desenvolvimento (CANTARELLA & DUARTE, 2004).

No estado de São Paulo, a recomendação de adubação nitrogenada na cultura do milho é baseada na classe de resposta a N (alta resposta, média resposta e baixa resposta esperada), na expectativa de produtividade esperada de grãos e nos teores de potássio e fósforo no solo (CANTARELLA et al., 1997). No entanto, existem vários outros fatores que poderão interferir na resposta do milho à aplicação de N em sistema de plantio direto, que deveriam ser levados em consideração na recomendação de adubação deste nutriente. Dentre estes fatores destacam-se a disponibilidade inicial de N no solo, o tipo de seqüência de culturas em sucessão, o sistema de rotação de culturas e o tempo de adoção do sistema (SÁ, 1996).

Nesse sentido, AMADO; MIELNICZUK & AITA (2002) recomendam a adubação nitrogenada baseada no teor de MO, expectativa do rendimento de grãos de milho e também propõem um terceiro parâmetro que é a contribuição em N das culturas de coberturas antecedentes.

MOREIRA & SIQUEIRA (2002), avaliando os efeitos de sistema de cultivo na mineralização do N, observaram uma maior quantidade de N mineralizado em solo com cultivo convencional do que em sistema de plantio direto. Isto devido ao efeito estimulante do revolvimento do solo sobre os microrganismos e seus processos oxidativos, sendo as bactérias e predadores destas, as amebas, os principais responsáveis pela maior mineralização do N no solo.

Geralmente, quando a cultura do milho é implantada no sistema de plantio direto em sucessão a gramíneas, ocorre deficiência inicial de N (ARGENTA & SILVA, 1999). Ao utilizar o carbono da palhada das gramíneas para fornecimento de energia, os microrganismos do solo imobilizam o N mineral, diminuindo sua disponibilidade para a cultura do milho (AITA et al., 2001). Com a continuidade do processo de decomposição dos resíduos das gramíneas, há diminuição da relação C/N, uma vez que o carbono está sendo perdido na forma de CO_2 e o N, conservado pela formação da massa celular microbiana (GOMES et al., 2007).

Decorrida a fase mais ativa da decomposição, uma fração do N, que foi imobilizado inicialmente, poderá ser mineralizada após a morte de parte dos microrganismos, aumentando a quantidade de N disponível no solo, não suficiente para atender à demanda das plantas de milho. Para solucionar esse problema, ARGENTA & SILVA (1999) destacam algumas estratégias de manejo do N em cultivos de milho em sucessão à aveia, como o atraso da época de semeadura do milho após a dessecação da aveia, a aplicação de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da aveia e a aplicação deste nutriente no manejo da aveia, ou seja, em pré-semeadura do milho. Dessa forma, recomenda-se que o manejo do N para cultivo de milho deva ser analisado caso a caso, evitando-se assim generalizações.

Para a região Centro-Oeste, visando diminuir a deficiência inicial de N no milho, recomenda-se a aplicação de maior dose na semeadura, em relação aos sistemas convencionais (ARGENTA & SILVA, 1999; SILVA et al., 2005), aumentando-se assim a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação de N para o desenvolvimento das plantas. Isso demonstra a importância do conhecimento da dinâmica de liberação de nutrientes pelas culturas antecessoras ao milho (AMADO et al., 2002), principalmente no sistema de plantio direto.

GOMES et al. (2007) avaliando o efeito da época de aplicação e de doses de N nos caracteres agronômicos da cultura do milho, cultivado no sistema de plantio direto, no município de Rio Verde (GO), concluíram que a dose de 150 kg ha^{-1} de N proporcionou maiores rendimento de grãos, teor de N nas folhas, peso de grãos por espiga e altura de plantas. Os maiores teores de N nas folhas foram obtidos nas aplicações em cobertura, semeadura mais 30 dias em cobertura e semeadura mais 30 e 45 dias em cobertura e a maior rentabilidade foi obtida com a aplicação de 25 kg ha^{-1} de N na semeadura.

O processo microbiano de mineralização/imobilização é influenciado pela relação C/N e o manejo de resíduos (incorporado/superfície), temperatura do solo, regime de água/aeração (FERNANDES, 2006), sendo intenso em condições aeróbicas e muito pequena em condições de anoxia (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). A mineralização do

N de resíduos culturais também é influenciada pela concentração de N, sendo tanto maior quanto maior for o teor de N nos tecidos (FERNANDES, 2006).

No início do sistema plantio direto, ocorre, na verdade, aumento na imobilização do N devido à maior biomassa. A alteração no fluxo de resíduos altera a dinâmica do N, ocorrendo inicialmente imobilização líquida do N, com posterior reversão desse processo para mineralização líquida após alguns anos de plantio direto. Essas alterações resultam da elevação no teor de C no solo e assim dependem do manejo do agrossistema, especialmente no que diz respeito à produção de palha e aplicação de N-mineral na cultura (SÁ, 1999).

AMADO & MIELNICZUK (2000), avaliando a mineralização do N total no sistema convencional, preparo reduzido e SPD, observaram que a mineralização do N total do solo durante o ciclo do milho foi maior no sistema convencional e preparo reduzido que no sistema de plantio direto, sendo que a disponibilidade de N das culturas de cobertura foi influenciada pela quantidade total de N e da relação C/N da fitomassa.

De acordo com MOREIRA & SIQUEIRA (2002), a taxa de mineralização do N diferiu muito entre o solo sob cerrado natural e o solo adjacente, cultivado com arroz.

O uso do isótopo ^{15}N para as medidas de eficiência de fertilizações nitrogenadas e a realização de estudos de balanço de nitrogênio que forneçam antecendentes das entradas e que avaliem as perdas e os processos de transformação do N no sistema são essenciais (FERNANDES, 2006). Assim será possível compreender melhor os fatores que afetam a dinâmica do N no sistema solo-planta, favorecendo a maximização da eficiência de utilização do N e a consequente minimização do impacto ambiental associado às possíveis perdas.

No sistema plantio direto, o conceito de eficiência da fertilização nitrogenada é mais abrangente que no sistema convencional, uma vez que as doses de N são definidas de acordo com o sistema e com as culturas. SÁ (1998) enfatizou esta idéia, assinalando que, no sistema plantio direto, a produção de material vegetal (palhas e grãos), a exigência nutricional e os sistemas radiculares diferenciados objetivam uma rotação de culturas integrada e sustentável.

A dinâmica do N no sistema solo-planta, com a conseqüente eficiência da utilização de N pela planta, é influenciada principalmente pelo sistema de cultivo, tipo de fertilizante, formas de manejo e condições edafoclimáticas (AMADO et al., 2002). A maioria dos trabalhos demonstra que existe grande variação no aproveitamento do N do fertilizante pelo milho (SCIVITTARO et al., 2000).

Geralmente, o aproveitamento pelo milho do N de fertilizantes minerais decresce com o aumento da dose aplicada, em vista de o suprimento exceder as necessidades da cultura e possíveis perdas de N, principalmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação (LARA CABEZAS et al., 2000; CANTARELLA & DUARTE, 2004; SILVA et al., 2006). O parcelamento e a época de aplicação do adubo nitrogenado constituem-se em alternativas para aumentar a eficiência dos adubos e da adubação nitrogenada pela cultura do milho e estimar as perdas.

Em estudos que utilizaram a metodologia do ^{15}N, com milho cultivado em sistema de plantio direto, foram encontrados diferentes valores de eficiência de recuperação do N do fertilizante: 10% (TIMMONS & CRUSE, 1990), 42% (TIMMONS & BAKER, 1992) e 30% (LARA CABEZAS et al., 2000). De maneira geral, nos estudos citados, aproximadamente 65% do N encontrava-se nos grãos e 35%, nas demais partes da planta.

CANTARELLA et al. (2003), em área de Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto, usando uréia marcada com ^{15}N, observaram na safra 99/00 que a recuperação do N pelo milho, quando a aplicação do adubo nitrogenado foi 45 dias antes da semeadura, foi inferior (48%) à verificada com o parcelamento tradicional (66%), entretanto, no 2º ano de cultivo esta recuperação foi de 59 e 63%, respectivamente, para a forma de aplicação antecipada e convencional.

SAINZ ROZAS et al. (2004), com o objetivo de avaliar o efeito das doses de uréia (0, 70 e 210 kg ha^{-1} de N) e diferentes épocas de aplicação (plantio e estádio de 6 folhas) na recuperação do N, na cultura do milho, em plantio direto, observaram que a recuperação de N fertilizante pela planta variou de 43 a 53% quando o fertilizante foi aplicado no plantio e de 62 e 74% quando o fertilizante foi aplicado no estádio V6 da

cultura.

DUETE et al., (2008), Estudando o efeito de doses (0, 55, 95, 135 e 175 kg ha^{-1} de N), e parcelamentos de N, na forma de uréia ^{15}N, sobre a produtividade de grãos, o aproveitamento do N do fertilizante e a quantidade de N nativo do solo absorvida pelo milho. Os autores concluíram que a aplicação de 135 kg ha^{-1} de N parcelados em três vezes, até o estádio de oito folhas expandidas, proporcionou maior aproveitamento do N do fertilizante (52 %) e maior produtividade de grãos de milho (8,6 Mg ha^{-1}).

LARA CABEZAS et al. (2000), avaliando o balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho (aplicação de 100 kg ha^{-1} de N), em sistema de plantio direto, verificaram que na colheita, o N da uréia absorvida pela planta (raízes+ colmos + folhas + grãos) foi de 19,9 kg ha^{-1} (20,8% do N aplicado), quando aplicado em superfície. O N imobilizado na camada de 0-45 cm de profundidade foi, em média, de 9,9 kg ha^{-1} (10% do N aplicado), o N-mineral no solo, no perfil de 0-1,50 m, foi de 2,4 g kg^{-1} e 54% foi perdido por volatilização (NNH3), após 26 dias da adubação. Os autores concluíram que, no balanço global de N, em média, 13,7% do N da uréia não foram recuperados no sistema solo-planta.

HALVORSON et al. (2004), estudando efeito de doses de N (0, 28, 56, 84 e 112 kg ha^{-1}) na rotação trigo-milho e trigo-sorgo, em solo de textura média, observaram que a eficiência do fertilizante nitrogenado pela cultura variou com a taxa de N e com os anos de cultivo, obtendo médias de 86, 69, 56 e 46% para as taxas de 28, 56, 84 e 112 kg ha^{-1} de N, respectivamente.

Resultados de pesquisas em condições edafoclimáticas diferentes e que apresentam considerável acúmulo de palha, maior teor de matéria orgânica no solo e maior tempo de adoção do sistema de plantio direto, têm influenciado na recomendação de manejo da adubação nitrogenada no milho, para as condições de cerrado. Isto implica a necessidade de mais estudos, para o entendimento da dinâmica e recuperação do N no sistema solo-planta, e possibilita a tomada de decisão quanto a formas de manejo, para que a disponibilidade de N ocorra em sincronia com a necessidade da cultura (LARA CABEZAS et al., 2004; FIGUEIREDO et al., 2005).

A época de aplicação do fertilizante nitrogenado tem grande influência no aproveitamento deste nutriente pelo milho (MENGEL & BARBER, 1974). No entanto, não tem havido muita concordância sobre qual a melhor época de aplicação de N no sistema de plantio direto. Alguns resultados de pesquisa têm demonstrado vantagens na aplicação de N em pré-semeadura do milho (SÁ, 1996). Outros demonstram a necessidade de aumento da dose de N, no momento da semeadura, para suprir a carência inicial em função da imobilização, e que parte seja fornecido em cobertura (BORTOLINI et al., 2002).

Contudo, existe uma série de variáveis que condicionam as transformações do N no solo, que são mediadas por microrganismos, e dependem das condições edafoclimáticas, principalmente do tipo de solo, da precipitação pluvial e da temperatura (LARA CABEZAS et al., 2004). Além disso, dependem das características dos resíduos vegetais da cultura de cobertura antecessora ao milho (AMADO et al., 2002).

A adoção de sistema de manejo do solo com aporte de resíduos e fertilização nitrogenada pode aumentar os estoques de C e N do solo devido ao aumento da produção de biomassa (LEITE et al., 2009). Além de importante para o incremento na biomassa e construção da matéria orgânica do solo, a fertilização nitrogenada é indispensável para o aumento de produtividade de culturas como o milho (CARDOSO et al., 2004).

O cultivo de plantas de cobertura do solo na entressafra, em sistema de plantio direto, principalmente de leguminosas, tem demonstrado ser uma alternativa promissora na suplementação de N para o milho (GONÇALVES et al., 2000). A qualidade do resíduo vegetal, sobretudo sua relação C/N, e a disponibilidade de N mineral na solução do solo influenciam diretamente a taxa de decomposição (AMADO et al., 2002).

A elevada capacidade de absorção de N das gramíneas, em função do seu sistema radicular abundante, constitui-se numa importante estratégia para a reciclagem desse nutriente, durante a entressafra, e para redução dos riscos de contaminação do lençol freático por nitrato (SÁ, 1996; AMADO et al., 2002). Além disso, resíduos de gramíneas, em virtude de sua baixa taxa de decomposição, proporcionam melhor

cobertura do solo (PERIN et al., 2004).

No entanto, existem vários outros fatores que poderão interferir na resposta do milho à aplicação de N em semeadura direta após o cultivo de uma gramínea para produção de palhada, que deveriam ser levados em consideração na recomendação de adubação deste nutriente. Dentre estes fatores, destacam-se a disponibilidade inicial de N no solo, o tipo de seqüência de culturas em sucessão, o sistema de rotação de culturas e o tempo de adoção do sistema de semeadura direta (ARGENTA & SILVA, 1999).

Segundo AITA (1997), a mineralização líquida pode ser descrita como sendo resultante de quatro processos microbianos distintos: efeito “flush”, mineralização basal, re-mineralização (esses três fluxos constituem a mineralização bruta) e a imobilização microbiana. Os processos microbianos de imobilização e mineralização são influenciados pelo tipo (relação C/N) e manejo de resíduos (incorporado/superfície), temperatura do solo, regime de água/aeração (AULAKH *et al.*, 1991), pH e pelo teor de nutrientes no solo (AITA, 1997).

Um bom indicativo sobre a predominância da mineralização líquida ou da imobilização líquida de N durante a fase inicial da decomposição e, portanto, sobre a disponibilidade de N no solo, é a relação C/N dos materiais orgânicos adicionados ao solo. Uma razão C/N entre 23 e 24 favorece a mineralização uniforme de resíduos vegetais. Quando a relação C/N se encontra em torno de 20, começa a ocorrer mineralização do N através da decomposição pela biomassa microbiana, até ela se estabilizar entre 10 a 12 (HEINZMANN, 1985). Portanto, quando a necessidade dos microorganismos por N não é suprida, pode haver deficiência deste nutriente para o milho, em condições de campo, devido à imobilização (KIEHL, 1985).

A mineralização do N de resíduos culturais também é influenciada pela composição de N na planta, sendo tanto maior quanto maior for o teor de N nos tecidos e maior a quantidade de resíduos da cobertura de solo. Resíduos que permanecem na superfície do solo demoram mais para se decompor do que os enterrados, pois, a incorporação favorece o ataque microbiano da palha, acelerando a taxa de

decomposição (JANSEN & KUCEY, 1988).

Materiais com maior teor de N nos tecidos, menor razão C/N, maior relação N/lignina e com maior teor de compostos solúveis são decompostos mais rapidamente (JANSEN & KUCEY, 1988).

A maioria dos microrganismos presentes no solo é mesófila, tendo a sua capacidade de crescimento limitada à faixa de temperatura de 15 a 45ºC (ALEXANDER, 1977). A temperatura ideal para crescimento microbiano está entre 25 e 30ºC (FRIES, 1997). Por sua vez, a relação água/oxigênio determina o tipo de metabolismo energético possível de ser utilizado pela população microbiana e, portanto, influencia a velocidade de decomposição dos resíduos culturais (FRIES, 1997).

A umidade do solo, por controlar a população microbiana, também pode afetar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Quando a população microbiana do solo é submetida a algum estresse ambiental, como seca, geada ou alguma perturbação mecânica, uma porção da biomassa é morta, sendo rapidamente decomposta pelos microorganismos, com liberação de nutrientes (MARUMOTO, 1984). Neste sentido, seqüências culturais com alta produção de resíduos e com decomposição lenta resultam em maior teor de umidade no solo. Como conseqüência, a população microbiana é protegida dos estresses ambientais, podendo ter reflexo negativo na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

O efeito da água e da temperatura do solo sobre a decomposição inicial dos resíduos são maiores, quando os componentes solúveis em água estão realmente disponíveis. Porém, durante os estádios tardios de decomposição, as disponibilidades de C e de N são os fatores mais limitantes (ROPER, 1985).

Diferentes populações microbianas podem ser selecionadas em função do pH, determinando maior ou menor decomposição dos resíduos. Maior decomposição é observada em ambientes com pH entre 5-8 (FRIES, 1997).

O tempo de adoção do sistema de semeadura direta influencia a resposta do milho à adubação nitrogenada. Na fase inicial de adoção do sistema, observa-se maior necessidade de utilização de N. Isto se deve ao processo de imobilização em função da

maior oferta de carbono ao sistema e, conseqüentemente, da maior atividade da biomassa microbiana (SÁ, 1996). Segundo o mesmo autor, após o quarto ano de implantação, inicia-se o restabelecimento do equilíbrio das transformações que ocorrem no solo, à medida que a reposição dos resíduos culturais proporciona acúmulo de N orgânico na camada superficial. Após 9 a 12 anos de semeadura direta, observa-se maior liberação de N para o sistema, havendo menor resposta à adubação nitrogenada.

2.4 Efeito da densidade de plantas na produtividade do milho

As mudanças na arquitetura das plantas de milho por meio do melhoramento genético têm permitido maior tolerância ao aumento da densidade de plantas, a qual tem sido a principal responsável pelos ganhos genéticos obtidos (RUSEL, 1986). O desenvolvimento e crescimento dos órgãos reprodutivos são afetados pela densidade de plantas de híbridos e, em geral, apresentam diferenças na resposta para competição entre plantas (OTEGUI, 1997).

RESENDE et al. (2003) observaram que as densidades de 70 e 90 mil plantas ha^{-1} foram mais promissoras para produtividade de grãos de milho, em relação a densidade de 55 mil plantas ha^{-1}, independentemente do espaçamento utilizado.

Com o surgimento de híbridos de milho de ciclo mais curto, estatura reduzida, menor número de folhas, sendo estas mais eretas, aumentou o potencial de resposta da cultura à densidade de planta (ALMEIDA et al., 2000).

A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel exerce grande influência sobre a produtividade de grãos do milho, quando outros fatores ambientais são favoráveis. Uma forma de aumentar a interceptação de radiação e, consequentemente, a produtividade de grãos, é por meio do adensamento no plantio do milho (SILVA et al., 2002).

Com relação à disponibilidade hídrica e de nutrientes, observa-se que a densidade de plantas deve ser aumentada sempre que esses fatores forem otimizados, para que seja atingida a máxima produtividade de grãos (SILVA et al., 1999).

Para a definição da densidade de plantas de milho há necessidade de estudos cuidadosos, devido às interações que ocorrem entre as plantas de milho e o ambiente, afetando a arquitetura da planta, alterando o padrão de crescimento e desenvolvimento (PENARIOL et al., 2003). Desse modo, não há uma recomendação de densidade de plantas ideal para todas as condições, pois a densidade ótima varia com o genótipo, bem como com os fatores ambientais, controlados ou não, como fertilidade do solo, sistema de plantio, entre outros (OLSON & SANDER, 1988).

Em condições normais, os arranjos de 5 a 6 plantas por metro linear têm mostrado melhor desempenho quando combinado com espaçamento de 0,90m para híbridos de ciclo tardio e porte alto e com 0,80m para híbridos precoces e de porte baixo (SHIOGA et al., 2004).

Em Piracicaba,SP, DOURADO NETO et al. (2003), avaliando a influência da população de plantas sobre o rendimento de grãos de três híbridos de milho com arquiteturas foliares distintas, concluíram que até 60.000 plantas por hectare, independentemente do híbrido, a produtividade de grãos foi crescente com o aumento da população de plantas. Quando ocorreu o aumento de 60.000 para 90.000 plantas por hectare, a produtividade do híbrido de arquitetura ereta aumentou em relação ao de arquitetura aberta.

Em Lavras/MG, a avaliação de dez genótipos de milho, em três populações de plantas (55, 70 e 90 mil plantas/ha), demonstrou que a população de 70 mil plantas por hectare proporcionou produtividade de grãos 17% superior a população de 90 mil plantas por hectare e 33% superior a de 45 mil plantas por hectare. Pode-se atribuir os resultados aos diferentes níveis de competição intra-específica estabelecidos para cada arranjo espacial de plantas. Diferenças significativas entre os genótipos também foram observadas, indicando adaptabilidade em função das características fenotípicas e das densidades utilizadas (SERGIO et al., 2002).

Em trabalho desenvolvido por SANGOI et al. (2002), comparando dois híbridos duplos lançados nas décadas de 70 e 80, com arquitetura de folha aberta e grande número e comprimento de folhas, com um híbrido simples da década de 90, com folhas

mais curtas, eretas e em menor número, submetidos ao mesmo espaçamento e às populações de 25, 50, 75 e 100 mil plantas por hectare. Os autores observaram que a resposta da produtividade de grãos ao incremento da população foi quadrática para todos os híbridos testados e o híbrido simples foi mais exigente, requerendo 85 mil plantas por hectare para maximizar a produtividade de grãos. Na maior densidade, 5% das plantas dos híbridos duplos não produziram espigas, enquanto todas as plantas do híbrido simples produziram, em razão da sincronia no desenvolvimento floral, minimizando o sombreamento entre folhas, o que aumentou a disponibilidade de carboidratos durante a floração, sustentando o desenvolvimento das espigas e grãos em alta densidade de plantas.

Na Região Sudeste do Tocantins, VON PINHO et al. (2008), utilizando dois híbridos de ciclo precoce, cultivados em sistema de plantio direto observaram uma relação linear entre a produtividade de grãos e a densidade de plantas. A máxima produtividade de grãos foi obtida com a densidade de 85.000 plantas. ha^{-1}, estando esse resultado de acordo com os observados por RESENDE et al. (2003); PENARIOL et al. (2003); ALMEIDA et al. (2000).

No município de Baixa Grande do Ribeiro, PI, CARDOSO et al. (2006a), avaliando híbridos simples de milho, obtiveram uma produtividade física máxima de grãos de 10.519 kg ha^{-1} com uma dose de 163 kg ha^{-1} de N, associada a uma densidade de 75 mil plantas por hectare. Em outro trabalho com híbridos triplos foram observadas produtividades físicas máximas de 8.858 kg ha^{-1} com 142 kg ha^{-1} de N e 78 mil plantas por hectare e 8.893 kg ha^{-1}, com 161 kg ha^{-1} de N e 76 mil plantas por hectare, respectivamente, nos municípios de Baixa Grande do Ribeiro e São Raimundo das Mangabeiras (CARDOSO et al., 2006b).

MUNDSTOCK (1979) observou resposta crescente ao nitrogênio com o aumento da população de plantas em anos de chuvas normais e ausência de resposta em anos de seca. GORDÓN *et al*. (1997) também verificaram que as maiores margens de ganhos em produtividades são obtidas quando, concomitantemente ocorreram aumento das doses de nitrogênio e elevação da população de plantas.

2.5 Avaliação econômica

Na adubação nitrogenada da cultura do milho, um dos aspectos a ser considerado é o seu retorno econômico, observando-se os custos fixos e os operacionais. A quantidade do nutriente a ser aplicada deve ser aquela que proporcione a máxima produtividade econômica, ou seja, a dose que permita a máxima receita líquida. Portanto, não há recomendação pré-estabelecida para qualquer situação, ou seja, para outras regiões com solo, clima, sistema de cultivo e material genético diferentes. O recomendado é fazer calibrações para cada situação e sempre levando em conta a produtividade esperada, análise química do solo, nível tecnológico e, principalmente, o fator econômico.

Dessa forma, pesquisas regionais visando determinar as doses econômicas de N para o milho são de grande importância para que o agricultor possa racionalizar os custos de produção e auferir maiores lucros com a cultura.

No ano agrícola de 2001/02, pesquisa demonstrou que a aplicação de 160 kg ha^1 de N proporcionou maior retorno econômico para o produtor (SILVEIRA, 2002). Para várias regiões do Brasil e do exterior, a recomendação de doses econômicas de N para a cultura do milho, objetivando altas produtividades (mais de 9.000 kg ha^{-1}), varia de 150 a 300 kg ha^{-1} (CANTARELLA et al., 1997).

PAVINATO et al. (2008), na região de Cruz Alta, Rio Grande do Sul, utilizando um solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, em sistema de plantio direto com irrigação, concluíram que a receita bruta aumentou com a dose de N e atingiu o ponto de máxima receita bruta com as doses de 243 e 248 kg ha^{-1} em 2003 e 2004, respectivamente, evidenciando o potencial de resposta do milho ao N. Contudo, a máxima eficiência econômica, considerando-se as curvas ajustadas, foi obtida com a aplicação de 156 e 158 kg ha^{-1} de N. No entanto a receita líquida foi de US$ 449,55 e de US$ 571,60 ha^{-1}, nos anos de 2003 e 2004, respectivamente. Esses valores foram considerados, pelos autores, como sendo altos, tanto para receita bruta como para receita líquida, demonstrando que a cultura é viável e que o cultivo sob irrigação e com

dose de N adequada é uma garantia de produção para o agricultor, compensando maiores investimentos no sistema produtivo.

SILVA et al. (2005b), realizando análise econômica com a aplicação de N na cultura do milho, em condições de sequeiro, observaram que a dose de 120 kg ha^{-1} de N, aplicada metade na semeadura e metade no estádio de quatro a seis folhas, proporcionou o melhor valor de receita líquida (US$ 153,55 ha^{-1}). A máxima eficiência econômica, considerando-se somente a relação preço do fertilizante/preço da produção (8,25/1), foi obtida com a dose de 126 kg ha^{-1} de N, aplicada metade na semeadura e o restante no estádio de quatro a seis folhas.

De maneira geral, deve-se considerar que as propriedades agrícolas apresentam particularidades quanto à fertilidade e manejo do solo, tipos de máquinas, nível tecnológico e aspectos administrativos, que as tornam diferenciadas quanto à estrutura do custo de produção (MELO FILHO, 2000). Portanto, os custos podem variar, sendo que as diferenças podem recair tanto sobre o custo fixo quanto sobre o custo variável e o ponto de equilíbrio pode variar em função das alterações no custo de produção ou no preço de venda do produto, resultando em maior ou menor rentabilidade econômica para o produtor.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de São Raimundo das Mangabeiras, MA, com coordenadas geográficas de 6º 49’ 48”de latitude sul e 45º 23’ 52” de longitude oeste com 475 m de altitude. O clima do sul do Maranhão é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por apresentar verão chuvoso e inverno seco, sendo que o período com chuvas se inicia em novembro e termina em abril (EMBRAPA, 1986).

Foram registradas precipitações da emergência das plantas à colheita, de 1.085 mm, umidade relativa média do ar de 84% e temperatura média do ar de 24℃.

Os valores de precipitações, ocorridos no local durante o período de condução do experimento, foram adequados, tanto em quantidade como em distribuição ao

desenvolvimento e produção da cultura (Figura 1).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa. A área experimental vem sendo utilizada há seis anos sob sistema de plantio direto, utilizando-se como rotação as culturas de soja e milho e como cultura para produção de palha o milheto, variedade BN 2, semeado em linhas espaçadas de 0,17 m, na quantidade de 20 kg ha^{-1} de sementes, semeado na entre safra da cultura principal (cultivo de "safrinha").

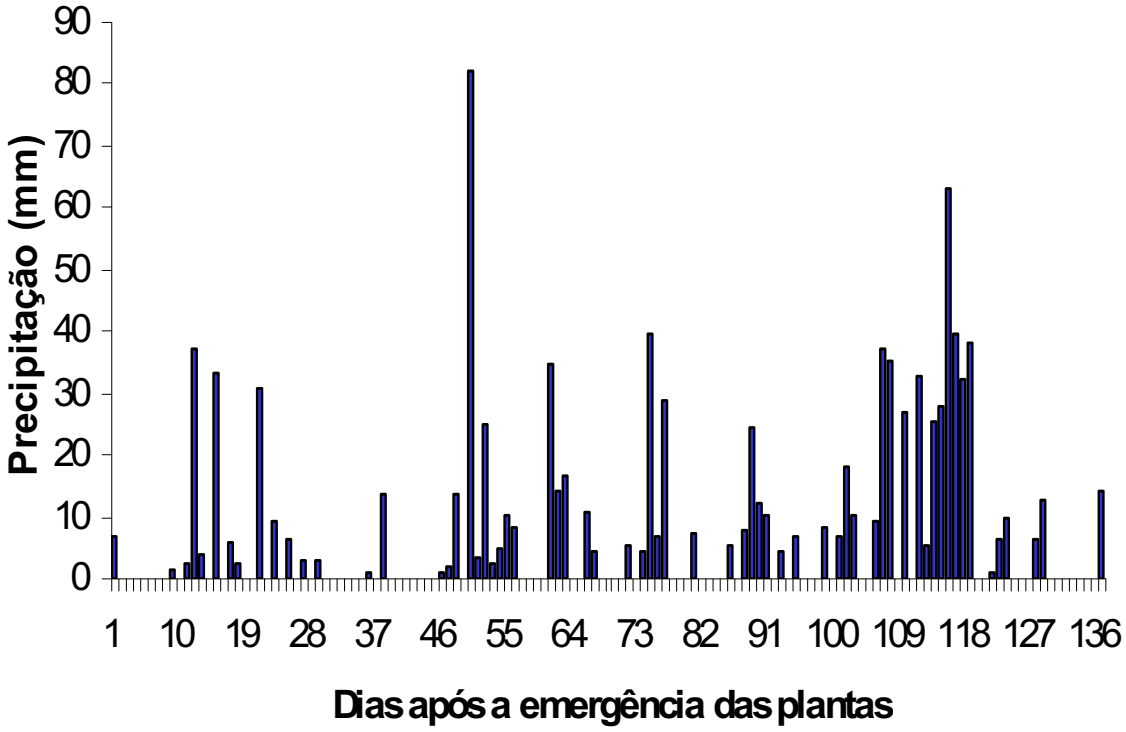


Figura 1. Valores das precipitações diárias (mm) no período da emergência à colheita, São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2007.

A caracterização inicial do solo, realizada na camada de 0-20 cm constituiu-se de: determinação de pH em H_2O 5,4; pH em $CaCl_2$ 4,7; teores ($mmol_c$ dm^{-3}) de H+Al 76,9 ; K^+ 3,0 ; Ca^{2+} 46,7; Mg^{2+} 10,4 ; carbono 15,2 mg dm^{-3} ; fósforo (Mehlich 1) 24,1 mg dm^{-3} ; saturação por bases 44%; teores (g kg^{-1}) areia 419 ; silte 185 ; argila 396 e

densidade do solo 1,23 g cm^{-3} (EMBRAPA, 1997).

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1} de N) e quatro densidades de plantas (25, 50, 75 e 100) mil plantas ha^{-1}. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 4 x 5. As parcelas experimentais foram constituídas de seis fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,80 m. O espaçamento entre sementes na linha foi de maneira eqüidistante atendendo as quantidades de sementes (2, 4, 6 e 8 sementes m^{-1}) definidas nos tratamentos. A área útil da parcela foi constituída de 8,0 m^2, formada pelas duas linhas centrais, deixando as duas linhas externas como bordadura.

Na segunda quinzena de novembro, quando as plantas de milheto apresentavam 50% de florescimento, utilizou-se o herbicida glyfosate (5 L ha^{-1}) para a sua dessecação.

O híbrido simples utilizado na pesquisa foi o BRS 1001, semeado em 10/12/2006.

O controle de plantas daninhas em pré-emergência, na área experimental, foi realizado com o herbicida atrazine + metolachlor na dosagem de 2.500 g ha^{-1} do princípio ativo.

A adubação de semeadura com fósforo, potássio e zinco foi igual para todos os tratamentos e definida em função da análise química do solo. A distribuição dos fertilizantes foi realizada manualmente, em sulcos paralelos com 0,15 m de profundidade e distanciados de 0,10 m das linhas de semeadura.

As quantidades aplicadas por ha foram: 60 kg de P_2O_5, 70 kg de K_2O e 3 kg de Zn, nas formas de superfosfato triplo (45% de P_2O_5), cloreto de potássio (60% de K_2O) e sulfato de zinco (22% de Zn), respectivamente.

Em função da textura do solo, a adubação nitrogenada foi efetuada, aplicando-se metade da dose de nitrogênio, definido para cada tratamento, por ocasião da semeadura e o restante, aplicado em cobertura, no momento da abertura da 6ª folha. Foi utilizada como fonte de nitrogênio a uréia (45% de N).

Durante o ciclo de produção do milho ocorreu um controle rigoroso de pragas, utilizando-se, durante todo o ciclo da cultura, duas pulverizações com lufenuron (Match 300 ml ha^{-1}) contra lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda J.E. Smith).*

Por ocasião do florescimento foram coletadas folhas do milho para avaliar o teor foliar de N total, utilizando-se o terço central da folha da base da espiga, na fase de pendoamento (50% das plantas da parcela pendoadas), segundo metodologia descrita por CANTARELLA et al. (1997). Para a determinação do nitrogênio total foi utilizado o método semimicro Kjeldahl (SILVA, 2002).

A colheita foi realizada manualmente aos 130 dias após a emergência (DAE), quando foram avaliados os seguintes componentes: altura de planta (AP); altura de inserção de espiga (AE); massa de mil grãos (MMG); número de grãos por espiga (NGE); massa de grãos por espiga (MGE); massa de grãos por planta (MGPL); produtividade de grãos (PRODG), sendo a massa de grãos corrigida para 13% de umidade.

A altura de plantas e de inserção de espigas foram determinadas, aos 130 DAE, após a constatação da maturação fisiológica do milho, medindo-se com auxilio de uma mira topográfica a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha. Para a inserção da espiga, foi medida a distância entre o colo da planta e a inserção da espiga principal (superior), em amostras de 20 plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela de cada tratamento.

O número médio de grãos por espiga foi obtido em dez espigas tomadas aleatoriamente na área útil de cada parcela. As espigas foram debulhadas manualmente e contados os grãos. A massa de grãos por espiga foi determinada, pesando-se o total de grãos das dez espigas e dividindo-se essa massa por dez, para obter a massa média de grãos por espiga, corrigido para o teor de umidade de 13%.

A massa de grãos por planta foi obtida multiplicando-se o número de espigas por planta pela massa de grãos por espiga, corrigido para o teor de umidade de 13%.

A produtividade de grãos foi estimada a partir da massa de grãos obtida na área útil de cada parcela (8 m^2), em Mg ha^{-1} corrigida para o teor de umidade de 13%.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, em função das doses de nitrogênio (N) e das densidades de plantas (D). Foram ajustadas funções de resposta do tipo $Z = \gamma_0 + \gamma_1 N + \gamma_2 N^2 + \gamma_3 D + \gamma_4 D^2 + \gamma_5 ND$, sendo Z correspondente à variável dependente, γ os coeficientes da regressão, N e D as variáveis independentes. Quando as respostas foram significativas, foram calculadas as doses de nitrogênio (N) e/ou densidade de plantas (D) que proporcionaram os máximos das superfícies ajustadas (GOMES & CONAGIN, 1991).

A análise econômica da produção foi realizada considerando-se os insumos, máquinas e mão-de-obra. Foi calculada com base na receita total menos o custo total de produção, em US$, considerando-se a venda da produção na segunda quinzena de julho de 2007, período do ano que, normalmente, ocorre, na região, a venda da maior parte da produção. Na análise realizada no trabalho, a saca de 60 kg, nessa época foi comercializada a US$ 12,00, correspondendo a US$ 0,20 por quilograma de grão. A conversão do dólar foi considerada pela média do câmbio nos períodos de compra dos insumos (US$ 1,00 = R$ 2,00) e na comercialização da safra de grãos de milho (US$ 1,00 = R$ 1,82).

Através das equações 1, 2 e 3, foi calculado o custo de produção de um hectare de milho, a receita líquida obtida com a comercialização da produção de grãos em um hectare e a relação beneficio custo, também, obtida em um hectare de milho, respectivamente.

Função Custo: Co + Pn.N + Ps.S (US$/ha).....Equação 1
sendo, Co = Custo Fixo = US$ 632,00 /ha, Pn = Preço por kg de N = US$ 1,00 kg^{-1} e Ps = Preço por kg de semente = US$ 5,00 kg^{-1}.

Função Receita Líquida : PG.Pg – (Co + Pn.N + Ps.S).....Equação 2
onde, PG = Produtividade de grãos = 11,9 Mg ha^{-1}, Pg = Preço do kg de grão comercializado = 0,20 US$ kg^{-1}, N = Dose máxima de N = 120 kg/ha e S = Quantidade máxima de sementes = 27 kg ha^{-1}, obtidas através da derivada primeira da função de

resposta da produtividade de grãos de milho.

Relação Beneficio/Custo: RL/CT.....Equação 3
sendo, RL = Receita líquida obtida com a comercialização da produção de grãos em um hectare e CT = Custo total de Produção de um hectare de milho.

As doses econômica de N e de sementes foram calculadas igualando-se a primeira derivada da função de resposta de segunda ordem, determinada por meio da equação de regressão, à relação de preço do N, da semente e do grão de milho produzido (BASTOS et al., 2008).

Os valores de número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga, massa de grãos por planta, teor de N total na folha, produtividade de grãos, altura de plantas e de inserção de espigas e massa de mil grãos foram submetidos à análise de variância através do programa SAS INSTITUTE (1989) e as cinco primeiras variáveis, por apresentarem, pelo teste F, diferenças significativas a 1% de probabilidade, foram elaboradas as superfícies de resposta de segunda ordem, mediante análise de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Encontram-se na Tabela 1 os quadrados médios e os coeficientes de variação referentes à altura de plantas, a altura de inserção de espigas, a massa de mil grãos, ao número de grãos por espiga, a massa de grãos por espiga, a massa de grãos por planta, ao nitrogênio total na folha e a produtividade de grãos de milho.

Verificou-se que não houve efeito significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F para as três primeiras variáveis, porém as demais apresentaram efeito significativo a 1 % de probabilidade pelo mesmo teste, para densidade de plantas e doses de N, tanto para superfície de resposta de primeira ordem como para de segunda ordem.

Os coeficientes de variação foram baixos, variando de 4,01 (MMG) a 11,38

(NGE), indicando uma boa precisão na condução do experimento, tanto no nível de campo quanto nas análises realizadas em laboratórios.

Tabela 1. Quadro resumo do uso de regressão na análise de variância, referentes às variáveis, altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AE), massa de mil grãos (MMG), número de grãos por espiga (NGE), massa e grãos por espiga (MGE), massa de grãos por planta (MGPL), nitrogênio total na folha (NTF) e produtividade de grãos de milho (PGHA).

F.V.	G.L.	Quadrados Médios[1]							
		AP	AE	MMG	NGE	MGE	MGPL	NTF	PGHA
DENS (linear)	1	0,64ns	178,45ns	44,26ns	500821,03**	56965,72**	95293,52**	8,44**	304,25**
DN (linear)	1	61,26ns	27,13ns	123,16ns	136337,20**	16906,96**	10966,04**	212,52**	33,89**
DENS (quadrático)	1	273,80ns	171,28ns	360,40ns	39141,69**	5409,89**	2355,37**	12,40**	93,25**
DN (quadrático)	1	18,86ns	0,15ns	26,06ns	107871,84**	11614,88**	19409,82**	28,14**	99,50**
DENS x DN (linear x linear)	1	133,66ns	32,13ns	289,35ns	750,96ns	310,88**	427,02**	0,17ns	2,13**
Erro	57	106,86	57,16	170,50	801,80	60,67	32,07	0,82	0,04
C. V. (%)	-	4,11	6,38	4,01	11,38	10,01	9,80	5,62	11,13

1. ns, não significativo (p>0,05) ** significativo (p<0,01) pelo teste F.

Na Tabela 2, encontram-se as médias das variáveis, altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AE), massa de mil grãos (MMG), número de grãos por espiga (NGE), massa e grãos por espiga (MGE), massa de grãos por planta (MGPL), nitrogênio total na folha (NTF) e produtividade de grãos de milho (PGHA), submetidas aos tratamentos, combinação de doses de N (DN) com densidade de plantas (DENS).

Pode ser destacado na tabela 2, que as maiores produtividades médias de grãos de milho (valores superiores a 10 Mg ha^{-1}), foram obtidas com valores de densidade de plantas superiores a 75 mil plantas por hectare e doses de N variando entre 50 e 150 kg ha^{-1} de N.

O número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga e massa de grãos por planta seguiram uma superfície de resposta de segunda ordem, com coeficientes de determinação de R^2 = 0,91, 0,92 e 0,94, respectivamente, atingindo valores mais altos

quando a dose de nitrogênio variou de 120 a 130 kg ha^{-1}.

Tabela 2. Médias dos tratamentos, combinação de doses de N (DN) com densidade de plantas (DENS), referentes às variáveis, altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AE), massa de mil grãos (MMG), número de grãos por espiga (NGE), massa e grãos por espiga (MGE), massa de grãos por planta (MGPL), nitrogênio total na folha.

DN (kg)	DENS (mil)	AP (cm)	AE (cm)	MMG (g)	MGE (g)	MGPL (g)	NGE	PGHA (Mg ha^{-1})	NTF (g kg^{-1})
0	25	251,75	134,00	315,95	160,45	165,79	507,37	3,87	22,20
0	50	248,25	134,50	336,50	141,72	138,86	423,73	6,59	23,13
0	75	241,50	141,00	339,25	119,91	106,15	354,17	7,33	22,45
0	100	243,75	131,13	332,50	84,64	75,69	255,83	6,98	22,40
50	25	249,25	140,75	345,00	173,44	186,39	502,32	4,66	23,45
50	50	242,00	139,75	331,00	166,19	166,33	503,71	8,21	25,45
50	75	240,50	144,50	330,75	158,69	149,91	480,32	11,01	26,83
50	100	250,75	133,50	333,50	114,60	105,91	344,14	10,39	25,48
100	25	252,25	135,25	331,75	196,88	208,98	593,92	5,15	25,88
100	50	247,00	136,50	334,90	179,46	182,94	536,17	8,96	27,08
100	75	250,50	140,50	338,75	173,51	159,75	512,34	11,71	26,23
100	100	257,00	127,00	321,25	119,71	110,40	373,48	10,89	26,35
150	25	244,25	137,00	330,25	215,36	223,25	653,22	5,37	26,00
150	50	247,25	136,75	337,00	203,04	207,09	604,05	9,90	27,65
150	75	246,75	136,00	328,00	193,59	180,47	590,29	13,17	26,93
150	100	246,00	139,75	334,50	139,06	126,32	417,01	12,26	27,23
200	25	250,50	145,75	337,00	197,31	193,43	584,48	4,64	26,68
200	50	243,50	134,25	344,00	177,25	170,78	516,41	8,09	27,53
200	75	252,00	141,50	335,00	160,64	132,98	479,98	9,43	28,00
200	100	250,75	131,86	331,00	108,04	90,59	327,01	8,61	27,73

Contudo, com diferentes densidades de plantas, sendo de 35.531 plantas ha^{-1} para o número de grãos por espiga; 35.600 para massa de grãos por espiga e 25.000 para massa de grãos por planta (Figura 2 A, B, C e Tabela 3).

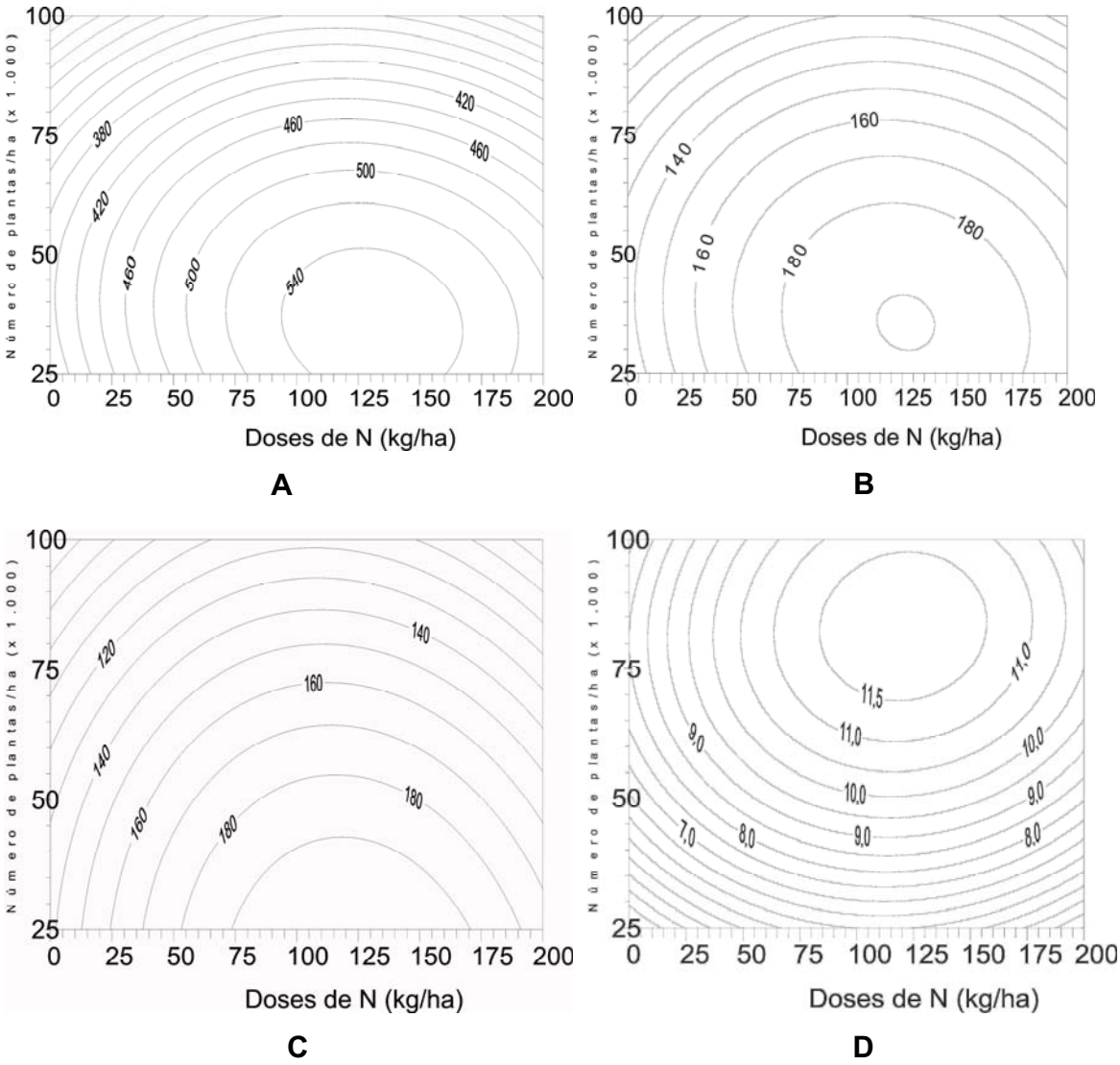


Figura 2. **A**) Número de grãos por espiga; **B**) Massa de grãos por espiga (g); **C**) Massa de grãos por planta (g); **D**) Produtividade de grãos (Mg ha^{-1}) em função das doses de nitrogênio e da densidade de plantas.

VELOSO et al. (2006) observaram que a aplicação de nitrogênio proporciona aumento no número de grãos por espiga. CARDOSO & MELO (1998), testando cinco doses de N, verificaram, também, que o número de grãos por espiga foi um dos

componentes de produção que mais contribuiu para o aumento da produtividade de grãos.

Tabela 3. Superfícies de resposta obtidas para as variáveis, NGE, MGE, MGPL, PGHA e NTF, em função das doses de nitrogênio e da densidade de plantas.

Variável	Superfície de resposta	F	R^2	Z máx.	N Max.	D Max.
NGE=Z	$Z = 432,3626 + 2,4363N + 1,748x10^{-3}D - 0,0088N^2 - 1,550x10^{-6}ND - 3,5391x10^{-8}D^2$	24,82**	0,91	552	131	35.531
MGE=Z	$Z = 136,5351 + 0,8439N + 7,90x10^{-4}D - 0,0029N^2 - 9,97x10^{-7}ND - 1,3157x10^{-8}D^2$	33,55**	0,92	191	127	35.600
MGPL=Z	$Z = 161,6619 + 0,9833N - 3,2677x10^{-5}D - 0,0037N^2 - 1,169x10^{-6}ND - 8,6817x10^{-9}D^2$	47,71**	0,94	200	122	25.000
PGHA=Z	$Z = -3,1335 + 0,0574N + 2,77x10^{-4}D - 0,0003N^2 + 8,2645x10^{-8}ND - 1,727x10^{-9}D^2$	111,23**	0,92	11,9	120	83.198
NTF=Z	$Z = 20,1673 + 0,0499N + 8,805x10^{-5}D - 0,00014N^2 + 2,32x10^{-8}ND - 6,3x10^{-10}D^2$	9,69**	0,92	27,9	200	73.566

NGE - Número de grãos por espiga; MGE - Massa de grãos por espiga (g); MGP - Massa de grãos por planta (g); PGHA - Produtividade de grãos (Mg ha^{-1}); NTF - Nitrogênio total na folha (g kg^{-1}); R^2 - Coeficiente de determinação; N - Dose de nitrogênio (kg ha^{-1}) e D - Densidade de plantas (nº de plantas por hectare). ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A produtividade de grãos seguiu uma superfície de resposta de segunda ordem, apresentando coeficiente de determinação R^2 =0,92 e máxima produtividade de grãos de milho (11,9 Mg ha^{-1}) com 120 kg ha^{-1} de N e densidade de 83.198 plantas ha^{-1} (Figura 2D e Tabela 3). As maiores variações de produtividade de grãos foram obtidas com as menores densidades de plantas, em função da maior proximidade das linhas de superfícies de resposta nessa condição.

A superfície de resposta de segunda ordem em função da aplicação das doses de N sobre a produtividade de grãos de milho está em concordância com os resultados

obtidos por FERNANDES et al. (1998) e SILVA et al. (2005a , 2006). Contudo, são discordantes dos verificados por SANGOI & ALMEIDA (1994); ARAÚJO et al. (2004) e DUETE et al. (2008), que constataram ajuste linear para produtividade de grãos com o incremento da dose de N.

Os dados apresentaram uma interação significativa ($p<0,01$) entre densidade de plantas e doses de nitrogênio comprovando que a combinação entre esses dois fatores eleva as respostas em produtividades de grãos. Dessa forma, maiores respostas em produtividades de grãos são esperadas quando concomitantemente se elevam as doses de nitrogênio e a densidade de plantas, em virtude da baixa compensação da planta de milho, concordando com as observações efetuadas por MUNDSTOCK (1979); GORDON *et al*. (1997) e SHIOGA et al. (2004).

Essa informação permite inferir que, em condições ambientais sem restrições hídricas e nutricionais, as respostas para nitrogênio necessitam de densidade de plantas mais elevadas para otimizar as expectativas de respostas para produtividades de grãos.

Os resultados comprovam que com densidade de plantas superiores a 83.198 plantas ha^{-1} não houve grande interferência no aproveitamento da luminosidade e que a dose de 120 kg ha^{-1} de N é a ideal para a condição em que foi realizado o experimento. Maiores doses de N, causam um consumo de luxo pela planta, pois a mesma continuou aumentando a concentração de N na parte aérea, como pode ser observado na Figura 2, com diminuição na produtividade de grãos.

RESENDE (2003), avaliando diferentes densidades de semeadura (55, 70 e 90 mil plantas ha^{-1}), em dois anos agrícolas, observou que, no primeiro ano, não houve diferenças de produtividade de grãos entre as densidades utilizadas, porém, no segundo ano, as densidades de 70 e 90 mil plantas ha^{-1} foram as que mais contribuíram para o aumento da produtividade de grãos de milho. O autor relata que os resultados, obtidos no primeiro ano, foram acentuadamente afetados pelas condições hídricas locais.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a resposta do milho à adubação

nitrogenada, estando em concordância com os resultados encontrados por COELHO et al. (1992), que obtiveram aumentos na produtividade de grãos superior a 80%, com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N, comparado à dose zero de nitrogênio.

As variáveis, altura de plantas e de inserção de espigas e massa de mil grãos não foram influenciadas pelos tratamentos ($p>0,05$), ficando a altura média de plantas com 248 cm, altura de inserção de espigas com 137 cm e massa de mil grãos com 333 g. Esses resultados podem ser atribuídos às características genéticas do híbrido quanto à uniformidade em altura da planta e de inserção de espigas e na massa de mil grãos.

Os resultados obtidos para alturas de plantas e de inserção de espigas situam-se na faixa de valores considerados característicos do híbrido avaliado, quando cultivado em condições adequadas, ou seja, sem restrições hídricas e nutricionais, corroborando com os resultados encontrados por ROCHA (2003).

Resultados discordantes do obtido nesse trabalho, quanto à massa de mil grãos, foram observados por OHLAND (2001) e GOMES et al. (2007) que verificaram com as aplicações de 200 e 150 kg ha^{-1} de N, respectivamente, incrementos na massa de mil grãos em relação à testemunha.

VELOSO et al. (2006) observaram que a aplicação de nitrogênio proporciona aumento no número de grãos por espiga e na produtividade de grãos de milho, atingindo o número máximo de grãos por espiga e produtividade de grãos com a aplicação de 119 kg ha^{-1} de N, em plantio convencional em Piracicaba, SP.

Em sistema de plantio direto, PAVINATO et al. (2008), encontraram, no estado do Rio Grande do Sul, a máxima produtividade de grãos quando a dose de nitrogênio foi de 248 kg ha^{-1}, sendo aproximadamente duas vezes superior ao valor obtido na presente pesquisa.

BASTOS et al. (2008) no município de Baixa Grande do Ribeiro, PI encontraram resultados semelhantes, no que diz respeita a dose máxima técnica, porém com produtividade média de grãos inferior a 6 Mg ha^{-1}. No entanto, nas mesmas condições de solo, CARDOSO et al. (2006a), obtiveram a máxima produtividade de grãos de milho com 151 kg ha^{-1} de N e densidade de 76.000 plantas ha^{-1}, resultado que se aproxima

do obtido na presente pesquisa.

A concentração de nitrogênio total na folha teste de milho variou com a elevação das doses de nitrogênio aplicadas e com o incremento da densidade de plantas, seguindo uma superfície de resposta de segunda ordem, apresentando um coeficiente de determinação R^2=0,92 (Figura 3 e Tabela 3). O máximo teor de nitrogênio total nas folhas (27,9 g kg^{-1}) foi obtido com a aplicação de 200 kg ha^{-1} de nitrogênio e densidade de 73.566 plantas por hectare.

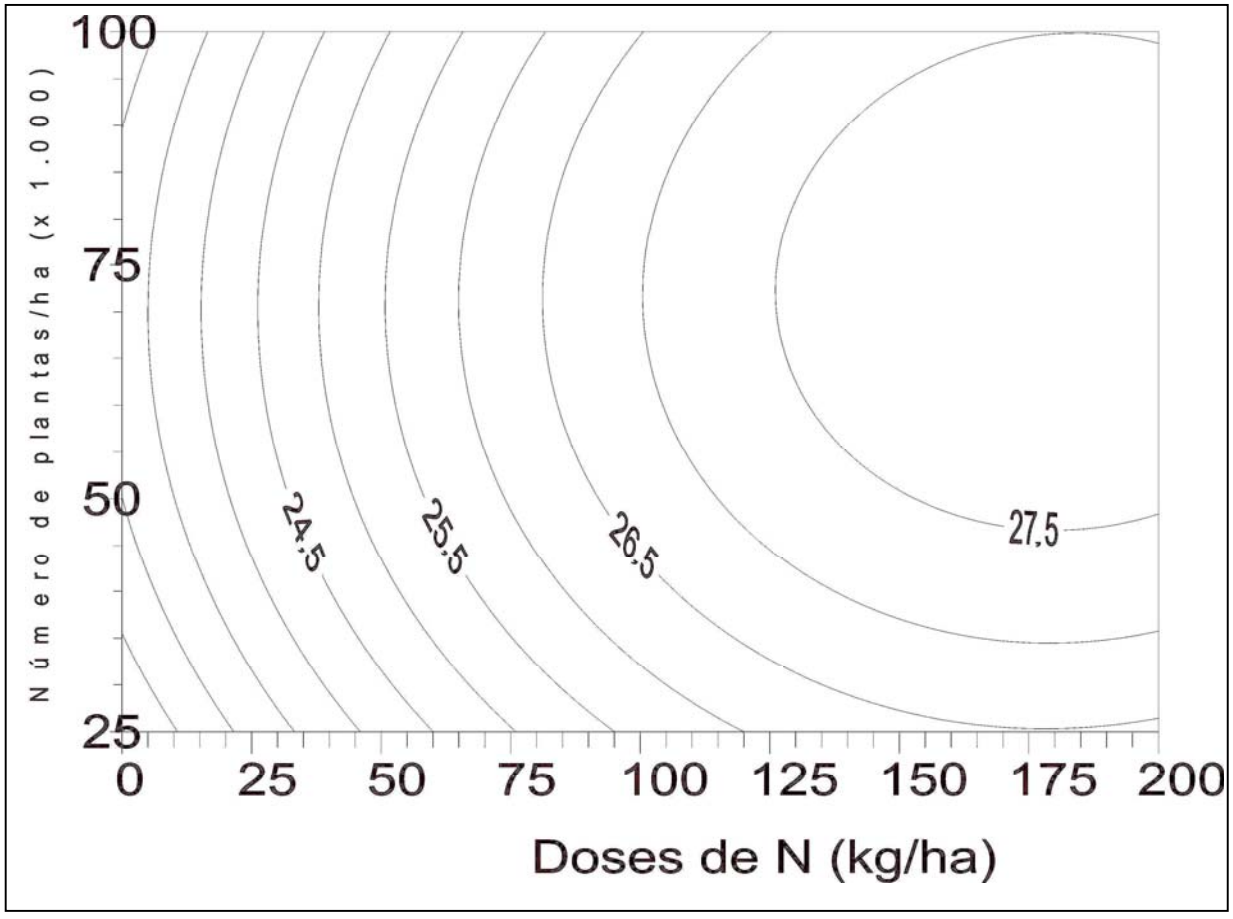


Figura 3. Teor de nitrogênio total (g kg^{-1}) na folha em função das doses de nitrogênio e densidade de plantas.

Resultados semelhantes aos obtidos no trabalho, foram também constatados por

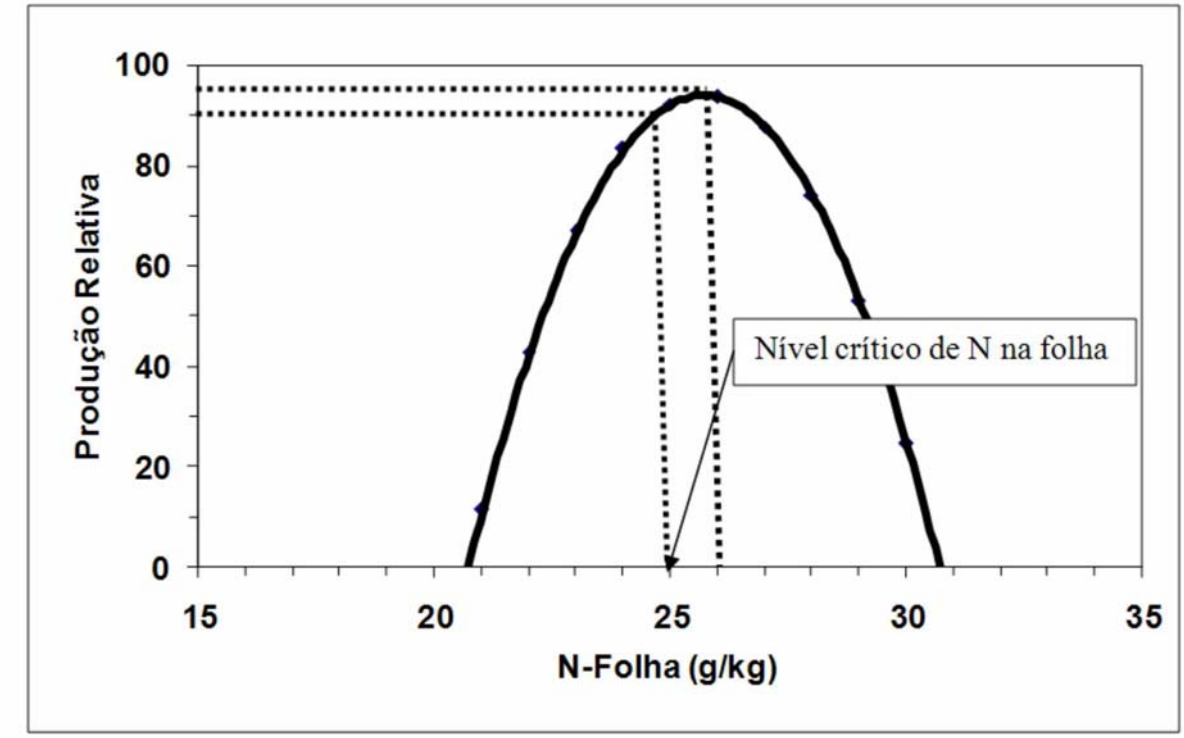
MUZILLI (1983), MELLO et al. (1988) e SILVA et al. (2005a), estudando a influência de aplicação de doses crescentes de N na cultura do milho em sistema de plantio direto. Segundo os mesmos autores, as ocorrências de valores mais baixos de nitrogênio na folha podem ser devido ao sistema de cultivo, que causou menor variação de temperatura e/ ou umidade do solo e à característica genética dos híbridos.

Na condição em que foi realizado o trabalho, os resultados obtidos possibilitam inferir que teores de N na folha do milho, acima de 26 g kg^{-1}, indica consumo de luxo, pois o teor de N na folha continuou aumentando com o incremento da dose de N aplicado ao solo e a produtividade de grãos, como exposto na Figura 2D, decresceu com aplicação de doses de N, acima de 120 kg ha^{-1}, corroborando com as informações citadas por FORNASIERI FILHO (2007).

Como os sintomas característicos de deficiência de qualquer nutriente apenas se manifestam em casos graves, a identificação do nível nutricional da planta somente é possível pela análise química da mesma. O órgão de controle mais freqüentemente utilizado é a folha, por ser a sede do metabolismo e refletir na sua composição as mudanças nutricionais.

A utilização do teor de N na folha, como indicador do nível crítico desse nutriente na planta, está baseada na relação existente entre rendimento de grãos e seu teor na folha. Geralmente, o teor de N na folha é capaz de detectar deficiências, mas também possibilita demonstrar o consumo de luxo, em que o teor de N continua aumentando e a produtividade de grãos fica estável ou decresce com doses altas desse nutriente.

Nas condições em que foi desenvolvido o presente trabalho, podemos observar através da Figura 4, que o nível crítico de N na folha do milho foi obtido com o teor de 25 g kg^{-1}, com produtividade relativa de grãos de 90%. A partir desse teor, ainda ocorreu incrementos na produtividade de grãos, sendo bem menores do que na condição anterior, atingindo o ponto de máxima produtividade relativa com 26 g de N kg^{-1} de matéria seca de folha, acima desse valor houve decréscimos na produtividade de grãos com o incremento da dose de N na folha, indicando que teores de N na folha de milho acima de 25 g kg^{-1} a planta entrou em consumo de luxo.



$$Y = - 2379,60 + 192,53X – 3,75X^2$$

$$R^2 = 0,84$$

Figura 4. Relação entre teor de N na folha e produção relativa de grãos da cultura de milho, em solo de cerrado.

No presente trabalho, o custo fixo de produção, incluindo os insumos e serviços para todos os tratamentos, foi de US$ 632,00, representando 72% do custo total. O valor do custo variável (US$ 245,78 ha^{-1}), referente à aquisição do N e da semente, representou 28 % do custo total de produção (US$ 877,79 ha^{-1}).

Considerando a situação do experimento e o custo variável de produção (aquisição de 120 kg de N – dose máxima técnica a US$ 1,00 kg^{-1} de N e da semente 27 kg – quantidade máxima técnica a US$ 5,00 kg^{-1} de sementes), e a receita obtida com a comercialização de 11,9 Mg de grãos a US$ 0,20 kg^{-1} de grão, a receita líquida técnica foi de US$ 1.493,00 ha^{-1} e a relação benefício/custo técnica de 1,70, ou seja,

para cada US$ 1,00 investido, há um retorno líquido de US$ 1,70.

Considerando as doses ótimas econômicas e o custo variável de produção (aquisição de 108 kg de N – dose máxima econômica a US$ 1,00 kg^{-1} de N e da semente 27,6 kg – quantidade máxima econômica a US$ 5,00 kg^{-1} de sementes) e a receita obtida com a comercialização de 11,9 Mg de grãos a US$ 0,20 kg^{-1} de grão, a receita líquida econômica foi de US$ 1.502,00 ha^{-1} e a relação benefício/custo econômica de 1,71.

O alto valor, tanto da receita líquida técnica quanto da econômica, demonstra que a cultura é viável e que a utilização de adubação nitrogenada e densidade de semeadura de forma combinada e equilibrada é uma garantia de retorno econômico para o agricultor.

Trabalhos realizados por outros autores corroboram com os resultados obtidos no presente trabalho no que se refere ao valor da dose econômica (SILVA et al., 2005b). Os autores ao realizarem análise econômica da aplicação de N na cultura do milho, em sistema de plantio direto, observaram que a dose de 120 kg ha^{-1} de N, aplicada, metade por ocasião da semeadura e a outra metade no estádio de quatro a seis folhas, propiciou o melhor valor de receita líquida (US$ 153,55 ha^{-1}), ou seja, valor aproximadamente dez vezes inferior ao obtido no presente trabalho. No entanto a máxima eficiência econômica, considerando-se somente a relação preço do fertilizante/preço do produto (8,25/1), foi alcançada com a dose de 126 kg ha^{-1} de N.

PAVINATO et al. (2008) realizando análise econômica com aplicação de doses de N na cultura do milho nos anos de 2003 e 2004, confirmam o potencial de resposta do milho ao N, obtendo a máxima eficiência econômica com a aplicação de 156 e 158 kg ha^{-1} de N, respectivamente. No entanto a receita líquida foi de US$ 449,55 e de US$ 571,60 ha^{-1}, valores, respectivamente, 3,4 e 2,7 vezes, inferiores aos obtidos no presente trabalho. Esses valores de receita líquida foram considerados, pelos autores, como sendo altos, demonstrando que a cultura do milho é viável e que o cultivo com dose de N adequada é uma garantia de produção para o agricultor, compensando maiores investimentos no sistema produtivo.

Resultados obtidos em condições de cerrado de outras Regiões do Brasil indicam doses econômicas de N para a cultura do milho situando-se acima do obtido nesse trabalho. No ano agrícola de 2001/02, SILVEIRA (2002) encontrou que a aplicação de 160 kg ha^{-1} de N proporcionou maior retorno econômico. CANTARELLA (1997) menciona que, para várias regiões do Brasil e do exterior, a recomendação de doses econômicas de N para a cultura do milho, objetivando altas produtividades (mais de 9.000 kg ha^{-1}), varia de 150 a 300 kg ha^{-1}.

5 CONCLUSÕES

1. O número e massa de grãos por espiga e a massa de grãos por planta aumentaram com o incremento da dose de N e com o decréscimo da densidade de plantas.

2. As maiores produtividades de grãos de milho foram obtidas quando foram aumentadas concomitantemente as doses de nitrogênio e a densidade de plantas, atingindo a máxima produtividade técnica de grãos de milho com 120 kg ha^{-1} de N e densidade de 83.000 plantas por hectare.

3. O nível crítico de N na folha do milho foi de 25 g kg^{-1}, acima do qual ocorreu o consumo de luxo, ou seja, não adianta aplicar mais N no solo, pois a planta não converte o nutriente em incremento de produtividade de grãos.

4. A utilização dos insumos (dose de nitrogênio e densidade de plantas) de forma combinada e equilibrada proporcionou valor de receita líquida técnica de US$ 1.493,00 ha^{-1} e econômica de US$ 1.502,00 e a relação beneficio/custo técnica e econômica de 1,70 e 1,71, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R., DALMOLIN, R.S.D. (Coord.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto.** Santa Maria, Pallotti, 1997. p. 76-111.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. & DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.25, n. 1 p.157-165, 2001.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: J. Wiley, 1977. 467p.

ALMEIDA, M. L. de; MEROTTO JUNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M. & GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p. 23-29, 2000.

AMADO, T. J. C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.24, n. 3, p. 553-560, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fonte de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.24, n. 1 p.179-189, 2000.

ANDRADE, F. H.; UHART, S. A. & FRUGONE, M. I. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. **Crop Sci.**, Madison, v. 33 n. 3, p. 482-485, 1993.

ARAUJO, E. S.; MEDEIROS, A. F. A.; DIAS, F. C.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. & ALVES, B. J. R. Quantificação do N do solo derivado das raízes da soja utilizando o isótopo ^{15}N. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, RJ v. 24, n.1, p. 7-12, 2004.

ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Adubação Nitrogenada para milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto, SP. Resumos expandidos... Ribeirão Preto, UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

ARGENTA, G. **Manejo do nitrogênio em milho implantado em semeadura direta, em dois ambientes**. Porto Alegre, 1998. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

ARGENTA, G. & SILVA, P.R.F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 745-754, 1999.

AULAKH, M.S.; DORAN, J.W. & WALTERS, D.T. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 4, p. 1020-1025, 1991.

BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q. & ANDRADE JÚNIOR, A. S. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 275-280, 2008.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G. & FORSTHOFER, E.L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 26, n. 2, p. 361-366, 2002.

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.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando ^{15}N-uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto: Resumos... Ribeirão Preto, SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. & CAMARGO, C. E. de O. **Cereais** In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**, 2. ed. rev. e atual. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. p. 45-72.

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.

CARDOSO, M.J. & MELO, F. de B. Influência de níveis de nitrogênio na produtividade de grãos de milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998. Caxambu. Fertibio 1998. Trabalhos... Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. 1 CD-ROM.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B. & BASTOS, E. A. Rendimento de grãos relacionado à adubação nitrogenada e a densidade de plantas na região sul maranhense. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5.,

2004, Lages, Fertbio 2004. **Anais...** Lages: SBCS, 2004. p.1-4, 1 CD-ROM.

CARDOSO, M. J.; LEITE, L. F.; MELO, F. de B. & ATHAYDE SOBRINHO, C. A. Performance de híbridos simples de milho submetidos a níveis de nitrogênio e da densidade de plantas nos cerrados do Maranhão e Piauí em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 26, 2006, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epamig, 2006 a. CD-ROM.

CARDOSO, M. J.; LEITE, L. F. C.; MELO, F. de B. & ATHAYDE SOBRINHO, C. Produtividade de grãos de milho em função de doses de nitrogênio e da densidade de plantas em sistema de plantio direto nos cerrados do Meio-Norte Brasileiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26., Belo Horizonte, 2006. **Inovação para sistemas integrados de produção**: resumos. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo, 2006 b. CD-ROM.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. & GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio ^{15}N em um Latossolo Vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n. 2, p. 187-193, 1991.

COUTINHO, E.L.M.; JÚNIOR, A.F.; SOUZA, E.C.A. & CARNIER, P.E. Aplicação de uréia na cultura do milho: efeitos de doses, modos de aplicação e parcelamento. **Revista de Agricultura,** Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 239-246, 1987.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T. F.; PEREIRA FILHO, I. A; OLIVEIRA, A. C. de & MAGALHÃES, P. C. Respostas de cultivares de milho a variação em espaçamento e densidade. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 1., Cuiabá, 2004. **Da agricultura familiar ao agronegócio: tecnologia, competitividade e sustentabilidade.** Resumos expandidos. Sete Lagoas:

ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/EMPAER, 2004. CD-ROM.

DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. & ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 63-77, 2003.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. L. O. & AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 32, n. 1, p. 161-171, 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev.atual. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro, 1986. v. 2, 964p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 35; SUDENE. Recursos de Solos, 17).

ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A. & ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de N em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 21, n. 1, p. 71-77, 1997.

FANCELLI, A L. **Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento.** In: SIMPÓSIO ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 1., Piracicaba, 2000. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2000.

FANCELLI, A. L. & DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária,

2004. 360p.

FERNANDES, F. C. S. **Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays L.*), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*),sob implantação do sistema plantio direto.** 2006. 197p. Tese (Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas), Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz," Piracicaba, 2006.

FIGUEIREDO, C.C. de; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. & URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 40, n. 3, p. 279-287, 2005.

FORNASIERI FILHO, D. & CASAGRANDE, J.R.R. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha**. Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho.** Jaboticabal : Funep, 2007. 576p.

FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELLOS, C.A. & SANTOS, H.L.A. **Adubação nitrogenada no Brasil.** Ilhéus: CEPLAC, SBCS, p.107-124, 1985.

FRIES, M.R. Microbiologia e matéria orgânica: recuperação pelo sistema plantio direto. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto.** Santa Maria: Pallotti, 1997. p. 47-75.

GOMES, F. P.; CONAGIN, A. Experimentos de adubação: planejamento e análise estatística. In: OLIVEIRA, A. J. de.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. de.; LOURENÇO, S. (Cord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília,DF: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 103-188.

GOMES, J. Parâmetros ambientais e épocas de semeadura. In: **O milho no Paraná,** Londrina, 1982. Londrina, IAPAR, 1982. p. 51-56. (IAPAR, Circular técnica, 29).

GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L. & PIRES, F.R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. & BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 24, n. 1, p. 153-159, 2000.

GORDÓN, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GRACIA DE, N. & GONZÁLEZ, A. Repuesta de dos cultivares de maíz a la densidad de plantas, bajo dos niveles contrastantes de nitrógeno em Panamá 1993-95. **Síntesis de Resultados Experimentales Del PRM 1993-1995**, v. 5, p. 101-105, 1997.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, 1985.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal, 1990-2008.** Disponível em: http://www.sidra.ibge.gov.br/download/milho32. Acesso em: 01 mar. 2010.

JANSEN, H.H. & KUCEY, R.M.N. C, N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 106, n. 1, p. 35-41, 1988.

JOKELA, W.E. & RANDALL, G.W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. **Soil Science Society of American Journal,** Madison, v. 61, n.

6, p. 1695-1703, 1997.

KIHEL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. p. 101-125.
KURAMOTO, C.M. & FERNANDES, F.M**.** Resposta da cultura do milho (*Zea mays L*.) à adubação nitrogenada, sob semeadura direta. In: CONGRESSO DE INCIAÇÃO CIÊNTÍFICA, 10., 1998, Araraquara. Resumos... Araraquara: UNESP, 1998. p. 330.

LARA CABEZAS; W.A. R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDORFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.

LARA CABEZAS, W.A.R.; ALVES. B.J.R.; URQUIAGA, S. & SANTANA, D.G. de. 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, n. 4, p. 1005-1013, 2004.

LEITE, L. F.C.; CARDOSO, M. J.; COSTA, D. B.; FREITAS, R. C. A.; RIBEIRO, V. Q. & GALVÃO, S. R. R. S. Estoques de C e de N e produtividade do milho sob sistemas de preparo e adubação nitrogenada em um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado piauiense. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2460-2466, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

MARUMOTO, T. Mineralization of C and N from microbial biomass in paddy soil. **Plant and Soil,** Dordrecht, v. 76, n. 1/3, p. 165-173, 1984.

MELLO, F. A. F.; ARZOLA, S. & KIEHL, J. C. Efeito das doses e modos de aplicação de

uréia na produção de milho**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 269-274, 1988.

MELO FILHO, G. A. Custos: Plantio Direto x Plantio convencional. **Plantio direto no Cerrado**. Brasília, DF, v. 5, n. 18, p. 1-10, 2000.

MENGEL, D.B. & BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 399-402, 1974.

MOREIRA, F.M.S & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2002. 625p. Cap. 7: **Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no Solo.**

MUNDSTOCK, C.M. A interação entre o número de plantas e o nível de adubação nitrogenada em cobertura de milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.15, p.111-118, 1979.

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, n. 1, p. 95-102, 1983.

OHLAND, R.A.A. **Adubos verdes e nitrogênio em cobertura na cultura do milho (*Zea mays L.*) em plantio direto.** Dourados, UFMS, 2001. 41p.

OLIVEIRA, J. R. A; VILELA, L. & AYARZA, M. A. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1199-1205, 2000.

OLSON, R. A. & SANDER, D. H. Corn production. In: SPRAGUE, G.F. & DUDLEY, J.W., ed. **Corn and corn improvement**. 3. ed. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1988.

Cap.11, p. 639-686. (ASA. Agronomy, 18).

OTEEGUI, M. E. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: II. Plant population effects. **Crop. Sci**., Madison, v. 37, n. 2, p. 448-455, 1997.

PAVINATO, S. P.; CARETTA, C. A.; GIROTTO, E. & MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L. & FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M. & CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.39, n. 1, p. 35-40, 2004.

RANELIS, N.N. & WAGGER, M.G. Crimson clover management to enhance resseding and no-till corn grain production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 1 p. 62-67, 1993.

RESENDE, S. G. **Alternativas de espaçamentos entre fileiras e densidades de plantas no cultivo do milho.** 2003. 55 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

RESENDE, S.G.; VON PINHO, R. G. & VASCONCELOS, R.C. Influencia do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de

milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo,** Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 34-42, 2003.

ROCHA, R.N.C. **Respostas de híbridos de milho de ciclo super precoce, precoce e normal à aplicação de nitrogênio no sistema plantio direto.** 2003. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROPER, M.M. Straw decomposition and nitrogenase activity (C_2H_2 reduction): effects of soil moisture and temperature. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 1, p. 65-71, 1985.

RUSSEL, W. A. Contribution of breeding to maiz improvement in the United States 1920s-1980s. **Iowa State Journal of Research,** v. 61, p. 5-34, 1986.

SÁ, J.C.M. Efeito de doses de épocas de aplicação de nitrogênio na produção de milho, após resteva de aveia preta (*Avena strigosa*), sob plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC. **Resultados de Pesquisa 88/89.** Castro: FUNDAÇÃO ABC, 1989. p. 61. (Boletim técnico 4).

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.

SÁ, J.C.M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para produção de grãos no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., Viçosa, 1998. Resumos de palestras...Viçosa:SBCS, 1998. p. 19-61.

SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRIA, H.E. & BARBIERI, P.A. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. **Agronomy Journal,** Madison, v. 96, n. 6, p. 1622-1631, 2004.

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, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A. & BIANCHET, P. Híbridos contemporâneos são mais exigentes em população de plantas para maximizarem no rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24. Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2002.

SANTOS, H.P. dos, & PÖTTKER, D. Efeito de leguminosas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agronômicas do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 11, p. 1647-1654, 1990.

SÃO LUÍS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Turismo. **Diagnóstico dos principais problemas ambientais do estado do Maranhão.** São Luís, Lithograf, 1991. 193p.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT user's guide, 4 ed. Cary, 1989. v. 2; 1686p.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. & TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 24, n. 4, p. 917- 926, 2000.

SERGIO, G. R.; RENZO, G. V. P.; ANDRE, H. B. Alternativas para o arranjo de plantas na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24. Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2002.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L. & GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação

nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 381-390, 2004.

SILVA, D. J. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. In: SILVA, D. J. & QUEIROZ, A. C. de. **Determinação do Nitrogênio Total e da Proteína Bruta**. 3.ed. Viçosa:UFV, 2002. p. 57-75.

SILVA, P. R. F. da ; ARGENTA, G. & REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

SILVA, P. R. F. da ; ARGENTA, G. ; STRIEDER, M. L.; CARDOSO, E. T.; FORSTHOFER, E. & SUHRE, E. Resposta de dois híbridos de milho ao arranjo de plantas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. **Meio ambiente e a nova agenda para o agronegócio de milho e sorgo:** Resumos expandidos. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2002. CD-ROM.

SILVA, E.C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) da uréia, do milheto e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado.** 2005.111p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, E. C. da; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E. & SÁ, M. E. de. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005a.

SILVA, E. C. da; BUZETTI, S. & LAZARINI, E. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de**

Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 286-297, 2005b.

SILVA, E.C.; FERREIRA, S.M.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. & GUIMARÃES, G.L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 29, n. 5, p. 725-733, 2005c.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S. & TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006.

SILVA, F.C.; BUZETTI, S.; ANDRADE, J.A.C.; ARF, O.; SÁ, M.E.; FURLANI JÚNIOR, E. & MURAOKA, T. **Adubação nitrogenada e potássica na cultura do milho.** In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DELA CIENCIA DEL SUELO, 14., Pucon-Temuco, 1999, Anais…Temucco: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999. 1 CD Rom.

SILVEIRA, M. J. **Produtividade e análise ecônomica da utilização de nitrogênio e potássio em milho irrigado por aspersão.** 2002. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

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, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 129-145.

SOUZA, L.C.F.; ORTONCELLI, R.; GONÇALVES, M.C.; MORENO, G.; LOURENTE, E.R.P. & PIPPUS JUNIOR, A. Efeito da sucessão de culturas e doses de nitrogênio nos componentes de produção do milho em plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24. Florianópolis, 2002. Congresso: trabalho... Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002. 1 CD-ROM.

TIMMONS, D.R. & CRUSE, R.M. Effect of fertilization method and tillage on nitrogen-15 recovery by timing, rate and tillage. **Agronomy Journal,** Madson, v. 82, n. 4, p. 777-784, 1990.

TIMMONS, D.R. & BAKER, J.L. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. **Agronomy Journal,** Madson, v. 84, n. 3, p. 490-496, 1992.

VARGAS, M. A T.; MENDES, I. C.; CARVALHO, A M.; LOBO-BURLE, M. & HUNGRIA, M. Inoculação de leguminosas e manejo de adubos verdes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado : correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 97-127.

VELOSO, M. E. da C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; MIRANDA, J. H.; SILVA, E. C. & SOUSA, V.F. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo,** Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 382-394, 2006.

VIANA, A.C.; SILVA, A.F.; MEDEIROS, J.B.; CORREA, L.A. Práticas culturais. In: CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO. ed. **Cultura do milho.** Brasília, EMBRATER, 1983. p. 87-100.

VICTÓRIA, R. L.; PICCOLO, M. C. & VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. & NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p. 105-119.

VON PINHO, R. G.; GROSS, M. R.; STEOLA, A. G. & MENDES, M. C. Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na Região Sudeste do Tocantins. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 733-739, 2008.