



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

**LETICIA CUNHA DA HUNGRIA**

**RUBIA CARLA RIBEIRO DANTAS**

**NITROGÊNIO EM MILHO EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO NITROGENADA A  
BASE DE ZEÓLITA ENRIQUECIDA COM URÉIA**

**BELÉM**

**2016**

LETICIA CUNHA DA HUNGRIA

RUBIA CARLA RIBEIRO DANTAS

**NITROGÊNIO EM MILHO EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO NITROGENADA A  
BASE DE ZEÓLITA ENRIQUECIDA COM URÉIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Marcos da Gama Piedade  
Co – Orientador: Dr. Edilson Carvalho Brasil

BELÉM  
2016

---

Hungria, Letícia Cunha da

Nitrogênio em milho em resposta a adubação nitrogenada a base de zeólita enriquecida com uréia / Letícia Cunha da Hungria, Rubia Carla Ribeiro Dantas. – Belém, 2016.

49 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2016.

Orientador: Marcos da Gama Piedade

1. Fertilizantes - volatilização 2. Fertilizantes de liberação lenta 3. Milho – fertilizantes - teores de N I. Dantas, Rubia Carla Ribeiro II. Piedade, Marcos da Gama, (Orient.) III. Título.

---

CDD – 631.84

LETICIA CUNHA DA HUNGRIA

RUBIA CARLA RIBEIRO DANTAS

**NITROGÊNIO EM MILHO EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO NITROGENADA A  
BASE DE ZEÓLITA ENRIQUECIDA COM URÉIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural da Amazônia, área de concentração fertilidade do solo e nutrição de plantas, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em fevereiro de 2016

BANCA EXAMINADORA

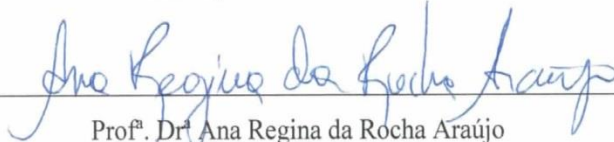


---

Dr. Edilson Carvalho Brasil

Co-orientador

Embrapa Amazônia Oriental



---

Prof. Dr. Ana Regina da Rocha Araújo

Membro da banca

Universidade Federal Rural da Amazônia -UFRA



---

M.Sc. Edwin Almeida Assunção

Membro da banca

Agropalma S/A

*Aos nossos PAIS pelo amor, apoio, incentivo e  
renúncia para realização deste sonho.  
DEDICAMOS.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela proteção e força nos momentos difíceis.

À nossas famílias, em especial aos nossos pais, fonte de amor e dedicação e pelo apoio em todas as etapas de nossas vidas.

Ao Professor Dr. Marcos André Piedade Gama pela orientação, pela confiança depositada, apoio e pelos ensinamentos oferecidos.

Ao Dr. Edilson Carvalho Brasil pela orientação, pela oportunidade de estágio, pela paciência e amizade, aprimorando os conhecimentos adquiridos, contribuindo para a nossa formação e desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Agrônômica, pelo exemplo profissional demonstrado e pelos conhecimentos repassados, contribuindo para nossa formação e as amizades firmadas.

Aos colegas de curso, pelas dificuldades e conquistas que dividimos.

Aos amigos pela amizade desenvolvida e aos bons momentos de parceria nestes anos.

Aos estagiários do Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, em especial, Dayane Gomes dos Santos pelo apoio na condução do experimento.

E a todas as outras pessoas que vieram a contribuir na realização deste trabalho e na nossa formação para concretização deste curso.

# NITROGÊNIO EM MILHO EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO NITROGENADA A BASE DE ZEÓLITA ENRIQUECIDA COM URÉIA

## RESUMO

Novas tecnologias têm sido testadas para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados pelas culturas, como é o caso do uso dos fertilizantes de liberação lenta. Pesquisas recentes mostram que o uso das zeólitas em associação a uréia nas adubações, pode aumentar a eficiência agrônômica do N em algumas culturas. O experimento foi conduzido no município de Paragominas (PA) e teve como objetivo avaliar o aproveitamento do nitrogênio por plantas de milho em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta a base de zeólita enriquecida com uréia. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com oito tratamentos e quatro repetições, correspondentes a duas fontes de N (uréia comum e zeólita enriquecida com uréia), nas parcelas, e quatro níveis de N (0, 50%, 100% e 150% da dose recomendada para a cultura do milho), nas subparcelas. Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados parceladamente, com 30% da dose aplicada, em sulco, 14 dias após a semeadura e 70% em cobertura, aos 25 dias após a emergência. Para a avaliação de resposta, foram analisados: teor de N nas folhas diagnósticas e na MSPA e acúmulo de N na MSPA das plantas. Os resultados foram submetidos às análises de variância (teste F) e conforme a significância ( $P < 0,05$ ), os resultados de fontes de nitrogenadas foram comparados por meio do teste de Scott Knott ( $P < 0,05$ ), enquanto que as doses de N foram submetidas à análise de regressão. A aplicação de zeólita enriquecida com uréia não diferiu da uréia convencional no aproveitamento de N pelas plantas de milho. Os maiores valores de N acumulado na folha, o teor e acúmulo de N no colmo e o N total acumulado na MSPA correspondem a dose  $225 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

**Palavras-chave:** Volatilização. Fertilizantes de liberação lenta. Teores de N

## **NITROGEN IN MAIZE IN RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION THE BASIS OF ZEOLITA ENRICHED WITH UREA**

### **ABSTRACT**

New technologies have been tested to increase the efficiency about the use of nitrogen fertilizers on crops, as in the case of slow-release fertilizers. Recent surveys show that the use of Zeolites in association with urea in fertilization, can increase the efficiency of agronomic of N in some cultures. The experiment was conducted in the county of Paragominas (PA) and aimed to evaluate the use of nitrogen on corn plants in function of the application of nitrogen fertilizers of slow-release the basis of zeolite enriched with urea. The experimental design used was randomized blocks, in a split plot, with eight treatments and four repetitions, corresponding to two sources of N (urea common and zeolite enriched with urea) in the plots and four levels of N (0, 50%, 100% and 150% of the recommended dose for the maize crop), in the sub-plots. nitrogen fertilizers were applied as urea, with 30% of the dose applied in furrow, 14 days after the sowing, and 70% in coverage, 25 days after the emergency. For the assessment of response, were analyzed: N contents in leaves of statements and in ADM and accumulation of N in the ADM plants. The results were submitted to analysis of variance (F) and as the significance level ( $P < 0.05$ ), the results of nitrogenous sources were compared by the test of Scott Knott ( $P < 0.05$ ), while the doses of N were submitted to regression analysis. The application of zeolite enriched with urea didn't differ from conventional urea in utilization N by maize plants. The largest values of N accumulated in the leaf, the content and accumulation of N in culm and the total N accumulated in the ADM correspond the dose 225 kg ha<sup>-1</sup> of N.

**Key-words:** Volatilization. Slow-release fertilizers. Contents of N



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Unidades estruturais básicas das zeólitas.....	20
Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm), ocorridas no período de fevereiro de 2015 a junho de 2015, na área experimental, acompanhadas da indicação das datas de semeadura, adubação de fundação e cobertura. Paragominas (PA), 2015.....	24
Figura 3 - Teor de N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) médio na folha diagnóstica, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.....	27
Figura 4 - Quantidade média de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) acumulada na folha por ocasião da colheita, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.....	28
Figura 5 - Teor de N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) médio no colmo, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.....	29
Figura 6 - Quantidade média de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) acumulada no colmo, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.....	30
Figura 7 - Quantidade média de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) acumulada no colmo, em função das fontes de N.....	31
Figura 8 - Quantidade média N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) acumulada no grão, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.....	32
Figura 9 - N total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na massa seca da parte aérea em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.....	33
Figura 10 - N acumulado nas folhas, colmo e grãos de plantas de milho.....	34

## SUMÁRIO

### RESUMO

### ABSTRACT

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>12</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
3.1 Importância do nitrogênio para as plantas.....	13
3.2 Nitrogênio para a cultura do milho.....	14
3.3 Fertilizantes nitrogenados.....	15
3.4 Fertilizantes de Liberação Lenta.....	17
3.5 Zeólita.....	19
3.5.1 Uso de zeólita associada à fertilizantes nitrogenados.....	21
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
4.1 Localização.....	23
4.2 Clima.....	23
4.3 Caracterização do solo.....	23
4.4 Delineamento experimental e tratamentos.....	24
4.5 Condução do experimento.....	24
4.6 Avaliações estatísticas.....	25
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
5.1 Teor de N na folha diagnóstica.....	26
5.2 Teor e acúmulo de N na folha na ocasião da colheita.....	28
5.3 Teor e acúmulo de N no colmo na ocasião da colheita.....	29
5.4 Teor e acúmulo de N no grão.....	31
5.5 N total acumulado na massa seca da parte aérea.....	32
5.6 Nitrogênio nas partes das plantas.....	33
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é constituinte de vários compostos nas plantas, destacando-se os aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila, o que o torna um dos elementos absorvidos em maiores quantidades por plantas cultivadas, já que as principais reações bioquímicas em plantas e microrganismos requerem a sua presença (CANTARELLA, 2007a). No metabolismo vegetal, o nitrogênio tem como função a regulação de muitos processos, como enchimento de grãos e teor de proteínas, além de influenciar na assimilação de outros nutrientes como potássio e fósforo (BUCKMAN & BRADY<sup>1</sup>, 1969 apud MATOS, 2011).

O aumento de produtividade das culturas acarreta em maior consumo de fertilizantes, especialmente os nitrogenados, cuja utilização pode permitir sustentar 40% da população do planeta, o que não seria viável sem esse insumo (MOSIER & GALOWAY, 2005).

Em anos em que as condições climáticas são favoráveis à cultura do milho, a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha<sup>-1</sup>. Essa quantidade por ser muito elevada dificilmente poderá ser suprida somente pelo solo, havendo necessidade de utilização de fontes suplementares deste nutriente (AMADO *et al.*, 2015).

Segundo Cantarella & Marcelino (2008), a maior parte dos fertilizantes nitrogenados comumente utilizados na agricultura brasileira para a cultura do milho é solúvel em água (uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio) e libera rapidamente no solo as formas de N prontamente assimiláveis pelas plantas, como nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), que também são as formas de N mais suscetíveis a perdas por lixiviação, volatilização, nitrificação, desnitrificação, imobilização e mineralização no sistema agrícola.

A estratégia mais comum para minimizar as perdas é adequar a aplicação do fertilizante nitrogenado às necessidades da cultura, levando em conta as características do produto usado. Em relação à lixiviação, recomenda-se o parcelamento da adubação de forma que o N seja fornecido nos períodos que antecedem a maior demanda e quando as plantas já tenham um sistema radicular desenvolvido o suficiente para absorver o nutriente. Para evitar as perdas por volatilização de NH<sub>3</sub>, o meio mais eficiente é incorporar o fertilizante ao solo, a uma profundidade mínima de 3 a 5 cm, por meio mecânico ou irrigação (CANTARELLA & MARCELINO, 2008).

---

<sup>1</sup> BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. The nature and properties of soils . 7.ed. New York: The Macmillan Company, p. 653. 1969.

Outras alternativas para aumentar a eficiência de uso do N pelas culturas estão relacionadas ao uso de fertilizantes com maior eficiência (enhanced-efficiency fertilizers), que podem ser classificados em fertilizantes de liberação lenta ou controlada e fertilizantes estabilizados (CANTARELLA & MARCELINO, 2008). Estes fertilizantes são recobertos ou encapsulados por substâncias que fazem com que os nutrientes sejam gradativamente liberados, ou possuem aditivos que inibem alguma etapa de transformação do N no solo (TRENKEL, 2010).

Pesquisas recentes mostraram que o uso de minerais aluminossilicatos do grupo das zeólitas em associação à uréia nas adubações, pode aumentar a eficiência agrônômica do N em algumas culturas (WERNECK, 2008; BERNARDI, *et al.*, 2010), pela diminuição das perdas de NH<sub>3</sub> por volatilização.

Zeólitas são aluminossilicatos hidratados altamente cristalinos do grupo dos metais alcalinos e alcalinos terrosos. Esses minerais de ocorrência natural apresentam três propriedades principais, que são: a alta capacidade de troca de cátions, a alta capacidade de retenção de água livre nos canais e a alta habilidade de adsorção (BERNARDI *et al.*, 2007). Essas características facilitam o aumento da capacidade de adsorção de nutrientes e de retenção de água no solo (CAMPANA, 2008). Além disso, possuem uma estrutura rígida tridimensional, com canais de 10<sup>-9</sup> mm de diâmetro, com alta afinidade pelo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e que protege esse íon da nitrificação por microrganismos e das perdas por volatilização (REHÁKOVÁ *et al.*, 2004). O princípio da ação da zeólita na conservação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> envolve a diminuição da concentração do N na solução por meio da troca catiônica (CAMPANA, 2008). Desta forma, as perdas de N pelo sistema seriam reduzidas, proporcionando melhor ajuste da disponibilidade à demanda dos nutrientes pelas plantas, dependendo da forma preferencialmente absorvida.

Além disso, a zeólita pode atuar na melhoria da eficiência do uso de nutrientes pelo aumento da disponibilidade de fósforo da rocha fosfática e redução das perdas por lixiviação dos cátions trocáveis (especialmente K<sup>+</sup>) (WERNECK, 2008). A zeólita tem sido utilizada também no cultivo zeopônico de plantas em substrato artificial composto por minerais zeolíticos misturados a rochas fosfáticas, o qual funciona como um sistema de liberação controlada e renovável de nutrientes para as plantas (MARQUEZ, 2000).

Dessa forma, o uso de zeólitas naturais constitui-se uma alternativa para desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” à base de uréia, o que pode reduzir

as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização, liberação lenta do N fornecido e elevar a eficiência agrônômica.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo do trabalho foi avaliar o aproveitamento do nitrogênio por plantas de milho, em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta a base de zeólita enriquecida com uréia.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Importância do nitrogênio para as plantas

Entre os elementos minerais, o nitrogênio é essencial para a vida das plantas por fazer parte da composição da maioria dos compostos orgânicos, tais como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila (MALAVOLTA, 2006). Desta forma, o nutriente está relacionado ao crescimento e ao rendimento das plantas cultivadas. Isso se deve, principalmente, ao fato deste nutriente estar associado ao crescimento e desenvolvimento dos drenos reprodutivos e por constituir a molécula de clorofila, que é indispensável para a manutenção da atividade fotossintética (MARTIN *et al.*, 2011). Com isso, o nitrogênio é considerado o macronutriente mineral mais importante na composição química das plantas (RAIJ, 1991).

De modo geral, o nitrogênio é determinante para o crescimento, desenvolvimento e rendimento das plantas, já que pode influenciar nos processos fisiológicos essenciais para a manutenção da vida vegetal (BASI *et al.*, 2011).

O nitrogênio ocupa cerca de 78% do volume total da atmosfera e é encontrado na forma de gás  $N_2$ . Na camada agricultável do solo, o nitrogênio encontra-se principalmente na forma orgânica, presente na biomassa, resíduos vegetais e animais e substâncias húmicas (LOPES, 2007) e 5% do nitrogênio presente no solo está na forma mineral: amônio, nitrato e nitrito (GUIMARÃES, 2006). Segundo Cantarella (2007a), mesmo com um elevado estoque de N-orgânico no solo, ele não se encontra disponibilizado para atender a demanda das plantas. Esta disponibilização é dependente da ocorrência de mineralização, ou seja, da transformação do nitrogênio da forma orgânica para a inorgânica. A mineralização depende de vários fatores que determinam a atuação dos diversos grupos de micro-organismos que realizam o processo e estima-se que anualmente esta transformação não passa de 3% do N total do solo, sendo necessárias adubações nitrogenadas para compensação (CAMPANA, 2008).

O N é o único dos nutrientes minerais que pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas: como ânion ( $NO_3^-$ ) e como cátion ( $NH_4^+$ ). Segundo Yamada (1996), o nitrogênio é absorvido pelas plantas de milho, principalmente, na forma nítrica, que posteriormente é reduzida à amônia, num processo em que estão envolvidas duas enzimas, a redutase de nitrato e a redutase de nitrito, sendo que a primeira é responsável pela

transformação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e a segunda pela transformação de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), para posterior assimilação em aminoácidos. O nitrato é a forma mais absorvida pelas raízes das plantas, devido a presença das bactérias nitrificadoras do solo (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*) que costumam oxidar rapidamente a amônia a nitrato.

O emprego de grandes quantidades de nitrogênio na forma de fertilizantes, é uma prática fundamental para a produção de alimentos em grande escala, necessária para suprir a demanda nutricional gerada pelo crescimento populacional (BOARETTO *et al.*, 2007).

Na adubação nitrogenada é comum a perda de N por lixiviação e principalmente por volatilização (LARA CABEZAS *et al.*, 1997a), podendo resultar em perda de produtividade (SILVA *et al.*, 2005).

O reconhecimento da importância do manejo do N em aumentar a produtividade das culturas tem alavancando não só a demanda pelos fertilizantes nitrogenados, mas a busca por novas técnicas e/ou conhecimentos que favoreçam sua eficiência nos sistemas de produção (FREIRE *et al.*, 2001).

### 3.2 Nitrogênio para a cultura do milho

Dentre as principais culturas de interesse agrônomo, o milho expressa dependência nutricional principalmente de nitrogênio (CANCELLIER *et al.*, 2011). Estudos conduzidos por Taiz & Zeiger (2009), evidenciam dependência direta do milho na utilização de nutrientes na forma mineral, onde grandes quantidades refletem positivamente no rendimento da cultura. Trabalhos realizados por Silva *et al.* (2005) demonstram que este nutriente é limitante para o estabelecimento da cultura, e, além disso, segundo Calonego *et al.* (2012) a eficiência na absorção e translocação do N para os grãos é um fator de extrema importância, pois influencia diretamente na produtividade.

No Brasil, 70 a 90 % dos experimentos de adubação com milho apresentaram resultados positivos em relação ao rendimento, devido à aplicação de N (EMBRAPA, 2016). Por outro lado, quando o suprimento de N excede a necessidade da cultura, o excesso é perdido por escoamento superficial e/ou lixiviação, podendo contaminar ecossistemas aquáticos e o lençol freático (WOOD *et al.*, 1993), além de representar perdas econômicas aos agricultores.

O estágio fenológico em que ocorre a deficiência de nitrogênio para a cultura do milho é fator determinante para a resposta à adubação. Este período vai da elongação até o



florescimento masculino, começando aproximadamente 40 dias após a semeadura (UHART & ANDRADE, 1995). Além disso, as respostas estão associadas às cultivares e a forma de aplicação (LANTMANN *et al.*, 1985). De acordo com ANGHINONI (1985), as respostas são em função do suprimento de nitrogênio do solo e da dose de fertilizante aplicada. Outros fatores que também colaboram com a resposta a adubação são a temperatura e interceptação da radiação solar (fotossíntese) (MUCHOW & SINCLAIR, 1995).

Segundo BASI *et al.* (2011), o N tem influência sobre a qualidade da silagem de milho, já que a qualidade dos grãos é afetada positivamente quando utilizado o nitrogênio, pois a planta bem nutrida com nitrogênio produz uma silagem de maior valor nutricional. Ferreira *et al.* (2001), ao estudarem características agronômicas com a utilização de nitrogênio, concluíram que a adubação nitrogenada melhorou a qualidade dos grãos, aumentando os teores de proteína e nutrientes minerais, intervindo de forma positiva no número de espigas por planta, massa de espigas, e a massa de mil sementes, que aumentaram de acordo com as doses nitrogenadas.

### 3.3 Fertilizantes nitrogenados

No Brasil, segundo Cantarella (2007a), o consumo de fertilizantes nitrogenados está distribuído, principalmente, nas formas de uréia, nitrato de amônio, sulfato de amônio. Ainda segundo o autor, além dessas fontes, cita-se também: (a) nitrocálcio (27% N), produzido a partir da adição de calcário ao nitrato de amônio, foi utilizado no Brasil no passado, não estando mais disponível no mercado nacional; (b) amônia anidra (82% N), ainda utilizada nos EUA, porém apresenta limitações em sua aplicação na forma de gás pressurizado; (c) aquamônia (20% N), solução aquosa com uso restrito a alguns segmentos como usinas de cana-de-açúcar; (d) uran (28 a 32% N), fertilizante nitrogenado líquido mais comum e produzido a partir da dissolução de uréia e nitrato de amônio em água, contém cerca de 50% do N na forma amídica; (e) fosfatos monoamônico (MAP) e diamônio (DAP), apresentam concentrações de P superiores às de N e custos elevados ; (f) nitrato de sódio (16% N), produto de origem natural, encontrado principalmente no Chile, foi o principal fertilizante nitrogenado antes da introdução dos fertilizantes sintéticos, porém a baixa concentração de N e a presença de Na restringem seu uso; (g) nitrato de cálcio (15 a 16% N e 19% Ca), recomendado para uso em solos salinos e/ou culturas com elevada exigência em cálcio, apresenta como desvantagem elevada higroscopicidade; (h) nitrosfosfatos, produzidos pelo

tratamento de rochas fosfatadas com ácido nítrico, resultando em ácido fosfórico e nitrato de cálcio e (i) nitrato de amônio.

O principal fertilizante nitrogenado sólido utilizado no mundo é a uréia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], produzida a partir da reação de NH<sub>3</sub> com o principal subproduto de sua síntese, o CO<sub>2</sub>, daí a grande vantagem do menor custo de produção, além de não envolver reações com ácidos, que requerem a necessidade de equipamentos especiais. Por essa razão, a uréia é a mais utilizada e, além de ser o fertilizante sólido com menor custo por unidade de N (CANTARELLA, 2007b). A uréia contém 44% a 46% de N, na forma amídica, a qual é hidrolisada rapidamente no solo a amônio pela ação da enzima urease. Além disso, a uréia tem baixa corrosividade, alta solubilidade e é prontamente absorvida pelas folhas, em taxa 10 a 20 vezes superiores às dos elementos na forma iônica (IFDC<sup>2</sup>, 1979; GOULD<sup>3</sup> *et al.*, 1986 apud CANTARELLA *et al.*, 2007a). No entanto, como desvantagem apresenta elevadas perdas por volatilização e lixiviação. A maior volatilização ocorre porque a uréia sofre hidrólise por ação da enzima urease, convertendo o N-NH<sub>2</sub> em NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Por consumir H<sup>+</sup> do meio, essa reação promove elevação no pH do solo próximo aos grânulos de fertilizantes, favorecendo a transformação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em NH<sub>3</sub>, uma forma gasosa passível de perda por volatilização (LEITE *et al.*, 2016). Outros aspectos negativos associados ao uso da uréia, em algumas situações, são a fitotoxidez do biureto (NH<sub>2</sub>-CO-NH-CO-NH<sub>2</sub>), da NH<sub>3</sub> e do NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, produtos de sua hidrólise e posterior nitrificação parcial (CANTARELLA *et al.*, 2007a).

A uréia é a fonte nitrogenada mais utilizada no Brasil e dentre os fertilizantes nitrogenados comercializados no país, em 2010, cerca de 51% das 4,3 milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados, foi na forma de uréia (ANDA, 2010). Isto se deve, além de outros fatores, ao fato da uréia apresentar elevada concentração de N em sua composição. No entanto, como já foi citado, a sua utilização geralmente resulta em significativas perdas de nitrogênio (N), especialmente por volatilização de amônia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) para a atmosfera, que pode atingir até 80 % do N aplicado (LARA CABEZAS *et al.*, 1997a). Por esse motivo, as perdas por volatilização tornam-se um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da uréia aplicada na superfície do solo (CANTARELLA, 2007c).

Vários autores brasileiros têm relatado altas perdas de N por volatilização de NH<sub>3</sub> quando a uréia é aplicada na superfície dos solos: 20 a 40% do N aplicado em cana-de-açúcar

---

<sup>2</sup> INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER – IFDC. Fertilizer manual. Muscle Shoals, 1979. 353p.

<sup>3</sup> GOULD, R.J; HAGEDORN, C. & McCREADY, R.G.L. Urea transformation and fertilizer efficiency in soil. *Adv. Agron.*, 40:209-239, 1986.

(CANTARELLA *et al.*, 1999; VITTI *et al.*, 2002) e em citros (CANTARELLA *et al.*, 2003), ou até muito maiores, como os resultados de Lara Cabezas *et al.* (1997a, 1997b, 2000), que mostraram perdas que variaram de 40 a 78% do N aplicado na superfície do solo.

Segundo Cantarella *et al.* (2007a), a maioria dos fertilizantes nitrogenados comumente utilizados na agricultura é solúvel em água e têm o N prontamente disponível para os vegetais. Assim, a eficiência desses compostos como fonte de N pode ser semelhante. No entanto, diferenças de comportamento podem ocorrer por causa dos mecanismos de perdas, presença ou interação com outros nutrientes, ou até mesmo variações no pH do solo.

### 3.4 Fertilizantes de Liberação Lenta

Para minimizar as perdas de N na agricultura e aumentar a produtividade de forma rentável, foram desenvolvidas fórmulas com liberação lenta de nutrientes, que permite reduzir as perdas que normalmente ocorrem com a utilização de uréia (NYBORG *et al.*, 1995).

Segundo Cantarella (2007 c), perdas de N para o ambiente, com o conseqüente menor aproveitamento pelas culturas, estão associadas à concentração na solução do solo, de formas solúveis de N em geral, ou das formas mais susceptíveis a perdas. A diminuição das perdas, principalmente, por volatilização do N pode ser reduzida por meio da incorporação da uréia no solo, adição de ácidos e de sais de K, Ca e Mg, modificação na granulometria ou alteração na composição para haver liberação lenta. Uma outra possibilidade seria o uso de zeólitas misturadas aos fertilizantes (ALVES, 2006).

Um modo de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados é o uso adubos revestidos, também conhecidos como fertilizantes de liberação controlada ou lenta, que atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes por meio de diferentes mecanismos, com a finalidade de disponibilizá-los para as culturas por maior período de tempo e otimizar a absorção pelas plantas, reduzindo perdas (ZAVASCHI, 2010). Estes tipos de fertilizantes liberam os nutrientes durante todo o ciclo da lavoura, mantendo-se ao nível próximo de absorção dos nutrientes pelas culturas, através da degradação gradual da camada impermeabilizante, liberando os nutrientes para o solo de maneira lenta e controlada (CIVARDE, *et al.*, 2011).

Tais fertilizantes têm como principal objetivo oferecer os nutrientes exigidos pelas plantas de forma progressiva por um período determinado, proporcionando assim, aumento da eficiência do aproveitamento dos fertilizantes a fim de reduzir a transformação do N em

formas menos estáveis, reduzindo as perdas de N tanto pelo processo de lixiviação quanto por volatilização e, ainda reduzir o número de aplicações de fertilizantes (CANTARELLA, 2007c).

De acordo com Trenkel (1997), apesar de fertilizantes de liberação lenta e controlada apresentarem características físicas, mecanismos e princípios de eficiência diferentes, não existe uma definição oficial que os diferencie. Entretanto, o autor enfatiza que fertilizante de liberação controlada é aquele que atrasa a disponibilidade inicial dos nutrientes, uma vez que são envoltos em um revestimento que controlam a entrada de água e reduzem a dissolução do nutriente e degradam-se lentamente no solo. A sua liberação está condicionada unicamente pela temperatura e a espessura da capa que reveste o grânulo. Por outro lado, os de liberação lenta são caracterizados pela baixa solubilidade, sendo parte solúvel em água, ficando disponível rapidamente e a outra é liberada de forma gradual por um período mais longo, prolongando de maneira significativa o tempo de liberação do nutriente no solo, em relação as outras fontes solúveis tradicionais. Geralmente, este último é referido no comércio como os dependentes de decomposição microbiana.

Entre os fertilizantes nitrogenados, há dois grupos classificados como por liberação lenta ou controlada. Um deles é formado por compostos de condensação de uréia e uréia formaldeídos (de baixa solubilidade e, portanto, de liberação lenta de N); o segundo, de produtos encapsulados ou recobertos, ou de liberação controlada. Dentre os produtos de condensação de uréia estão a uréia-formaldeído, a uréia-isobutilaldeído e a uréia-crotonaldeído. A solubilidade desses fertilizantes depende do tamanho da cadeia e da natureza do composto. Os produtos comerciais consistem de misturas de polímeros com frações solúveis em água fria, quente e insolúvel em água. No solo, estes compostos sofrem degradação química e biológica, liberando o N gradualmente às plantas (CANTARELLA *et al.*, 2007a).

Há grande quantidade de fertilizantes nitrogenados cuja liberação é retardada por recobrimentos ou encapsulamento com diversos materiais. O fertilizante mais comum dessa classe é formado por grânulos recobertos com polímeros orgânicos termoplásticos ou resinas, ou com materiais inorgânicos, tal como S elementar (SHAVIV, 2001). Menos comuns são os fertilizantes em que os nutrientes são dispersos em matrizes feitas com materiais hidrofóbicos, como borracha e poliolefinas, ou hidrofílicos, os quais reduzem a taxa de dissolução do fertilizante e sua conseqüente liberação ao solo (CANTARELLA *et al.*, 2007a).

De forma geral, todos apresentam uma característica em comum: a liberação gradativa dos nutrientes para a solução do solo, porém, apresentando mecanismos distintos para tal. Os fertilizantes de liberação lenta ou controlada fazem parte de um grupo maior de produtos denominados genericamente de fertilizantes de eficiência aprimorada ou fertilizantes de eficiência aumentada. Vários destes produtos estão sendo vistos com amplo interesse, devido as modificações recentes no contexto agrônômico e ambiental (BLAYLOCK, 2007).

As principais vantagens dos fertilizantes de liberação lenta, segundo Shaviv (2001), são: fornecimento regular e contínuo de nutrientes para as plantas; menor frequência de aplicações em solos; redução de perdas de nutriente devida à lixiviação, imobilização e, ainda, volatilização; eliminação de danos causados a raízes pela alta concentração de sais; maior praticidade no manuseio dos fertilizantes; contribuição à redução da poluição ambiental pelo  $\text{NO}_3^-$ , atribuindo valor ecológico à atividade agrícola (menor contaminação de águas subterrâneas e superficiais), e redução nos custos de produção.

Como exemplo, Leão (2008) utilizando a uréia revestida com polímeros para verificar a redução da volatilização de nitrogênio e da atividade da urease, observou que quando comparada a uréia convencional na adubação em cobertura na cultura do milho a uréia revestida obteve melhores resultados.

Zhao *et al.* (2013) observaram o melhor desempenho de fertilizantes de liberação controlada sobre a produção, volatilização de amônia, eficiência do uso de nitrogênio e taxa fotossintética no cultivo de milho, quando comparados aos fertilizantes de uso comum.

### 3.5 Zeólita

As zeólitas foram descobertas em 1756 por um mineralogista sueco, Freiherr Axel Frederick Cronstedt, que em seu primeiro contato com o material silicatado observou a característica peculiar do material de liberar bolhas ao ser imerso em água, o que mais tarde, foi justificado pela elevada capacidade de retenção de moléculas de água na estrutura mineral (MUMPTON, 1981). Os termos "zeo" (ferver) e "lithos" (pedra), de origem grega, e que significa literalmente "pedra que ferve", foram escolhidos para nomear tal material (TSCHERNICH, 1992).

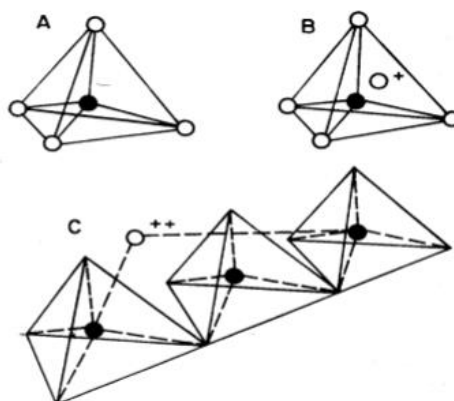
As zeólitas podem ter origem sintética ou ser formadas naturalmente. As naturais são formadas por uma variedade de depósitos geológicos e a partir de precursores como cinza vulcânica, argila, sílica biogênica e diferentes formas de quartzo, com base na precipitação de

fluidos contidos nos poros, tal como nas ocorrências hidrotermais, isto é, sob a ação da água em altas temperaturas, ou ainda pela alteração de vidros vulcânicos (VAUGHAN, 1978; BARRER, 1982). As sintéticas são fabricadas a partir de materiais variados, como por exemplo, resíduos de indústrias, argilominerais, dentre outros (LUZ, 1995).

São fatores determinantes na formação das diferentes espécies de zeólita, as condições de temperatura, de pressão, de atividade das espécies iônicas e de pressão parcial da água.

Zeólitas compõem um grupo com mais de 80 tipos de minerais de ocorrência natural conhecidos e são aluminossilicatos hidratados, pertencentes à família dos tectossilicatos, formados por estruturas cristalinas tridimensionais de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  e de  $\text{AlO}_4$ , ligados entre si pelos quatro vértices de oxigênio (Figura 1). Nesta configuração, os átomos de Si e de Al encontram-se no centro do tetraedro, a armação estrutural inclui cavidades ocupadas por cátions de tamanho relativamente grandes, como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}_2^+$  e  $\text{Ba}_2^+$  e formam uma estrutura aberta, com grandes canais, por onde a água e outras moléculas podem se alojar e apresentar considerável liberdade de movimento, permitindo a troca iônica e uma hidratação reversível (BRECK, 1974; DANA, 1981).

A união dos tetraedros favorece a formação de estruturas bastante diferentes, que geram sistemas porosos particulares e tornam as zeólitas importantes em processos de purificação, adsorção e catálise (FLANINGEN, 2001). Além do volume dos poros, a distribuição do tamanho dos poros e a área superficial são as características mais importantes na capacidade de troca das zeólitas, o que é útil em vários processos industriais, na agricultura e em usos ambientais (PAZIN *et al.*, 2007).



**Figura 1** - Unidades estruturais básicas das zeólitas. A. Tetraedro com um átomo de silício (círculo cheio) no centro e átomos de oxigênios nos vértices. B. Tetraedro com átomo de Al

substituindo o Si e ligado a um cátion monovalente para compensar a diferença de carga entre o Si e o Al. C. Átomo divalente para balancear as cargas entre o Al e o Si numa cadeia múltipla de tetraedros.

Fonte: Luz (1995)

A estrutura tridimensional na forma de canais e cavidades interconectadas conferem às zeólitas vantajosas características e propriedades como: (a) alto grau de hidratação, (b) baixa densidade e grande volume de vazios (quando desidratadas), (c) estabilidade da estrutura cristalina, (d) elevada capacidade de troca catiônica, (e) canais uniformes (mesmo desidratada), (f) capacidade de adsorção de gases e vapores e (g) propriedades catalíticas (VAUGHAN, 1978). Essas propriedades lhes conferem grande interesse para uso na agricultura (MING & MUMPTON, 1989).

Segundo Luz (1994), as zeólitas possuem um vasto campo de aplicação, como condicionador de solos, pela sua capacidade de retenção de água e de armazenar nutrientes do tipo nitrogênio, potássio e fósforo, liberando-os lentamente. Desta maneira, minimizam as perdas por lixiviação desses nutrientes, resultando em significativa economia de fertilizantes. Além disso, podem ser usados como fertilizantes, funcionando como cargas de nutrientes.

A estimativa de produção anual mundial de zeólitas, de acordo com o United States Geological Survey, está entre 2,5 e 3 milhões de toneladas e existem jazidas exploradas comercialmente nos EUA, Cuba, Hungria, Bulgária, Japão, Eslováquia, África do Sul, Itália, Rússia, Indonésia e Coreia (REZENDE & MONTE, 2005).

No Brasil, os principais depósitos de zeólitas naturais que revelam potencialidade de exploração econômica, encontram-se na bacia do Paraná (SP/MG/MS), bacia Potiguar (RN) e bacia do Parnaíba (MA/TO), sendo este último, o principal registro de zeólitas em rochas sedimentares no país (REZENDE & MONTE, 2005).

### 3.5.1 Uso de zeólita associada à fertilizantes nitrogenados

Atualmente muitas técnicas têm sido avaliadas com o objetivo de reduzir perdas e conseqüentemente melhorar a utilização de fertilizantes pelas plantas. O uso de materiais que possam revestir ou ser aplicados junto a uréia pode ser uma opção viável para o atual sistema agrícola almejando um aumento de sua eficiência em consequência da redução de perdas de

NH<sub>3</sub>. Uma das alternativas como aditivo à uréia é o uso da zeólita (MING & MUMPTON, 1989).

O mineral apresenta características e propriedades fundamentais que tem despertado o interesse de muitos pesquisadores, no que diz respeito ao seu uso como aditivo (ALVES *et al.*, 2007; BERNARDI *et al.* 2007), como alta porosidade e alta capacidade de troca catiônica (CTC) e também o auxílio a liberação lenta de nutrientes, facilitando adsorção no solo e aumentando a capacidade de retenção de água no solo (VAUGHAN, 1978; MING & MUMPTON, 1989).

O princípio da ação da zeólita na conservação do amônio envolve a diminuição da concentração do N na solução por meio da troca catiônica. Além de reter grandes quantidades do íon amônio, esse mineral ainda interfere no processo de nitrificação (BARTZ & JONES, 1983; FERGUSON & PEPPER, 1987).

O desenvolvimento de produtos nitrogenados com a mistura do mineral zeólita pode aumentar a eficiência de uso do nitrogênio pela planta, em virtude das zeólitas serem minerais do grupo argilosilicatos formadas por estruturas cristalinas tridimensionais rígidas, que possui carga negativa, forma junto a estrutura de tetraedros da zeólita um sistema de canais, cavidades e poro. Uma vez formada essa estrutura, a carga negativa do alumínio é compensada com os cátions trocáveis do solo (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>), o que permite que a zeólita tenha a capacidade de aumentar o grau de hidratação do solo, possuir baixa densidade, devido ao grande volume de vazio na sua estrutura, possuir estabilidade na estrutura cristalina, aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC), entre outros (BERNARDI *et al.*, 2004).

Existem relatos na literatura mostrando o aumento da eficiência da utilização do nitrogênio, especialmente na forma de uréia, quando utilizado em conjunto com este mineral. Alves *et al.* (2007) verificaram, por exemplo, que a adição de 25% de zeólita à uréia proporcionou as menores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia. A mesma adição de 25% de zeólita à uréia foi realizada por Bernardi *et al.* (2007), que observou o aumento da produção de matéria seca de milho e melhor aproveitamento de N para as maiores doses de uréia.

Segundo Leggo (2000), em função da afinidade da zeólita por nutrientes, esse mineral pode ser utilizado em substratos para estimular o crescimento das plantas. A mistura de zeólitas também apresentou efeitos positivos sobre o crescimento de plantas de alface (GÜL *et al.*, 2005) e de tomate (VALENTE *et al.*, 1986).



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização

O experimento foi conduzido no município de Paragominas, Estado do Pará, no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, situado no km 6 da Rodovia PA 256, sob as seguintes coordenadas geográficas: 03° 03' 30'' de latitude sul e 47° 18' 46'' de longitude norte.

### 4.2 Clima

Segundo a classificação de Köppen, o município de Paragominas apresenta clima predominante do tipo “Awi”, caracterizado como clima tropical chuvoso com expressivo período de estiagem. As temperaturas máxima, mínima e média anual são 32,7 °C, 21,9 °C e 26,3 °C, respectivamente. A média anual de umidade é de 81% e a precipitação pluviométrica anual em média é de 1.800 mm, com menor disponibilidade hídrica entre os meses de julho e outubro (BASTOS *et al.*, 2005).

### 4.3 Caracterização do solo

O experimento foi conduzido em um solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa, representativo do Estado do Pará. As análises químicas do solo de amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm, antes da instalação do experimento e depois da correção de acidez do solo, foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental (Embrapa 1997), e os resultados encontram-se apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos de amostras de solo coletas antes da instalação do experimento, na profundidade de 0-20 cm, em área do Campo Experimental da Embrapa, no município de Paragominas-PA.

Prof	pH	MO	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	CTC	V
(cm)	(água)	(g/kg)	---	mg/dm <sup>3</sup>	----	-----	-----	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	-----	-----	(%)
0-20	5,7	23,45	2	114	15	4,8	6,4	0,1	4,13	10,88	62

#### 4.4 Delineamento experimental e tratamentos

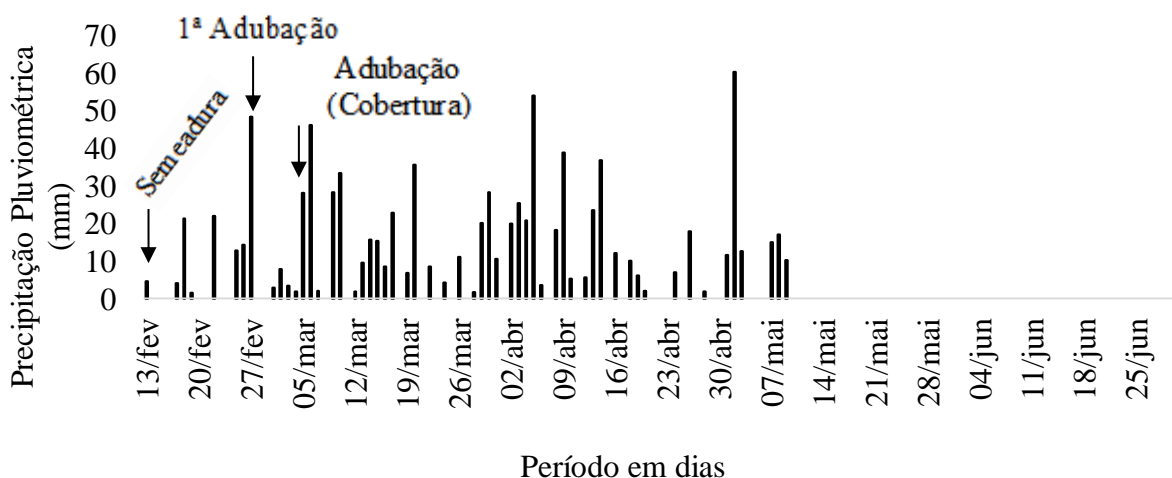
O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a duas fontes de N (uréia comum e zeólita (25%) enriquecida com uréia), nas parcelas, e quatro níveis de N (0, 50%, 100% e 150% da dose recomendada para a cultura do milho), nas sub-parcelas. A dose recomendada utilizada para a cultura do milho foi correspondente a 150 kg/ha de N. Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados parceladamente, com 30% da dose 14 dias após a semeadura do milho e 70% em cobertura, aos 25 dias após a emergência. Os demais nutrientes (P, K e micronutrientes) foram fornecidos na adubação, em função dos resultados da análise química inicial do solo.

#### 4.5 Condução do experimento

Procedeu-se a correção do solo por meio do uso de calcário dolomítico, aplicado 30 dias antes da semeadura, na quantidade equivalente a 2 t.ha<sup>-1</sup>.

Para o cultivo do milho utilizou-se a cultivar Pioneer 3844H, procedendo-se a semeadura em parcelas constituídas por oito linhas de seis metros de comprimento, espaçadas 0,5 metros entre si. A área útil foi constituída pelas quatro linhas centrais.

Os dados diários de precipitação pluvial, coletados durante o período de desenvolvimento da cultura de milho no campo, juntamente com as datas de semeadura e da aplicação das adubações nitrogenadas, encontram-se apresentadas na Figura 2.



**Figura 2.** Precipitação pluviométrica (mm) no período de fevereiro de 2015 a junho de 2015 na área experimental, com a indicação das datas de semeadura, adubação de plantio e de cobertura, no município de Paragominas (PA).

De acordo com a Figura 2, as precipitações médias mensais foram de 16,07mm; 14,72mm; 17,11mm; 4,52mm e 0 mm, para os meses de fevereiro, março, abril, maio e junho, respectivamente. A precipitação total durante o período do experimento foi de 916,6 mm .

Para avaliar o aproveitamento do nitrogênio por plantas de milho, realizou-se a amostragem foliar em dois momentos do desenvolvimento das plantas. A primeira coleta de folhas foi realizada para avaliar o estado nutricional das plantas de milho, utilizando-se a folha diagnóstica. Essa coleta foi realizada, 60 dias após a semeadura, por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento), retirando-se a folha inteira oposta e logo abaixo da primeira espiga (superior), excluindo a nervura central (COELHO, 2008). Foram amostradas dez plantas ao acaso dentro da área útil.

A segunda amostragem foi realizada para avaliação das quantidades de nutrientes acumulados no tecido vegetal por ocasião da colheita, retirando-se quatro plantas inteiras ao acaso, dentro de cada sub-parcela, nas quatro linhas centrais do plantio (área útil), cerca de 4 meses e meio após a semeadura. Após a coleta, realizou-se a separação das partes vegetativas em colmo folhas e espigas.

Em todas as amostragens realizadas, o material vegetal coletado foi secado em estufa de circulação forçada de ar, à aproximadamente 65 °C, até obtenção de massa constante. Em seguida, o material foi pesado e triturado, para posterior determinação de nitrogênio no tecido vegetal. A determinação de N foi realizada com base na metodologia descrita por Möller *et al.* (1997).

Para a avaliação do estado nutricional das plantas, foram analisados: teor de N nas folhas diagnósticas e na massa seca da parte aérea (folha, colmo e grão) e acúmulo de N na massa seca da parte aérea das plantas.

#### 4.6 Avaliações estatísticas

Os resultados foram submetidos às análises de variância (teste F) e conforme a significância ( $P < 0,05$ ), os resultados de fontes de nitrogenadas foram comparados por meio do teste de Scott Knott ( $P < 0,05$ ), enquanto que as doses de N foram submetidas à análise de regressão.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (quadrados médios e coeficientes de variação) das variáveis de respostas, em função da aplicação das fontes e doses de N encontram-se na Tabela 2.

É possível observar que não houve diferença significativa para a maioria das variáveis estudadas, com o uso das duas fontes nitrogenadas, exceto na variável de N acumulado no colmo.

Em relação as doses, a tabela de variância evidenciou que, a maioria das variáveis de respostas foram influenciadas pelas doses de N, exceto para teor de N na folha e teor de N no grão.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância (quadrado médio) de teor de N na folha diagnóstica (TNFD), teor de N na folha (TNF), teor de N no colmo (TNC), teor de N no grão (TNG), N acumulado na folha (NAcF), N acumulado no colmo (NAcC), N acumulado no grão (NAcG), N total acumulado na parte aérea (NTAc). Paragominas (PA), 2015.

		Quadrados Médios							
Fontes de Variação	Graus de Liberdade	TNFD	TNF	TNC	TNG	NAcF	NAcC	NacG	NTAc
Bloco	3	6,30 <sup>ns</sup>	2,85 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	10,63 <sup>ns</sup>	8,77 <sup>ns</sup>	7,26*	1767,12*
Fonte (F)	1	0,40 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	60,14*	1,02 <sup>na</sup>	173,21 <sup>ns</sup>
Dose (D)	3	5,36*	2,62 <sup>ns</sup>	1,43*	3,38 <sup>ns</sup>	93,55*	66,84*	2,36*	2602,68*
F x D	3	5,40 <sup>ns</sup>	1,94 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	4,96 <sup>ns</sup>	25,37 <sup>ns</sup>	4,27 <sup>na</sup>	47,67 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	3,14	1,38	0,45	3,06	9,79	10,72	1,91	418,51
CV (%)	-	8,14	12,46	10,75	11,72	15,96	16,47	13,3	14,47

CV (%): coeficiente de variação; \* Significativo a 5% ( $P < 0,05$ ) de probabilidade, pelo teste F;  
<sup>ns</sup> Não-significativo.

### 5.1. Teor de N na folha diagnóstica

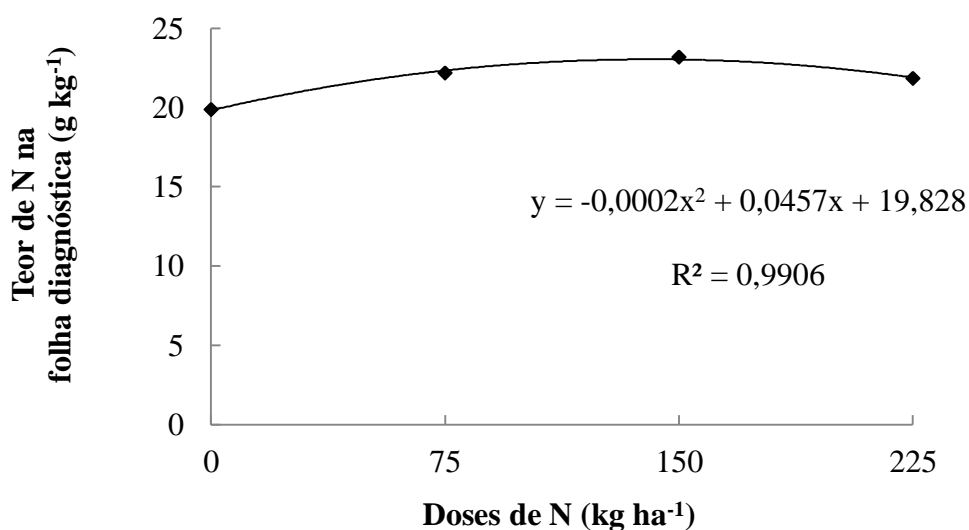
Dentre os tratamentos, somente houve influência significativa de doses sobre o teor de N na folha diagnóstica. Observou-se que, em média, houve aumento dos teores de N com o incremento das quantidades aplicadas no solo, seguindo um modelo de resposta quadrático. A máxima resposta foi obtida com aplicação de N na dose de 114,3 kg ha<sup>-1</sup>, que proporcionou o

teor de N correspondente a 22,4 g kg<sup>-1</sup> (Figura 3). O teor de N foliar é um parâmetro significativo para detectar a quantidade de N absorvida pela planta.

Esses resultados corroboram, com os encontrados por Bernardi *et al.* (2007), que avaliando o efeito da mistura de zeólita à uréia na adubação em cobertura do milho para silagem sobre a produção de matéria seca e os teores de nitrogênio na folha, obtiveram elevação quadrática do N foliar com a elevação das doses, encontrando teores máximo de N na folha 32 e 34,6 g kg<sup>-1</sup>.

Conforme os autores, a faixa de teores considerados adequados de N na folha do milho está entre 27 e 35 g kg<sup>-1</sup>, valores esses superiores aos obtidos no presente estudo. Apesar dos dados obtidos serem inferiores aos teores mencionados adequados, observa-se efeito positivo em resposta ao incremento de N.

Por outro lado, Aratani (2006) e Gomes *et al.* (2007), observaram elevação linear no teor de N das folhas em resposta ao incremento de doses de N no milho.



**Figura 3.** Teor de N (g kg<sup>-1</sup>) médio na folha diagnóstica, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.

Embora, não tenha havido efeito da aplicação de zeólita sobre os teores de N nas folhas diagnósticas, diversos autores têm observado resultados positivos em resposta ao uso desse produto (CARRION *et al.*, 1994; BERNARDI *et al.*, 2007; WERNECK, 2008).

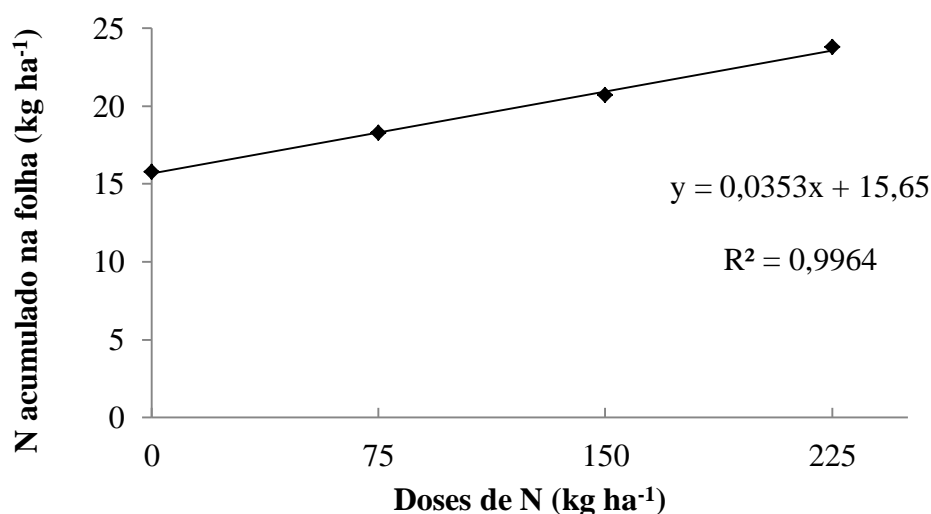
Os resultados obtidos no presente trabalho pode ter sido ocasionados em virtude da precipitação. Conforme foi observado na Figura 1, a precipitação pluviométrica, após a

adubação de cobertura (70% da dose), foi de 28,1 mm e 46 mm, respectivamente, para os dois dias após a aplicação. Fato este, que provavelmente ocasionou a solubilização do fertilizante ao solo e conseqüentemente menores perdas de N-uréia por volatilização, o que equiparou o resultado da zeólita ao da uréia. Esses resultados são confirmados por Martha Júnior *et al.* (2004), que verificaram que fatores como elevada precipitação pluviométrica, especialmente as chuvas de 10-20 mm até três dias após a aplicação de uréia, ocasionam a diminuição da perda de N por volatilização.

## 5.2. Teor e acúmulo de N na folha na ocasião da colheita

Para o teor de N na folha, na ocasião da colheita, não houve efeito significativo tanto com o uso das fontes nitrogenadas, quanto das doses aplicadas. Este fato pode ter ocorrido devido ao efeito de diluição e, principalmente pela translocação do nutriente na planta, já que o N é altamente móvel na planta e na fase de florescimento é intensamente transcolado das partes vegetativas para as partes reprodutivas, diminuindo os teores nas folhas no período correspondente (DUETE *et al.*, 2009).

Em relação a quantidade de N acumulado na folha, na ocasião da colheita, observou-se que não houve efeito significativo de fontes de N, conforme visto na tabela Tabela 2. Contudo, o acúmulo foi influenciado pela aplicação de doses de N, seguindo o modelo linear de regressão (Figura 4). Os valores de N acumulado na folha aumentaram de 15,8 kg ha<sup>-1</sup> para 23,8 kg ha<sup>-1</sup> com o aumento das doses de N.



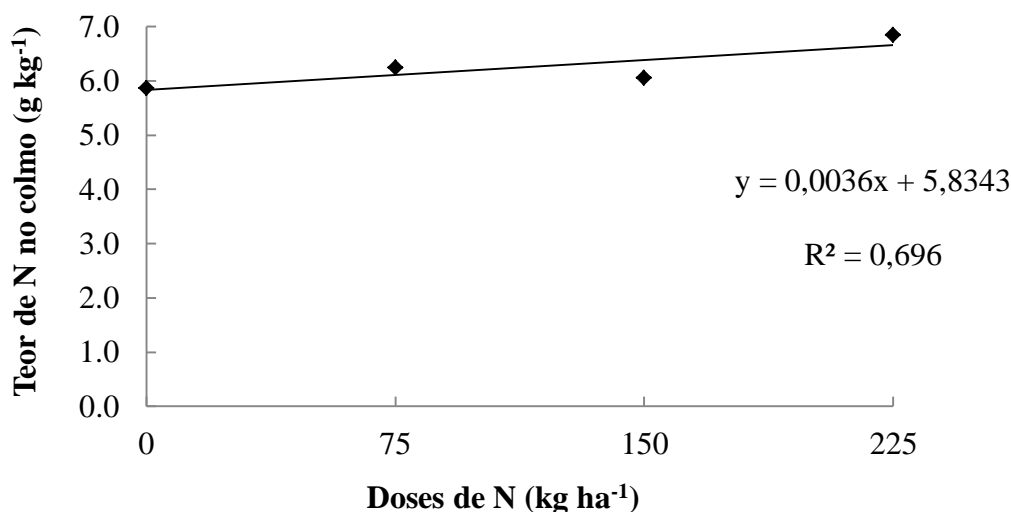
**Figura 4.** Quantidade média de N (kg ha<sup>-1</sup>) acumulada na folha por ocasião da colheita, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.

Carvalho *et al.* (2015) avaliando a nutrição e produtividade do arroz em resposta a aplicação de uréia comum e uréia com tecnologias agregadas (dentre elas, a zeólita) verificaram que a adubação com N proporcionou o aumento dos teores desse nutriente na folha e na parte aérea da planta, resultando em maior acúmulo de N na biomassa da planta.

### 5.3. Teor e acúmulo de N no colmo na ocasião da colheita

Para o teor de N no colmo, pode-se observar, de acordo com a figura 5, que houve variação linear do seu conteúdo em função das doses aplicadas de N. Aumentando o teor de N de 5,9 g kg<sup>-1</sup> para 6,8 g kg<sup>-1</sup> com o fornecimento do referido nutriente.

Segundo, Fancelli & Dourado Neto, (2004), o colmo não serve apenas para o suporte da planta, também é utilizado como estrutura de armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados para a formação dos grãos.

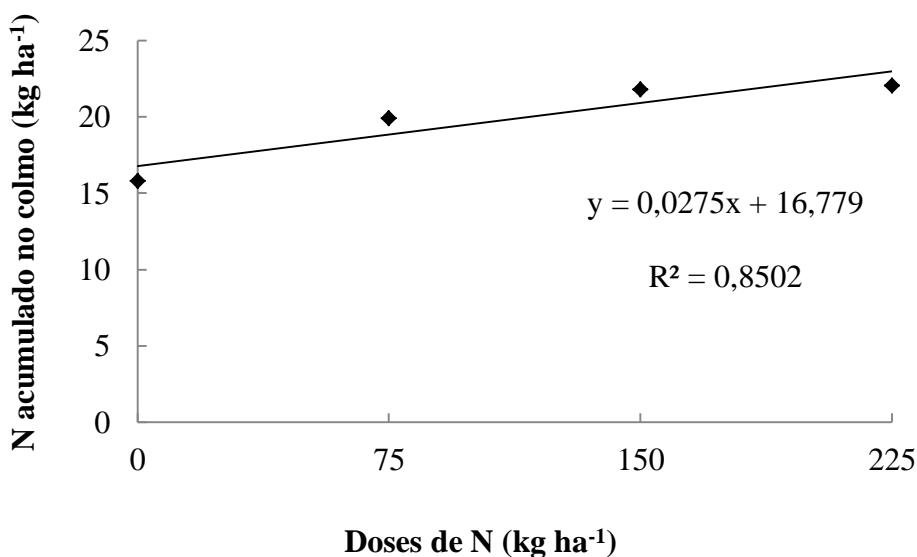


**Figura 5.** Teor de N (g kg<sup>-1</sup>) médio no colmo, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.

Para o N acumulado no colmo houve efeito significativo de fonte e doses isoladamente. Na avaliação do N acumulado no colmo, em função das doses (figura 6).

Verificou-se que houve aumento linearmente com o incremento das doses, aumentando de 15,8 kg ha<sup>-1</sup> para 22 kg ha<sup>-1</sup> de N acumulado.

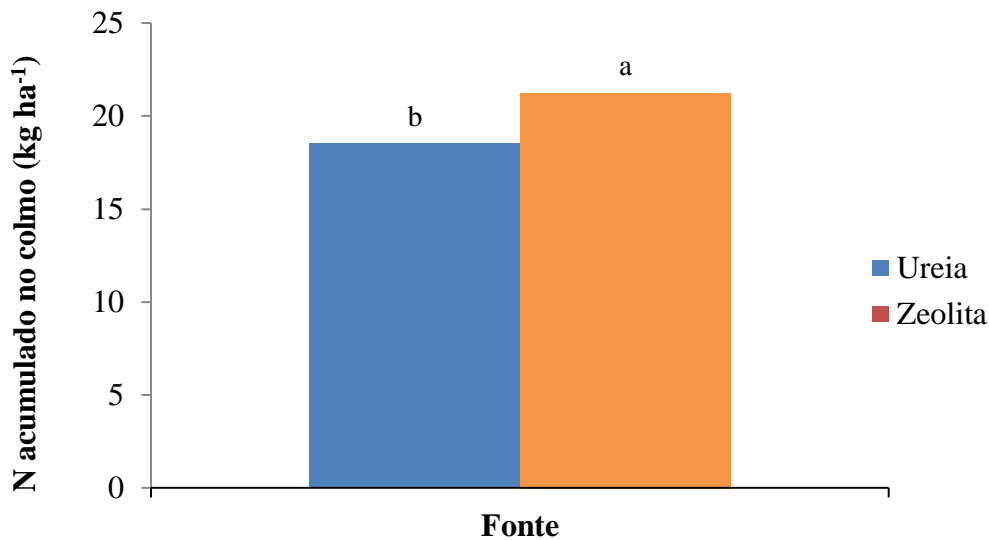
De acordo com Cantarella (1993), embora a absorção de nitrogênio pelo milho seja mais intensa dos 40 aos 60 dias após a emergência, a planta ainda absorve considerável quantidade de nitrogênio após o início do florescimento, estágio no qual esta característica nutricional foi mensurada no presente estudo. Esta absorção, possivelmente, reflete em consideráveis incrementos de N acumulado em partes vegetais do milho na ocasião da colheita.



**Figura 6.** Quantidade média de N (kg ha<sup>-1</sup>) acumulada no colmo, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.

Dentre as fontes analisadas, a zeólita foi superior significativamente à uréia comum, promovendo maiores quantidade de N acumulado no colmo (Figura 7). Devido à zeólita diminuir a concentração de NH<sub>4</sub> na solução do solo por meio da troca catiônica (FERGUSON & PEPPER, 1987), provavelmente ocorre um aumento da eficiência no uso de N mediante o controle de retenção e de liberação de NH<sub>4</sub>. Os resultados obtidos corroboram aqueles obtidos por Bouzo *et al.* (1994), Campana (2008), Alves *et al.* (2007) e Bernardi *et al.* (2010) que também encontraram efeitos benéficos quando se usa este mineral com uréia.





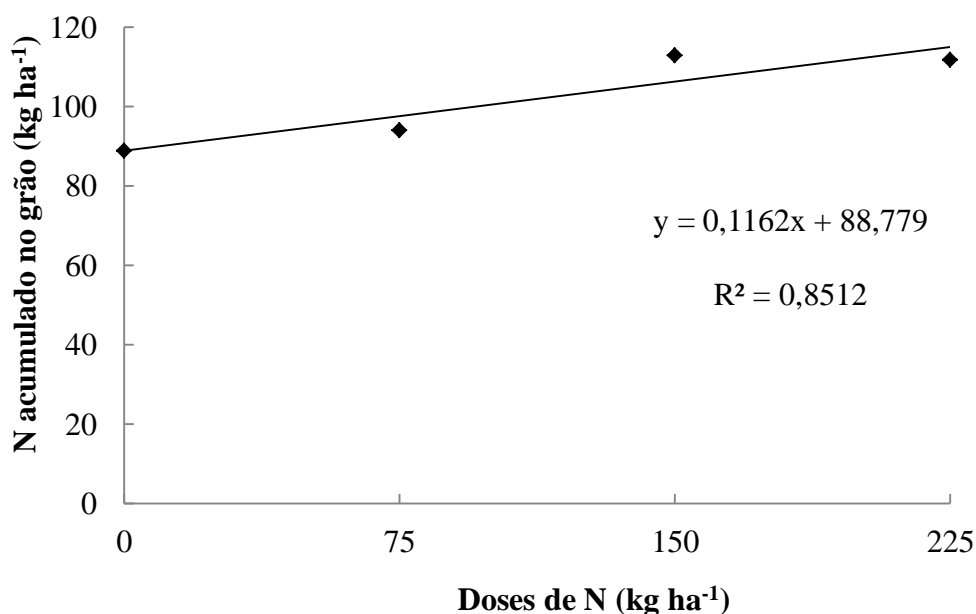
**Figura 7.** Quantidade média de N (kg ha<sup>-1</sup>) acumulada no colmo, em função das fontes de N.

#### 5.4 Teor e acúmulo de N no grão

Para o teor de N no grão, verificou-se que independentemente da dose aplicada de N, não houve efeito significativo nesta variável de resposta, discordando dos resultados encontrados por Farinelli e Lemos (2010) e Amaral Filho *et al.* (2005), que verificaram aumento linear no teor de N no grão com as doses aplicadas.

Conforme a análise de variância, não se observou efeito significativo, da aplicação de zeólita e uréia sobre o teor e o acúmulo de N nos grãos. Conforme já mencionado anteriormente, esses resultados podem ter sido ocasionados em virtude da precipitação, que provavelmente ocasionou a solubilização do N-zeólita no solo e, conseqüentemente, menores perdas de N-uréia por volatilização, reduzindo as diferenças entre as fontes avaliadas.

No entanto, observou-se aumento linear do acúmulo de N nos grãos (figura 8), em resposta ao incremento da aplicação de doses de N no solo, indicando que, por ocasião da fase de enchimento de grãos, o nutriente foi translocado, principalmente das folhas, e armazenado neste órgão, na forma de proteína e aminoácidos (MARSCHNER, 1995).



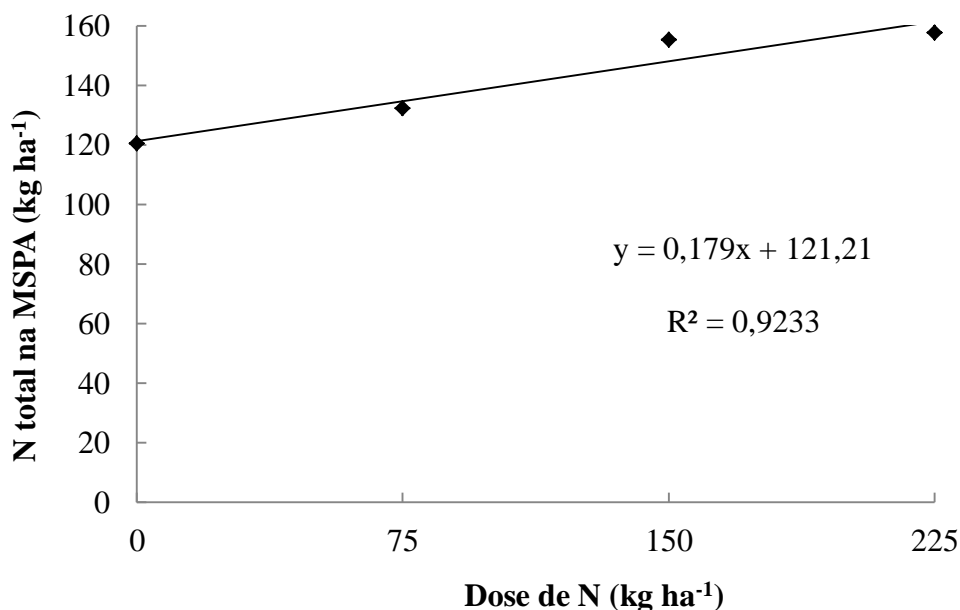
**Figura 8.** Quantidade média N (kg ha<sup>-1</sup>) acumulada no grão, em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.

Segundo Büll (1993), no milho, o N influencia, além da quantidade de fitomassa produzida, também a sua qualidade, principalmente o teor proteico do grão. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Sainz Rozas *et al.* (2004), que verificaram, em três experimentos, o incremento de N acumulado nos grãos, quando houve aumento da aplicação de N no estágio V6 das plantas de milho.

#### 5.5 N total acumulado na massa seca da parte aérea

Os valores de N total acumulado na massa seca da parte aérea aumentaram significativamente com a aplicação das doses de N no solo, seguindo modelo linear de regressão. Os valores variaram de 120,4 para 157,5 kg ha<sup>-1</sup> com o incremento das doses e na maior dose houve 16,5 % de recuperação do nutriente, indicando que, aparentemente, não houve bom aproveitamento de N pelas plantas, por conta das perdas de N pelo processo de lixiviação. Estes valores, exceto para a dose 225 kg ha<sup>-1</sup>, foram superiores as doses aplicadas via adubação.

Vasconcellos *et al.* (1998) e Hiroce *et al.* (1989) também verificaram extrações de N em quantidades maiores do que a aplicada na forma de fertilizantes o que sugere a adoção de estratégias de manejo da fertilização da cultura do milho possibilitem a manutenção da biomassa microbológica e de uma mineralização adequada.

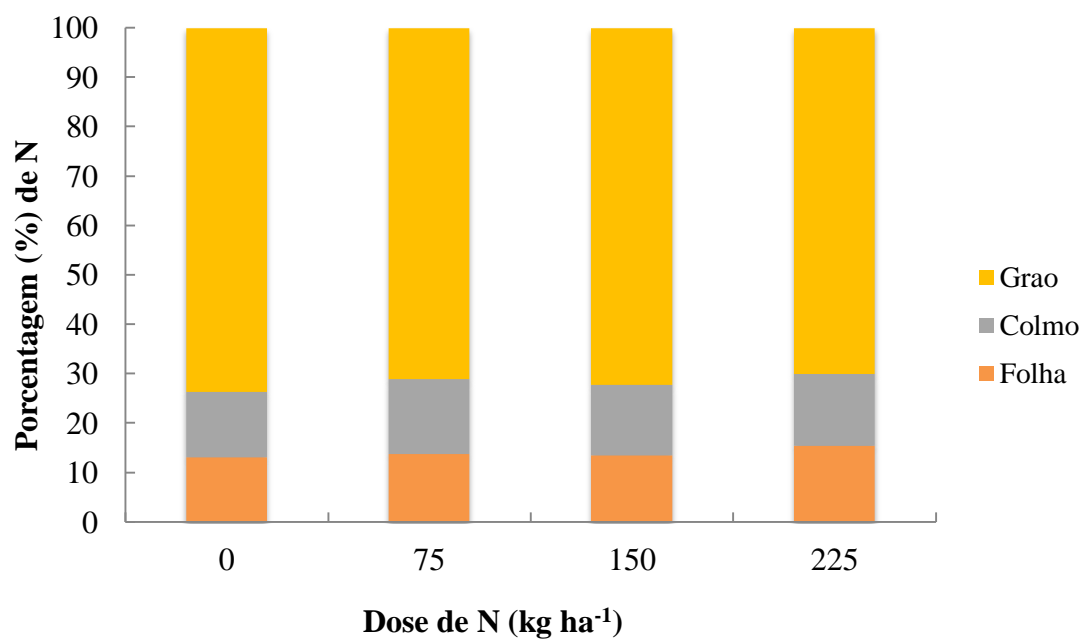


**Figura 9.** N total (kg ha<sup>-1</sup>) na massa seca da parte aérea em função das doses de uréia comum e zeólita enriquecida com uréia aplicadas.

#### 5.6 Nitrogênio nas partes das plantas

A distribuição de N nas partes das plantas encontra-se na figura 10. Em média, 72% do N total acumulou-se nos grãos, restando 28% para os demais segmentos. Valores semelhantes foram encontrados por outros autores (TIMMONS & BAKER, 1992; LARA CABEZAS *et al.*, 2000; GAVA, 2003).

Os resultados deste experimento e os da literatura evidenciam que o maior dreno de N na planta localiza-se nos grãos, já que grande quantidade do N das partes vegetativas da planta é transcolado para os grãos, onde é acumulado na forma de aminoácidos e proteínas (TA e WEILAND, 1992).



**Figura 10.** N acumulado nas folhas, colmo e grãos de plantas de milho.

## 6 CONCLUSÕES

A aplicação de zeólita enriquecida com uréia não diferiu da uréia convencional no aproveitamento de N pelas plantas de milho.

A dose para a obtenção do máximo teor de N na folha diagnóstica de milho equivale a 114,3 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Os maiores valores de N acumulado na folha, o teor e acúmulo de N no colmo e o N total acumulado na MSPA correspondem a dose 225 kg ha<sup>-1</sup> de N.

A dose equivalente a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N promove maior acumulado de N nos grãos de milho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. C.; ALVES, T. C.; MACEDO, F. B.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; ROCHETTI, G. C. **Adição de zeólita para redução da volatilização de amônia em solo fertilizado com uréia**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007, 4 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 55).

ALVES, A.C. **Métodos para quantificar a volatilização de N-NH<sub>3</sub> e m solo fertilizado com uréia**. Pirassununga, Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) 41f, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2006.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS E SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. Disponível em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n1a25.pdf>. Acesso: 30/10/2015.

AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 467-473, 2005.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B. **Adubação nitrogenada no Brasil**. CEPLAC, SBCS, p.1- 18, 1985.

ARATANI, R.G. Adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho irrigado, em sistema plantio direto. **Revista científica eletrônica de agronomia**, 10p, 2006.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2009-2010**. São Paulo, 2010.

BARRER, R. M. **Hydrothermal Chemistry of Zeolites**. Academic Press, 1982.

BARTZ, J. K.; JONES, R. L. Availability of nitrogen to sudangrass from ammonium saturated clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 259-262, 1983.

BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; UENO, R.K.; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. v. 4. nº 3. set/dez. (2011).

BASTOS, T.X; PACHECO, N.A; FIGUEIREDO, R.O. **Frequência de chuva e ocorrência de seca na microrregião de Paragominas PA**. In Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 14, 2005. Campinas S.P. Resumos...Campinas S.P, UNICAMP, 2005. p. 83.

BERNARDI, A.C.C.; MONTE, M.B.M.; PAIVA, P.R.P. Produção de matéria seca, extração e utilização de nitrogênio em aveia adubada com uréia misturada com zeólita. **Revista Agricultura**, v.8, p.1-10, 2010.

BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C. G.; HAIM, P. G.; REZENDE, N. G. A. M.; AMORIM, H. S. de; SOUZA-BARROS, F. de; PAIVA, P. R. P.; MONTE, M. B. M. **Avaliação agronômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).

BERNARDI, A. C. C.; PAIVA, Paulo R. P. ; MONTE, M. B. M. **Produção de matéria seca e teores de nitrogênio em milho para silagem adubado com uréia misturada a zeólita**. São Carlos - SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007 (Comunicado Técnico).

BLAYLOCK, A. Novos fertilizantes nitrogenados: O futuro dos fertilizantes nitrogenados de Liberação controlada. **Informações Agronômicas IPNI**, n.120, p.8-10, 2007.

BOARETTO, A.E.; MURUOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O. Uso eficiente de nitrogênio nos fertilizantes convencionais. **Informações Agronômicas IPNI**, n.120, p.13-14, 2007.

BOUZO, L.; LOPEZ, M.; VILLEGAS, R.; GARCIA, E.; ACOSTA, J. A. Use of natural zeolites to increase yields in sugarcane crop minimizing environmental pollution. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco, Mexico. Transactions... Acapulco: **International Society of Soil Science**, 1994. v.. 5a, p. 695-701.

BRECK, D.W. **Zeolite Molecular Sieves**. New York, John Wiley and Sons, 771 p.1974.

BÜLL, L. T. **Nutrição mineral do milho**. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds.) *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-146

CALONEGO, J. C.; PALMA, H. N.; FOLONI, J. S. S. Adubação nitrogenada foliar com sulfato de amônio e uréia na cultura do milho. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 1, nº. 1, p. 34-44, 2012.

CAMPANA, M. **Coletores de amônia, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em panicum maximum cv. tanzânia submetido a manejo intensivo**. Botucatu, Dissertação (Mestrado em Nutrição e Produção animal) 77f, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade Estadual Paulista, 2008.

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 139-148, jan-mar, 2011.

CANTARELLA, H. **Calagem e adubação do milho**. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 147-196.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J; RESENDE, L. C. L. **Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada em sistema de colheita de cana sem queima prévia**. In: 7. CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 1999, Londrina. *Anais do VII Congresso Nacional da STAB*. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H.; MATTOS JÚNIOR; D.; QUAGGIO, J.A.; RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.67, p.215-223, 2003.



CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007a. p.375 – 470.

CANTARELLA, H. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. **Informações Agronômicas IPNI**, n.120, p.12-13, 2007b.

CANTARELLA, H. Uso de inibidor da urease para aumentar a eficiência da uréia. In: IPNI – International Plant Nutrition Institute. **Informações Agronômicas**, n. 117, p. 13, março 2007c.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agronômicas**, N° 122. 2008.

CARVALHO, M.C.S.; NASCENTE, A.S.N.; ALMEIDA, L.N.; FERREIRA, K.M.; FERREIRA COSTA, L. **Volatilização de amônia proveniente de uréia comum e uréia com tecnologias agregadas em arroz de terras altas**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal -RN, 2015.

CARRION, M.; GONZALEZ, R.; GIL, R.; RODRIGUEZ, C.; MARTINEZ-VIERA, R.; CRUZ, A.; COLOMBO, R.; PENA, E.; TORRES, S. Influence of fertilizers with zeolite on crop yields. In: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FUNDAMENTALES EN AGRICULTURA TROPICAL ALEJANDRO DE HUMBOLT. 90 ANOS DE LA ESTACION EXPERIMENTAL AGRONOMICA DE SANTIAGO DE LAS VEGAS. Santiago de las Vegas: Estacion Experimental Agronomica, 1994. p. 201-211.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. In: José Carlos Cruz; Décio Karam; Márcio A.R. Monteiro; Paulo Cesar Magalhães. (Org.). A cultura do milho. 1ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2008, v. , p. 131-157.

DANA, J.D. **Manual de Mineralogia (Dana- Hurlbut)**. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 642 p. 1981.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; AMBROSANO, E.J; TRIVELIN, P.C.O. ACÚMULO DE NITROGÊNIO (15N) PELOS GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DA FONTE NITROGENADA EM LATOSSOLO VERMELHO. *Bragantia*, Campinas, v.68, n.2, p.463-472, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMBRAPA. Sistemas de produção: cultivo do milho. Sete Lagoas: Embrapa milho e sorgo, 2012  
Disponível em:  
<[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_8ed/feraduba.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_8ed/feraduba.htm)> Acesso em: 02 fev.2016.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2 ed. Guaíba: Editora Livrocere, 2004, 360p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos de solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, vol. 9, nº 2, p. 135-146, 2010.

FERGUSON, G.; PEPPER, I. Ammonium retention in soils amended with clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 231-234, 1987.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agrônômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v. 58, nº. 1, p. 131-138, jan./mar. 2001.

FLANIGEN, E. M. Zeolites and molecular sieves: An historical perspective. **Studies in Surface Science and Catalysis** 137. pp. 11-35, 2001.

FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANÇA, G. E. **Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.49-62, 2001.

GAVA, G.J.C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação na implantação da semeadura direta no ciclo da cultura do milho.** Piracicaba, USP/ESALQ, 2003. 125p. (Tese de Doutorado)

GOMES, R.F.; SILVA, A.G.; ASSIS, L.R.; PIRES, R.P. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **R Bras Ci Solo.** 2007;31:931-8.

GUIMARÃES, S. L. **Aplicação de inoculante turfoso com bactérias diazotróficas e molibdênio em cultivares de arroz adubadas com nitrogênio mineral.** Seropédica, 2006. 86p. Tese (doutorado em ciências) – Instituto de Agronomia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

GÜL, A.; EROGUL, D.; ONGUN, A. R. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 4, p. 464-471, 2005.

HIROCE, R.; FURLANI, A. M. C.; LIMA, M. **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho.** Campinas: Instituto agrônômico, 1989. 24p. (Boletim científico, 17).

LANTMANN, A.F., CAMPO, R.J., SFREDO, G.J. & BORKET, C. M. **Micronutrientes para a cultura da soja no Estado do Paraná: zinco e molibdênio.** Londrina: EMBRAPA, CNP soja. Comunicado Técnico, 34, p.8, 1985.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G H; MOTTA, S A . Volatilização de amônia na cultura de milho: I Efeito da irrigação e substituição parcial de uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997a.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G H ; MOTTA, S A . Volatilização de amônia na cultura do milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997b.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P C O ; KORNDORFER, G H ; PEREIRA, S. . Balanço nitrogenado da adubação sólida e fluida de cobertura na cultura de milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.

LEAO, A.F. **Redutores de volatilização do nitrogênio da uréia na cultura do milho safrinha, utilizando coletores semi-aberto estático**. Jataí, 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás Campus Jataí, 2008.

LEGGO, P. J. An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance. **Plant and Soil**, The Hague, v. 219, n. 1-2, p. 135-146, 2000.

LEITE, J.M.; VILLALBA, H.A.G; OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O. Fertilizantes Nitrogenados: Novas Tecnologias. **Informações Agronômicas**, 2014. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/8A8C436B98265A2983257DB6006A962D/\\$FILE/Page12-20-148.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/8A8C436B98265A2983257DB6006A962D/$FILE/Page12-20-148.pdf). Acesso em: 22/01/2016.

LOPES, E.S. **Fixação biológica do nitrogênio no sistema solo-planta**. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007, Piracicaba. Anais... Piracicaba: IPNI-Brasil, 2007. p.43-72.

LUZ, A. B. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Rio de Janeiro:/CETEM, 1994. 37p. (CETEM. Série Tecnologia Mineral, 68). 1994.

LUZ, A. B. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Série Tecnológica Mineral, CETEM/CNPq: Rio de Janeiro, 1995, p. 68.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Editora Agronômica Ceres, p. 638. 2006.

MARQUEZ, E. **Características físico-químicas de las zeólitas Naturales como Medio Filtrante**. In: XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-Asociación Brasileira de Engenharia Sanitária y Ambiental, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.

MARTHA JUNIOR, G. B. **Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia**. 2004. 149 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba

MARTIN, T.N.; PAVINATO, P.S.; SILVA, M.R.; ORTIZ, S.; BERTONCELI. **Fluxo de nutrientes em ecossistemas de produção de forragens conservadas**. In: Anais do IV In: Anais do Simpósio sobre produção e utilização de forragens conservadas, Maringá. 2011. p.319. p.173-219.

MATOS, T.S. **Avaliação da eficiência agrônômica de novos fertilizantes nitrogenados granulados baseados no uso da uréia**. Dissertação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ, 2011.

MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) Minerals in soil environments. 2nd ed. Madison: **Soil Science Society of America**, 1989. p. 873-911.

MOSIER, A. & GALLOWAY, J. Setting the scene – The international nitrogen initiative. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. Proceedings. Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 10P. CD-ROM.

MÖLLER, M. R. F. et al. **Análises de tecido vegetal**: Manual de laboratório. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 32 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 92).

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Effect on nitrogen supply on maize yield: II. Field and model analysis. **Agronomy Journal**, v.87, p.642-648, 1995.

MUMPTON, F. A. Natural zeolites. In: Mumpton, F. A. (ed.) Mineralogy and Geology of Natural Zeolites. Mineralogical Society of América. **Reviews in Mineralogy**, 4. p.1-17. 1981.

NYBORG, M; SOLBERG, E. D.; MALHI, S. S.; IZAURRAUDE, R. C. **Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers. 1995.

PAZIN, E.; CORREA, T. C.; ZSCHONARK, M. A.; ARROYO, P. A. Estudo da Troca Competitiva de Íons Amônio em zeólita NaY. Universidade Estadual de Maringá, **Anais do XVI EAIC**, 2007.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 343p, 1991.

REHÁKOVÁ, M.; CUVANOVÁ, S.; DZIVÁK, M.; RIMÁR, J.; GAVAL'OVÁ, Z. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. **Current Opinion in Solid State and Materials Science**, v.8, p.397 - 404 2004.

REZENDE, N.G.A.; MONTE, M.B.M. In: **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Editores Adão Benvido da Luz e Fernando Freitas Lins, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 699-717, 2005.

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. *Am. Soc. Agron.*, 96:1622-1631, 2004.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, v.71, p.1-49, 2001.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira Ciência solo**. vol.29 n°.3 Viçosa May/June 2005.

TA, C.T. & WEILAND, R.T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. **Crop Sci.**, 32:443-451, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed., 842 p., Artmed, Porto Alegre, 2009.

TIMMONS, D.R. & BAKER, J.K. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen continuous no till. **Agron. J.**, 84:490-496, 1992.

TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. **International Fertilizer Industry Association**, Paris, 1997.

TRENKEL, M. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2<sup>nd</sup> ed. Paris: **Internatioanal Fertilizer Industry Association**, 2010. 163p.

TSCHERNICH, R. W. Zeolites os the world. **Geoscience Press Inc.**, Phoenix, 1992, 562p.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source and sink ratios. **Crop Science**, v.35, p. 183-190, 1995.

VALENTE, S.; BURRIESCI, N.; CAVALLARO, S.; GALVAGNO, S.; ZIPELLI, C. Utilization of zeolite as soil conditioner in tomato growing. **Zeolites**, v. 2, n. 4, p. 271-274, 1986.

VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M.C.M; FERREIRA, J.J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período de inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.33, n.11, p.1835-45, 1998.

VAUGHAN, D. Properties of natural zeolites. In: SAND, L.; MUMPTON, F. (Ed.). **Natural zeolites: occurrence, properties, use**. New York: Pergamon, 1978. p. 353–372.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; OLIVEIRA, M.W. Volatilização de amônia da adubação nitrogenada aplicada sobre solo coberto com palhada de cana-de-açúcar: efeito na produtividade da cana-soca. Congresso Nacional dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8., 2002. Recife: **Anais: ...** Recife: STAB, 2002, p. 239-244.

WERNECK, C.G. **Perdas por volatilização e eficiência agronômica da mistura de uréia com zeólita natural aplicada na cultura da roseira (Rosa spp.)**. 2008. 90p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

WOOD, C.W.; REEVES, D.W.; HIMELRICK, D.G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: a review. In: WHEAT SYMPOSIUM, Christchurch. 1993, **Anais...**, Palmerston North: Agronomy Society of New Zealand, 1993. p. 1-9.

YAMADA, T. ADUBAÇÃO NITROGENADA DO MILHO. Quanto, como e quando aplicar?. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 74, p. 1-5, 1996.

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

ZHAO, B.; DONG, S.; ZHANG, J. & LIU, P. “Effects of controlled release fertiliser on nitrogen use efficiency in summer maize”. **Plos One**, 8:1, 2013.