

Produtividade da cultura do milho em função de adubação nitrogenada em cobertura

Productivity maize yield as a function of nitrogen side dressing fertilization

Vanessa J. Machado^{1*}; Carlos H. E. Souza²; Regina M. Q. Lana³; Adriane A. Silva⁴; Vinicius J. Ribeiro⁵

Resumo: A utilização de fontes que apresentam uma liberação lenta dos nutrientes pode reduzir gastos com mão de obra e energia. Nos adubos de liberação lenta, os nutrientes são encapsulados por resinas e liberados lentamente propiciando uma disponibilidade contínua desses elementos para as plantas. O presente trabalho visa avaliar a eficiência agrônômica e econômica de fontes de fertilizantes nitrogenados convencionais e revestidos com polímeros na cultura do milho, sob plantio direto. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Sertãozinho, EPAMIG, localizada em Patos de Minas-MG. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de nitrogênio em cobertura), doses de 60; 90; 120; e 150 kg ha⁻¹ de N; com e sem revestimento polimerizado, com uma aplicação em cobertura no estágio V₄ ou duas aplicações em cobertura nos estádios V₄ e V₈. Foram analisados a produtividade de grãos, massa de 1.000 grãos, os teores de N nos tecidos foliares e avaliação econômica. Não houve diferença entre as fontes, as doses e a época de aplicação da Ureia convencional e com revestimento, tanto para produtividade quanto para a massa de 1.000 grãos. A aplicação de ureia convencional proporcionou melhor retorno econômico.

Palavras-chave: Ureia; fertilizante polimerizado; parcelamento de N; *Zea mays* L.

Productivity maize yield as a function of nitrogen side dressing fertilization.

Abstract. The use of sources that provide a slow release of nutrients can reduce spending on labor and energy. In slow-release fertilizers, nutrients are encapsulated by resin and released slowly providing continuous availability of these elements to plants. This study aims to evaluate the agronomic and economic efficiency of sources and conventional nitrogen fertilizers coated with polymers in corn under no-tillage. The experiment was conducted at the Experimental Farm Sertãozinho EPAMIG located in Patos de Minas-MG. The treatments were: control (without application of nitrogen), doses of 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹ N, with and without coating polymerized with a sidedress application at V₄ stage or two topdressing applications in V₄ and V₈. Was analyzed grain yield, 1000 seed weight, N content in leaf tissues and economic evaluation. No differences between sources, doses and time of application of urea and conventional coated both for productivity and for 1000 seed weight. The application of conventional urea provided better economic return.

Key words: Urea; polymerized fertilizer; nitrogen splitting; *Zea mays* L.

* Autor correspondente.

¹ Doutoranda em Fertilidade do Solo pela Universidade Federal de Uberlândia, vjunia01@globocom.com.

² Professor do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Av. Major Gote 808, Patos de Minas, MG CEP 38702-054, carloshenrique@unipam.edu.br

³ Professora Titular do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. Amazonas, s/nº bloco 4C sala112 – Umuarama, Uberlândia-MG CEP: 38400-709, rmqlana@iciag.ufu.br.

⁴ Professora do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. Amazonas, s/nº bloco 4C sala112 – Umuarama, Uberlândia-MG CEP: 38400-709, adriane@iciag.ufu.br

⁵ Engenheiro Agrônomo. Viniciusjoseribeiro@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que mais tem contribuído para o incremento da produção de grãos brasileira nos últimos anos destacam-se a adoção de inovações tecnológicas e práticas adequadas por parte dos produtores rurais, como por exemplo, o incremento do uso de fertilizantes no processo de produção, uso eficiente de agroquímicos, sementes com melhoramento genético adequado a diferentes zoneamentos climáticos, manejo adequado do solo, entre outros. De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANANDA) o consumo de fertilizantes “NPK” no Brasil aumentou na ordem de 150% no período de 2000 a 2010, onde neste mesmo período a produção nacional de grãos fora aumentada em 160% (ANANDA, 2011).

O nitrogênio (N) é um elemento empregado em grandes quantidades na agricultura, visto ser constituinte de vários compostos em plantas e extraído em grandes quantidades por estas (CANTARELLA, 2007). Nos últimos anos, a cultura do milho, no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e da produção.

As frações inorgânicas são formadas por amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), as principais fontes de N inorgânico absorvidos pelas plantas, contribuindo com cerca de 80% do total de cátions e ânions absorvido pelas plantas. A maior parte do N no solo provém do ar, por deposições atmosféricas de formas combinadas de N e da fixação biológica de N_2 . O NH_4 é incorporado em compostos orgânicos das raízes, enquanto que o NO_3 é prontamente móvel no xilema e pode ser acumulado nos vacúolos das raízes, folhas e órgão de reserva. Para ser incorporado a estruturas orgânicas e cumprir suas funções de essencialidade como nutriente, o NO_3 deve ser reduzido a NH_4 , reação mediada por duas enzimas, a nitrato redutase e a nitrito redutase (MARSCHNER, 1995).

Os fertilizantes nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis não renováveis e, quando usados em grandes quantidades ou em condições inadequadas, o N pode ser perdido por volatilização da amônia ou lixiviação do nitrato. Uma forma de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada (CANTARELLA, 2007).

Ainda segundo Cantarella (2007), as perdas de N para o ambiente estão associadas à concentração de formas solúveis de N ou das formas mais susceptíveis a perdas. Uma forma de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada.

Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade

de forma rentável e sustentável utilizando fontes de N, foram desenvolvidas fórmulas com liberação gradativa de nutrientes, que permitem reduzir as perdas que normalmente ocorrem com a utilização de ureia. Essa liberação gradativa de nutrientes é obtida pelo revestimento do fertilizante nitrogenado com polímeros, aumentando a produtividade das culturas e a eficiência dos fertilizantes (NYBORG et al., 1995).

Além da eficiência agrônômica, o fertilizante deve ser economicamente viável. A adubação é realizada para o aumento da produção e do lucro. Quando se avaliam os fatores econômicos da produção agrícola, o fertilizante é considerado um custo, mas quando se avalia a adubação, esta passa a ser fator de maior interesse, visto poder gerar retornos extras (RAIJ, 2011). Assim, a escolha do fertilizante a ser aplicado deve levar em consideração sua eficiência agrônômica e seu retorno financeiro, seja na redução do volume utilizado, seja no custo de aquisição por ponto de nutriente, seja no ganho em produtividade.

Dessa forma, o presente trabalho visou avaliar a eficiência agrônômica e econômica de fontes de fertilizantes nitrogenados convencionais e revestidos com polímeros na cultura do milho, segunda safra, sob sistema plantio direto, em Patos de Minas, região do Alto Paranaíba em Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado na Fazenda Experimental Sertãozinho, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, Unidade Triângulo e Alto Paranaíba, localizada em Patos de Minas-MG, em sistema plantio direto. A região apresenta um clima tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw), cujos dados meteorológicos no período de condução do experimento apresentam-se na FIGURA 1. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo e de Fisiologia Vegetal do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no município de Patos de Minas – MG, e no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia.

O experimento foi instalado em área de Latossolo Vermelho distrófico argiloso (EMBRAPA, 2006), em uma lavoura de milho (*Zea mays*, L.) sob sistema plantio direto, de fevereiro de 2011 a julho de 2011.

Antes da instalação do experimento, foi coletada amostras do solo, na profundidade de 0 a 10 cm, para análise da caracterização química e física, determinando os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} trocáveis; acidez potencial por acetato de cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria; P-assimilável por Mehlich-1, P-remanescente e pH em água; e teores de areia, silte e argila, seguindo metodologia de EMBRAPA (1997), conforme TABELA 1.

TABELA 1. Valores médios para as variáveis químicas e matéria orgânica do solo, na profundidade de 0 a 10 cm.

pH Água	M.O. ¹ dag kg ⁻¹	P-rem mg L ⁻¹	P ² mg dm ⁻³	K 14 2,86	Ca 1,74	M g 0 ,15	Al 0,02	H + Al 5,50
					cmolcdm ⁻³			

¹Matéria orgânica: método colorimétrico; ² P-meh-1;

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em fatorial 4x2x2+1, constituídos de tratamentos com doses de N (0; 60; 90; 120; e 150 kg ha⁻¹ de N), utilizando ureia com dois tipos de revestimento (com e sem revestimento de polímero), épocas de aplicação (uma cobertura no estádio V₄, aplicando toda a dose acima referida, e duas aplicações em cobertura nos estádios V₄ e V₈, metade da dose em cada estádio), e controle (sem N) respectivamente em 4 blocos, em um total de 68 parcelas. Todas as parcelas receberam 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

As fontes de nitrogênio utilizadas foram a Ureia com 45% de N, e Ureia revestida com 36% de N. O revestimento é formado por três camadas de polímeros (tecnologia Kimcoat[®]).

As parcelas experimentais foram constituídas por uma área de 25 m², sendo 10 m de comprimento por 2,5 m de largura.

O plantio do experimento de milho de segunda safra

foi realizado em 24 de fevereiro de 2011, espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de quatro plantas m⁻¹, totalizando uma população final de aproximadamente 75.000 plantas ha⁻¹, utilizando o híbrido triplo Biogene[®] BG 7049Y. A colheita foi realizada em 20 de junho de 2011.

A adubação fosfatada foi de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados no sulco de plantio, utilizando fosfato monoamônio, conforme recomendação de Sousa et al., (2002), valores calculados com base no P-rem. Como dose de K, foram fornecidos 60 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte o KCl, aplicados no plantio, conforme recomendação de Miranda et al., (2007). Como fonte de micronutrientes, utilizou-se 2 kg de Zn, 0,4 kg de B e 0,8 kg de Mn. Não foram utilizadas aplicações de fungicidas e inseticidas.

Durante a condução do experimento, houve distribuição normal de chuvas para o período e utilização de irrigação nos períodos de seca. (FIGURA 1).

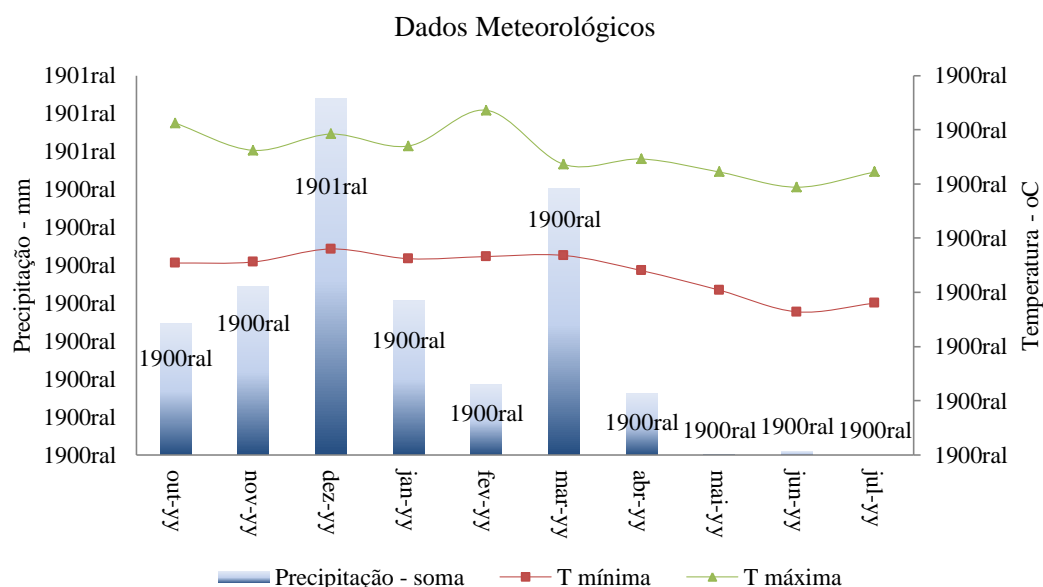


FIGURA 1. Precipitação pluvial média (mm). Fonte: [http:// www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=MG](http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=MG). Estação meteorológica: Patos de Minas (INMET)

Na época da colheita, foi colhida toda a área útil da parcela, sendo esta as três fileiras centrais, eliminando-se 0,5 m das bordas iniciais e finais de cada parcela. As

espigas foram debulhadas e pesados os grãos. A partir disso, fez-se a estimativa da produtividade para um hectare de produção.

Após a colheita, as espigas foram debulhadas e mediu-se a umidade dos grãos (18% de umidade). Os grãos foram secos à umidade padrão de 13% e pesados à massa de 1000 grãos, de acordo com as Regras de Análise de Sementes. Para determinar a umidade dos grãos produzidos, foi utilizado o Método da Estufa, a $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, de acordo com as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

Foram coletadas duas folhas por parcela, opostas e abaixo da espiga, quando do aparecimento da inflorescência feminina da planta, conforme Malavolta et al., (1997). As folhas foram lavadas em água destilada (corrente), acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C a 72°C até que o peso ficasse constante para determinação dos teores de N em destilação – titulação (Kjeldahl), segundo Embrapa (2009).

Para as plantas de milho, sete dias após a aplicação da primeira adubação nitrogenada em cobertura foi feita a análise de atividade da enzima nitrato redutase. Coletou-se a primeira folha completamente desenvolvida a partir do ápice da planta, de quatro plantas localizadas nas duas fileiras centrais, excluindo 0,5 m das extremidades. A metodologia utilizada para determinação da atividade da enzima nitrato redutase foi a proposta por Cataldo (1975).

$$EA = \frac{I \cdot \frac{\text{Prod}_{\text{fonte}} - \text{Prod}_{\text{controle}}}{\text{Prod}_{\text{padrão}} - \text{Prod}_{\text{controle}}}}{X} \cdot 100$$

IEA = Índice de Eficiência Agronômica

Os dados referentes à produtividade, massa de 1000 grãos e teor de N nos tecidos foliares, em função da fonte, dose e época de aplicação do fertilizante nitrogenado, foram submetidos à análise de variância ajustando modelos de regressão dos parâmetros avaliados em relação aos tratamentos, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2000). As médias, ainda, foram comparadas ao tratamento adicional pelo teste Dunnett a 0,05 de significância, com o auxílio do programa ASSISTAT versão 7.5 beta (SILVA, 2007).

Com os modelos ajustados, foram estimados o custo do uso dos fertilizantes de forma diferenciada de acordo

A atividade enzimática foi diretamente relacionada com a quantidade de NO_2 determinada, e os resultados foram expressos em $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ de NO_2 na matéria fresca.

A eficiência econômica foi avaliada após ser determinada a estimativa de produtividade de cada tratamento, em que se fez um comparativo do valor gasto com a compra do fertilizante e o valor obtido com a produção de grãos.

Para cada tratamento, em função das doses e fontes dos fertilizantes nitrogenados, foi calculado o faturamento bruto de acordo com a produção de milho obtida. Com os valores dos custos dos fertilizantes, foi determinada a dose de melhor retorno econômico. Como base de valores utilizou-se saca de 60 kg de milho a US\$ 16,77; kg de N da Ureia convencional a US\$ 1,50; e o kg de N da Ureia revestida a US\$ 2,12. O levantamento de preços foi realizado em 12 de agosto de 2011, no município de Patos de Minas, Minas Gerais.

As combinações de fontes, doses e época de aplicação de N foram comparadas à sua eficiência agronômica na produtividade de grãos de milho (Prod.) (NOVAIS; SMYTH, 1999). Considerou-se, em cada fonte e dose dos fertilizantes, a Ureia convencional, na dose de 120 kg ha^{-1} , como referência para aplicação da fórmula:

com sua concentração de N e o valor praticado no mercado de Patos de Minas, Minas Gerais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os fatores fonte e dose de N. Os tratamentos que receberam a Ureia com e sem revestimento polimerizado em cobertura apresentaram produtividade semelhante em todos os tratamentos (TABELA 2, FIGURA 2).

TABELA 2. Produtividade (kg ha⁻¹), massa de 1000 grãos (g) e teor de N foliar (g kg⁻¹) observados em milho de segunda safra, cultivado em função da aplicação de doses de N utilizando Ureia revestida com polímeros (POL) e sem revestimento de polímero (ureia), em uma ou duas aplicações em cobertura, em sistema plantio direto.

Características avaliadas	Fontes	Doses de N, kg ha ⁻¹								Média		
		0		60		90		120			150	
		Parcelamento ²		1	2	1	2	1	2		1	2
----- kg kg ⁻¹ -----												
Produtividade	Uréia	9602	8246	8648	9442	9079	9868	8938	8467	8883	9019a ¹	
	POL		9133	8890	8216	8342	9017	8941	8427	8570	8793a	
----- g -----												
Massa 1000 grãos	Uréia		258,22	256,16	260,61	271,72	275,11	267,33	239,93	263,47	261,65a	
	POL	262,27	264,67	261,01	257,88	244,98	253,10	262,60	261,01	262,67	258,91a	
----- g kg ⁻¹ -----												
N Foliar	Uréia		28,25	28,25	30,00	31,00	31,00	30,50	29,50	29,25	29,17a	
	POL	24,75	30,25	29,00	29,25	29,50	30,75	25,75	30,25	30,00	28,83a	
CV% _{Produção} = 12,58		DMS _{Tukey Produção} = 782,42				DMS _{Dunnett Produção} = 2298,66						
CV% _{M1000} = 6,05		DMS _{Tukey M1000} = 10,93				DMS _{Dunnett M1000} = 33,35						
CV% _{NFoliar} = 15,35		DMS _{Tukey NFoliar} = 3,04				DMS _{Dunnett NFoliar} = 7,85						

¹médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância. ² aplicações de N em cobertura, com aplicação de toda a dose de N em uma aplicação ou aplicação da dose de N divididos em duas aplicações.

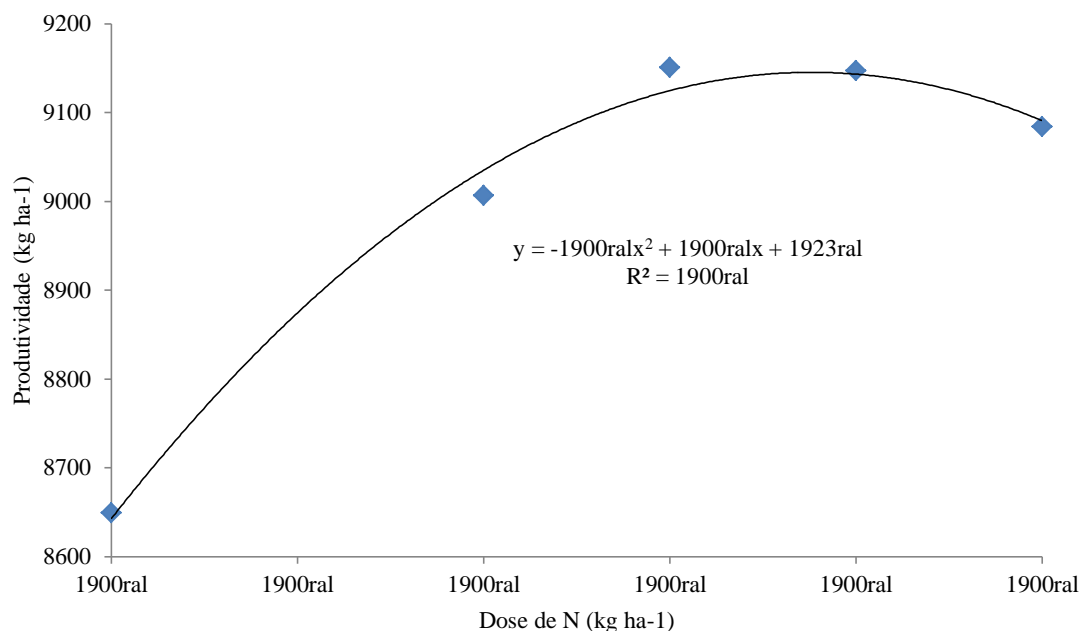


FIGURA 2. Produtividade de milho em função das doses de Ureia, média de convencional e revestida com polímeros

Entretanto, Valderrama et al., (2011), em experimento com aplicação de 0, 40, 80 e 120 Kg ha⁻¹ de N em cobertura, utilizando como fontes a Ureia convencional e a Ureia revestida por polímeros, observaram aumento significativo de produtividade de grãos com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, o que representou aumento de 78,25% em relação ao tratamento controle sem N. Produtividades próximas às obtidas por

Valderrama et al., (2011) também foram obtidas por Araújo et al., (2004), que, estudando o efeito de doses de N na cultura do milho, verificaram que a aplicação de 240 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior produtividade.

Civardi et al., (2011), utilizando como fontes de N a Ureia com e sem revestimento, observaram que a forma de aplicação, a dose e a fonte da ureia utilizada em cobertura no milho tiveram efeito significativo sobre o rendimento de grãos, contrastando com os resultados

obtidos por este trabalho. A maior produtividade de grãos obtida por esses autores foi a com a ureia incorporada, seguida da maior dose (49,44 kg ha⁻¹) de ureia polimerizada em superfície.

Zavachi (2010), analisando produtividade de milho após aplicação de 45, 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N com Ureia convencional e com revestimento de polímeros, observou que os tratamentos com fertilizante revestido e com a maior dose da ureia convencional diferiram significativamente do controle, além de não verificar diferença estatística em produtividade no tratamento com aplicação de ureia comum nas doses de 67,5 e 45 kg ha⁻¹ de N e o tratamento controle. Esse autor relata que a fertilização com doses reduzidas da ureia convencional afetou o desempenho produtivo da planta.

O parcelamento das doses de N também não mostrou efeito significativo para nenhuma das variáveis fonte e dose do fertilizante, mesmo quando comparado à aplicação do fertilizante no plantio, indicando que a aplicação do fertilizante nitrogenado pode ser feita na semeadura, sem prejuízo no desenvolvimento da planta e produtividade de grãos, além de reduzir custos com a aplicação do fertilizante (TABELA 2).

A produtividade foi maior nos tratamentos em que

houve parcelamento das doses de N, porém em dados absolutos e não diferindo estatisticamente entre si. A Ureia Convencional apresentou resultado mais satisfatório que a Ureia revestida, porém sem haver diferença significativa entre as fontes (FIGURA 2).

Também não se observou efeito significativo para fonte ou dose de N aplicados para a massa de 1.000 grãos, indicando que o aumento nas doses de N ou a fonte utilizada não afetaram a massa dos grãos (TABELA 3, FIGURA 3).

Observou-se também que doses de N acima de 90 kg ha⁻¹ não proporcionaram incremento na massa dos grãos, fato que confirma a menor produtividade obtida nos tratamentos com aplicação de dose acima de 90 kg ha⁻¹ (FIGURA 3)

Valderrama et al., (2011) também não encontraram resultados significativos para a massa de 100 grãos do milho em trabalho realizado com incremento das doses de N. Kappes et al., (2009) e Souza e Soratto (2006) não verificaram diferença significativa na massa de 100 grãos, quando utilizaram Uréia e Entec[®] como fontes de N. Oliveira e Caires (2003) observaram aumento linear da massa de 100 grãos utilizando as doses de 0; 30; 60; 90; e 120 kg ha⁻¹ de N.

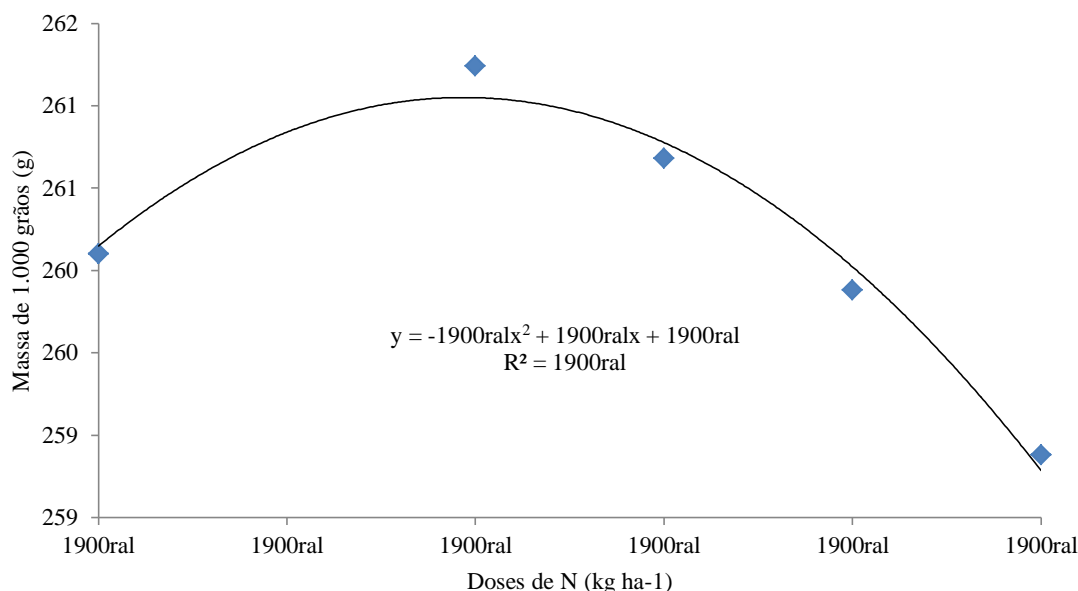


FIGURA 3 Massa de 1.000 grãos de milhos, em g, em função das doses de Ureia convencional e revestida com polímeros

Zavachi (2010), avaliando a massa de 1.000 grãos de milho após aplicação de 45, 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N utilizando Ureia convencional e com revestimento de polímeros, observou que a massa de 1000 grãos do tratamento controle como o fertilizado com a menor dose de N de ureia convencional diferiu do tratamento com

aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N do fertilizante revestido.

O parcelamento das doses de N também não diferiu entre si quando analisado à massa de 1.000 grãos de milho, independente da dose ou fonte aplicados. Os tratamentos que tiveram a dose de N parcelada em duas coberturas obtiveram médias de massa inferiores, mesmo que não significativas, daquelas em que não houve

parcelamento da dose (TABELA 2).

O teor de N foliar para o milho também se mostrou não significativo para as fontes e doses do fertilizante nitrogenado utilizado (FIGURA 4). Quando analisado a época de aplicação, se em uma ou duas aplicações de N em cobertura, o teor de N na folha também se mostrou não significativo (TABELA 2). De acordo com Cantarella et al., (1997), o teor adequado de N nas folhas do milho para um bom desenvolvimento e produção está situado na faixa

de 27,5-32,5 g kg⁻¹ de matéria seca. Nesse caso, independente da dose de N testada, o teor do nutriente nas folhas foi adequado, não comprometendo, assim, o desenvolvimento da cultura.

Valderrama et al., (2011) relataram que as doses de N influenciaram, positivamente, o teor de N foliar, quando aplicados 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, utilizando como fontes a Ureia convencional e a Ureia revestida por polímeros.

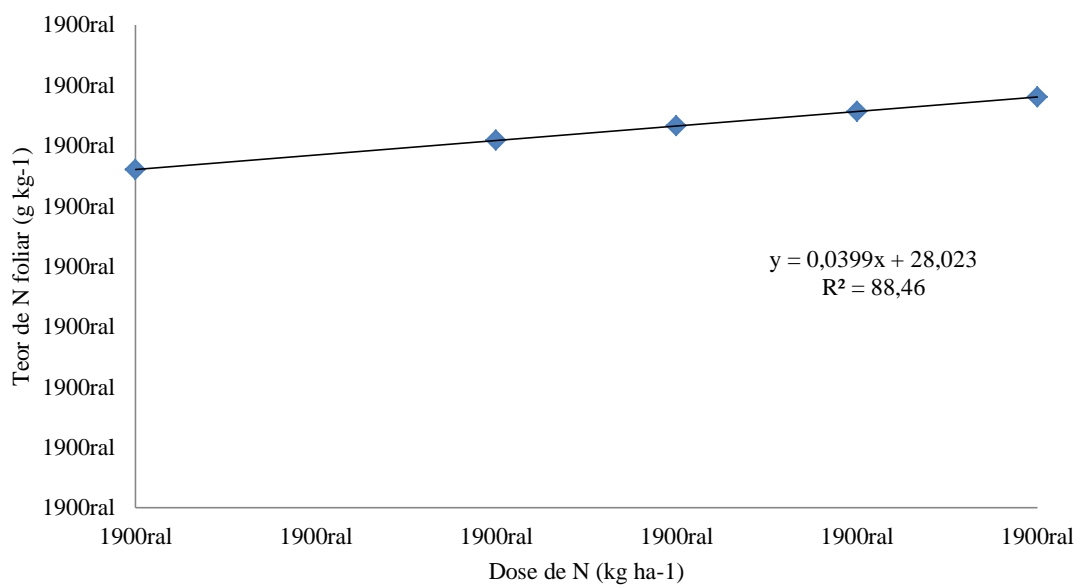


FIGURA 4. Teor de N-NH₄ (g kg⁻¹) em folhas de milhos de segunda safra, em função das doses de Ureia convencional e revestida com polímeros

Benett et al., (2011) relataram que houve incremento do teor de N foliar na cultura do trigo, quando aplicados 0, 12,5, 25,0, 37,5 e 50 kg ha⁻¹ de N em três épocas de aplicação: no perfilhamento, 30 dias após a emergência (DAE); no florescimento pleno, aos 60 DAE e no início da formação de grãos, aos 70 DAE; e no perfilhamento e no início da formação dos grãos, com ou sem cobertura de 40 kg ha⁻¹ de N aos 40 DAE, resultado que contrasta com o deste trabalho.

Analisou-se a atividade da enzima nitrato redutase (NR), e esta se mostrou influenciada pela fonte, dose e época de aplicação do fertilizante aplicado (TABELA 3).

A disponibilidade de N e a forma como está presente no solo interferem na atividade da enzima nitrato redutase (NR). Sua atividade pode ser diminuída com a diminuição na absorção de nitrato, a translocação do NO₃⁻ absorvido para a parte aérea e o acúmulo de aminoácidos tanto nas folhas como nas raízes, resultante ou da inibição da síntese ou da degradação de proteínas. De acordo Araújo e Machado (2006), a absorção de nitrato é um processo

ativo, dependente de energia metabólica para o transporte contra um gradiente de potencial eletroquímico, necessitando de substâncias redutoras e de ATP.

Diferentes são os fatores que interferem na atividade da enzima, como a concentração exógena de nitrato, o pH, a temperatura de incubação e o ritmo diurno de atividade da NR (LEE; TITUS, 1992). Dessa forma, o fornecimento gradual e constante de uma fonte nitrogenada pode favorecer a atividade dessa enzima, o que pode ser proporcionado pelo fertilizante de liberação lenta. A NR é uma enzima substrato-induzível, ou seja, sua atividade é estimulada pela presença de nitrato (BERGES 1997): quanto menor a absorção de N-nítrico, menor a atividade da enzima. A primeira etapa da assimilação do nitrato ocorre no citoplasma, sendo catalisada pela enzima NR, que reduz o nitrato a nitrito utilizando NAD(P)H como doador de elétrons. Posteriormente, o nitrito produzido é transportado ao cloroplasto, onde é reduzido ao íon amônio pela enzima nitrito redutase, que utiliza a ferredoxina como doadora de elétrons (LEA, 1993).

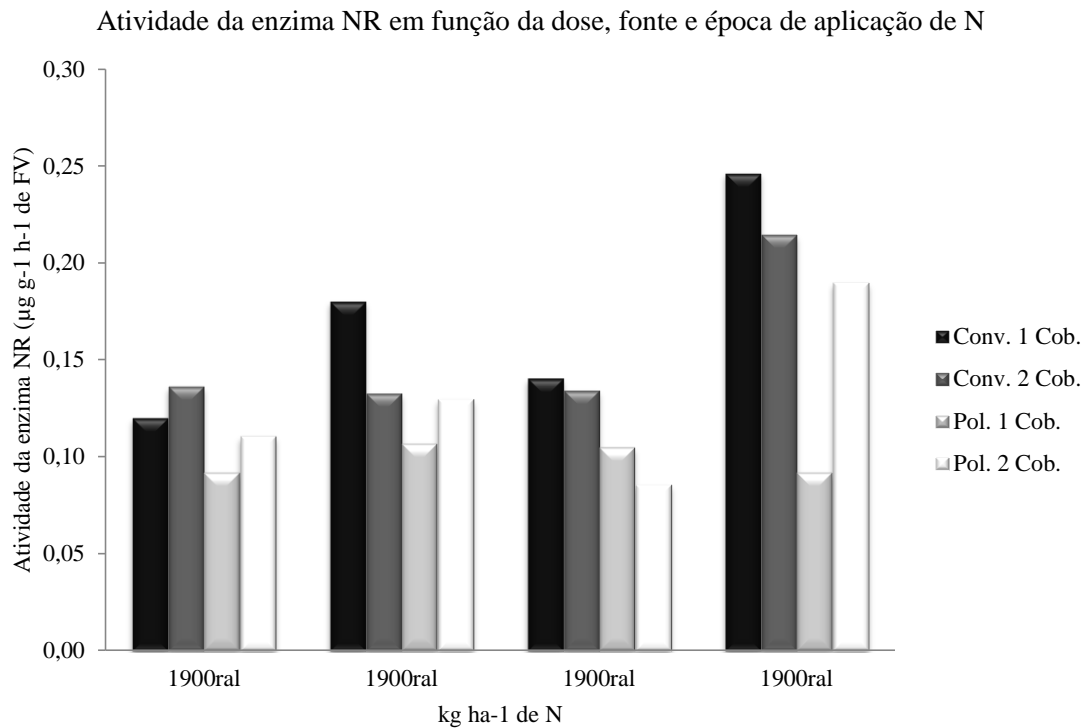


FIGURA 5. Atividade da enzima nitrato redutase, em $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$, em função da aplicação de 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1} N em milho de segunda safra, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros

A atividade da enzima NR foi menor em todos os tratamentos com aplicação do fertilizante revestido com polímeros, em comparação à Ureia convencional, independente da dose aplicada e da época de aplicação, seja em cobertura, seja em aplicação na semeadura (FIGURA 5).

A menor atividade da enzima NR indica um menor gasto de energia da planta em transformar o NH_4^+ em NO_3^- . A planta gasta menos energia nesse processo.

Porém, uma menor atividade da enzima e, conseqüentemente, menor gasto de energia não asseguram incremento de produtividade (PURCINO et al., 1994).

Uma hipótese para essa afirmação é a de que, no fertilizante polimerizado, o nitrogênio na forma de amônia (NH_3) seja transformado em íon amônio (NH_4^+) e esteja disponível em sua maior parte na forma amoniacal (NH_4^+), reduzindo assim as transformações nas formas nítricas (NO_3^-).

TABELA 3. Atividade da enzima nitrato redutase, em percentual em relação ao tratamento controle (sem aplicação de N em cobertura), em função das doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas de Ureia convencional e revestida com polímeros.

Dose	Ureia Convencional		Ureia Revestida	
	1 Cobertura	2 Coberturas	1 Cobertura	2 Coberturas
60	20,24	36,44	-8,10	10,80
90	80,30	33,00	6,88	93,12
120	40,49	34,41	4,72	-14,17
150	146,42	114,71	-8,10	90,00

A atividade da enzima foi maior nos tratamentos que receberam o fertilizante convencional do que nos que receberam o fertilizante revestido, independente da época de aplicação – se no momento da semeadura ou se aplicado em cobertura –, indicando que aquelas plantas absorveram mais nitrato do que as que receberam o adubo polimerizado. Observou-se também que as plantas que receberam o fertilizante em uma aplicação, em cobertura, tiveram menor atividade dessa enzima quando comparadas àquelas que receberam o fertilizante parcelado em duas aplicações em cobertura (TABELA 3). Essa atividade é fortemente induzida pelo substrato, e a maior disponibilidade de nitrato no meio de crescimento aumenta os seus valores (VASCONCELLOS et al. 1978).

Observou-se que o teor de N nas folhas foi semelhante em todos os tratamentos. Porém, quando se observam os valores da enzima NR, percebe-se grande diferença. Pode-se inferir, a partir desses dados, que a planta absorveu N-NH₄ nos tratamentos em que foi aplicado o fertilizante revestido, mas ainda se fazem necessários maiores estudos sobre o assunto para melhor elucidação.

Silva et al., (2011) relataram que a atividade enzimática respondeu significativamente à interação N x K, quando aplicado ao milho. A interação N=100 kg ha⁻¹ e

K= 40 kg ha⁻¹ proporcionou os melhores resultados da enzima nitrato redutase.

Purcino et al., (1994) relataram que a atividade da enzima nitrato redutase não foi diferente entre os níveis de adubação com N, quando aplicados 20 e 60 kg ha⁻¹ de N na forma de Ureia, aplicados no milho.

A ureia convencional proporcionou, no presente estudo, maior retorno econômico. Em todas as doses, a ureia revestida apresentou custo maior de produção, e como não houve diferença na produtividade obtida, o custo maior desse fertilizante fez com que o retorno financeiro obtido fosse menor (TABELA 4).

Em função do maior custo da Ureia polimerizada, cerca de 30% mais cara que a Ureia convencional, a receita obtida com o uso desse fertilizante foi menor. O lucro líquido alcançado com o uso da Ureia convencional foi maior que o alcançado com a Ureia revestida, independente da dose de N utilizada (TABELA 4).

Em termos financeiros, a produção por hectare, utilizando 60 kg ha⁻¹ de N com a ureia convencional, proporcionou um ganho de US\$ 2.427,44, enquanto a produção nessa mesma unidade de área com a ureia revestida gerou um ganho de US\$ 2.390,18, sendo US\$ 37,27 maior o lucro líquido alcançado com a Ureia convencional.

TABELA 4. Avaliação econômica da produção de milho em função de doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros, segundo modelo proposto por Rajj (2011).

Dose	Produtividade	Custo do fertilizante			Produção por US\$ 1,00 investido		
		Custo N ¹	Custo POL ²	DIF Custo ³	PV Ureia ⁴	PV POL ⁵	DIF PV ³
60	9006,29	89,81	127,08	37,27	100,28	70,87	-29,41
90	9150,69	134,72	190,62	55,90	67,92	48,00	-19,92
120	9147,09	179,63	254,16	74,53	50,92	35,99	-14,93
150	9083,57	224,53	317,70	93,17	40,46	28,59	-11,86

Dose	Lucro Bruto			Lucro bruto – Fertilizante		
	LB Ureia ⁶	LB POL ⁷	DIF ³	LB - CUreia ⁸	LB - C POL ⁹	DIF ³
60	2.517,26	2.517,26	0,00	2.427,44	2.390,18	-37,27
90	2.557,62	2.557,62	0,00	2.422,90	2.367,00	-55,90
120	2.556,61	2.556,61	0,00	2.376,98	2.302,45	-74,53
150	2.538,86	2.538,86	0,00	2.314,32	2.221,16	-93,17

¹Custo do kg de N na Ureia; ² Custo do kg de N na Ureia revestida com polímeros; ³Diferença de custo entre Ureia revestida menos custo da Ureia; ⁴ Retorno em produção por US\$ 1,00 investido, em função do custo da Ureia; ⁵ Retorno em produção por US\$ 1,00 investido, em função do custo da Ureia revestida; ⁶Lucro bruto obtido com uso de Ureia; ⁷Lucro obtido com uso de Ureia revestida; ⁸Lucro bruto menos o custo da Ureia; ⁹Lucro bruto menos o custo da Ureia revestida com polímeros.

Quanto maior a dose do fertilizante utilizado, maior é o lucro obtido com a aplicação da Ureia convencional, visto ser o fertilizante polimerizado mais caro, quanto maior a dose utilizada, maior é o custo de sua utilização, e, sendo a produtividade semelhante entre as duas fontes, o fertilizante polimerizado se tornou mais oneroso que o fertilizante convencional.

Civardi et al., (2011) também observaram que, tendo em conta a relação entre o valor recebido e o valor do investimento, a ureia convencional foi superior a ambos os tratamentos com ureia revestida aplicada em superfície.

Os índices de eficiência agrônômicos (IEA) das doses em função da fonte do fertilizante nitrogenado e a sua época de aplicação podem ser observados na TABELA 5.

Para o experimento com milho de segunda safra, observou-se que os maiores resultados obtidos com a produtividade do milho foram nas aplicações de N utilizando a Ureia convencional, quando aplicados em duas coberturas e para as doses de 120 e 150 kg ha⁻¹ de N, utilizando a Ureia revestida com polímeros quando a aplicação em cobertura foi parcelada em duas vezes. Para as demais doses, observou-se uma menor eficiência do fertilizante nitrogenado, independente da fonte utilizada

(TABELA 5).

A aplicação de todo o fertilizante na ocasião do plantio, independente da fonte utilizada, se mostrou menos eficiente que quando aplicado o fertilizante parcelado em plantio e cobertura (TABELA 5).

Silva et al., (2011) relataram que obtiveram aumento de produtividade quando aplicaram o fertilizante nitrogenado em cobertura e que a eficiência agrônômica da adubação diminuiu em altos níveis de N aplicados, resultados obtidos em experimento com aplicação de 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N nas fontes de Ureia comum e Ureia com NBPT em milho.

Teixeira Filho et al., (2010), aplicando as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N nas fontes, Entec[®], sulfato de amônio e ureia e em duas épocas de aplicação (na semeadura, ao lado das linhas, ou em cobertura), observaram que as fontes de N tiveram efeito semelhante sobre a altura de plantas e a produtividade de grãos do trigo irrigado. A aplicação total de N na semeadura e a aplicação tradicional, em semeadura e cobertura, são igualmente viáveis. O incremento das doses de N até a dose de 121,5 kg ha⁻¹, em média, aumenta a produtividade de grãos, independente da época de aplicação e da fonte de N utilizada.

TABELA 5. Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) (%) das fontes de nitrogênio em função das doses aplicadas e a época de aplicação sobre a produtividade de milho, em relação a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, de Ureia convencional, considerado padrão (100%).

Dose	Ureia Convencional		Ureia Revestida	
	1 Cobertura	2 Coberturas	1 Cobertura	2 Coberturas
60	(61,45)	121,16	186,16	(27,69)
90	0,19	192,12	77,09	36,95
120	100,00	114,97	(17,91)	107,09
150	23,39	168,13	(80,36)	154,20

CONCLUSÕES

Não houve diferença entre as fontes Ureia convencional e com revestimento de polímero, as doses de N aplicadas em cobertura e a época de aplicação, na lavoura de milho de segunda safra, tanto para produtividade, para a massa de 1.000 grãos, quanto para o teor de N foliar.

O parcelamento das doses de N não mostrou efeito significativo para nenhuma das variáveis fonte, dose e época de aplicação do fertilizante.

A atividade da enzima nitrato redutase foi menor em

todos os tratamentos onde foi utilizado o fertilizante revestido com polímeros, em comparação à Ureia convencional, independente da dose aplicada e da época de aplicação.

A ureia convencional proporcionou maior retorno econômico que a ureia polimerizada.

A eficiência agrônômica dos fertilizantes nitrogenados foi maior quando houve parcelamento das doses em duas aplicações em cobertura.

REFERÊNCIAS

- ANDA: Anuário estatístico setor de fertilizantes. São Paulo; 2011. Disponível em <http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>. Acesso em 12/12/2011.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. **Fósforo**. In FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.
- BERGES, J.A. Algal nitrate reductases. **European Journal of Phycology**, London, v. 32, p. 3-8, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: LANARV, SNDA, 1992. 365p.
- BENETT, C.G.S.; BUZZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; ANDREOTTI, M.; ARF, O. Aplicação foliar e em cobertura de nitrogênio na cultura do trigo no cerrado. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 829-838, jul/set. 2011.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN; CAMARGO, C. E. O. CEREAIS. In: RAIJ, B. van et al. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 45-71. (Boletim técnico, 100).
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., eds., **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L.. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v.6, p.71-80, 1975.
- CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A.N.; RAGAGNIN, V.A.; GODOY, E.R.; BROD, E.. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 627 p.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.
- KAPPES, C.; CARVALHO, M.A.C.; YAMASHITA, O.M.; SILVA, J.A.N.. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão a soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.
- LEA, P.J. Nitrogen metabolism. In: LEA, P.J.; LEEGOOD, R.C. (Eds.) **Plant biochemistry and molecular biology**. John Wiley e Sons Ltd, p.155-180, 1993.
- LEE, H.J.; TITUS, J.S. Factors affecting the in vivo nitrate reductase assay for MM. 106 apple trees. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 23, p. 981-991, 1992.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MIRANDA, G.V.; PAULA, T.J.; VENZON, M.. **101 Culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.
- NYBORG, M.; SOLBERG, E.D.; MALHI, S.S.; IZAURRALDE, R.C.. **Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995.
- NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1999. 399p.
- OLIVEIRA, J. M. S.; CAIRES, E. F. Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 351-357, 2003.
- PURCINO, A. A. C.; MAGNAVACA, R.; MACHADO, A.T.; MARRIEL, I.E. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.6(1), p. 41-46, 1994.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.

SILVA, F.A.S. **ASSISTAT Versão 7.9 beta**. 2007. Disponível em: <<http://assistat.sites.uol.com.br/>>. Acesso em: 20 out.2011.

SILVA, D.R.G.; PEREIRA, A.F.; DOURADO, R.L.; SILVA, F.P.; AVILA, F.W.; FAQUIN, W.. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35 n.3, 2011.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 395-405, 2006.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C.G.S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.8, p.797-804, ago. 2010.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr./jun. 2011.

VASCONCELLOS, C.A.; FORTES, J.M.; STAMFORD, N.P.; FERNANDES, J.; DANTOS, Z.G.; MALAVOLTA, E.. Atividade da redutase do nitrato em milho (*Zea mays* L. var. "Piranão") em níveis crescentes de nitrogênio. **Revista Ceres**, Viçosa, v.25, p.218-227, 1978.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.