

**APLICAÇÃO DE URÉIA COM INIBIDOR DE  
UREASE EM CAFEEIROS**

**ANDRÉ LUÍZ ALVARENGA GARCIA**

**2008**

**ANDRÉ LUÍZ ALVARENGA GARCIA**

**APLICAÇÃO DE URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE EM  
CAFEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador  
Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Garcia, André Luíz Alvarenga.

Aplicação de uréia com inibidor de urease em cafeeiros / André Luíz  
Alvarenga Garcia. – Lavras : UFLA, 2008.

45 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Bibliografia.

1. Nitrogênio. 2. Perdas por volatilização. 3. Café. I. Universidade  
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.738941

**ANDRÉ LUÍZ ALVARENGA GARCIA**

**APLICAÇÃO DE URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE EM  
CAFEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2008

Pesq. Dra. Lilian Padilha	Embrapa Café
Pesq. PhD. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho	Embrapa Café
Prof. Dr. Rubens José Guimarães	UFLA

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes  
UFLA  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL**

Aos meus pais,

Antônio Wander Rafael Garcia e Elenir Alvarenga Garcia

**DEDICO**

Aos meus irmãos,  
Rynele Alvarenga Garcia e Alexandre Alvarenga Garcia

Aos meus sobrinhos,

Luca, Bruna e Isabela

À minha namorada, Bianca Oliveira Botrel

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar e abrir as portas para este caminho.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização do curso.

A Fundação Procafé pelo apoio na realização do curso de mestrado.

À Dra Lílian , pela essencial ajuda, ensinamentos e amizade.

Ao professor Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, pela orientação e amizade.

Ao amigo Carlos Henrique, pela orientação, incentivo e amizade.

Aos amigos da Fundação Procafé: Rodrigo, Ana Carolina, Leonardo, Carlos Henrique, Allyson, Saulo, Roque e Rogério, pelo apoio.

Ao professor Dr. Rubens José Guimarães pelo companheirismo e apoio.

Aos colegas de república, da “Vila” e da Universidade, pela amizade, e por todos os grandiosos momentos compartilhados.

Ao CBP&D-Café pelo apoio a pesquisa.

Aos funcionários da fazenda experimental de Varginha, por toda ajuda

A todas as pessoas que participaram direta e indiretamente desta importante conquista,

**Muito obrigado!**

## SUMÁRIO

	Pg
<b>RESUMO</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>2</b>
2.1 Caminhamento dos nutrientes para o cafeeiro .....	2
2.2 O Nitrogênio e seu papel no metabolismo das plantas.....	5
2.3 Acúmulo de N .....	7
2.4 Fertilizantes nitrogenados.....	8
2.5 Perdas de N por volatilização e lixiviação.....	10
2.6 Inibidor de urease .....	14
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
3.1 Experimento em casa de vegetação.....	16
3.2 Experimentos de campo .....	19
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>
4.1 Experimento em casa de vegetação.....	21
4.2 Experimentos de campo .....	30
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>39</b>

## RESUMO

GARCIA, André Luíz Alvarenga. **Aplicação de uréia com inibidor de urease em cafeeiros**. 2008. 45 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Os fertilizantes à base de uréia podem sofrer perdas significativas de nitrogênio para a atmosfera. Isto devido à transformação da uréia em amônia, na presença da urease, produzida por microrganismos do solo. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da adição do inibidor de urease NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) à uréia, sobre a absorção de nitrogênio e desenvolvimento das plantas de café. Os experimentos foram realizados em campo e em casa de vegetação. Em 2006, ano em que foram instalados os ensaios de campo, registrou-se um déficit hídrico no solo em torno de 550 mm. Na casa de vegetação, foram testadas três doses de N-uréia, com e sem NBPT, divididas em dois parcelamentos, combinadas com duas formas de fornecimento de água, antes e após a aplicação do fertilizante. No campo, a aplicação dos fertilizantes foi iniciada 15 dias após plantio das mudas. Neste foram testadas três doses de uréia e uréia + NBPT (2, 4 e 8g N/planta). Em outro ensaio, três formas de parcelamentos do adubo. Todos os experimentos continham uma testemunha sem nitrogênio. Quatro meses após o fornecimento do fertilizante, no ensaio em casa de vegetação, foram avaliados a massa seca total e o nitrogênio mobilizado pelas plantas. No campo, cinco meses após a última aplicação, foram avaliados o número de ramos plagiotrópicos e a altura de plantas. O uso de NBPT, associado à uréia em cafeeiros conduzidos em vasos, aumentou em 32% o N mobilizado e em 18% a massa seca das plantas. Por outro lado, nos experimentos de campo, não foi observada resposta ao uso de NBPT associado à uréia.

**Orientador:** Antônio Nazareno Guimarães Mendes - UFLA

## ABSTRACT

GARCIA, André Luíz Alvarenga. **Application of urea with urease inhibitor in coffee plants**. 2008. 45 p. Dissertation (Master in Crop Science) - Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.

The fertilizer-based urea may suffer significant loss of nitrogen into the atmosphere due to the conversion of urea to ammonia in the presence of urease, an enzyme produced by soil microorganisms. This study was conducted to evaluate the addition of urease inhibitor NBPT of the urea, to increase the absorption of nitrogen for the plant and, consequently, its further development. The experiments were developed in the field and in a greenhouse, in a factorial. In the year that the tests were installed in the field, reported to be a water deficit in the soil of approximately 550mm, which promoted stress in plants. In the greenhouse, were tested three doses of N urea, in the presence and absence of NBPT, split in two and with two seasons for the supply of water before and after applying the fertilizer. In the field tests, the application of fertilizer was started 15 days past of transplanting seedlings. We tested three doses of urea (2, 4 and 8 of N / plant), associated or not to NBPT and, in another test, three forms of splits. All experiments included a witness without nitrogen. Four months after the delivery of fertilizer, in the trial in a greenhouse, were assessed a total dry weight and nitrogen mobilized by plants. In the field, five months after the last application, were assessed the number of branches plagiotrópicos and height of plants. The use of NBPT, associated with urea in coffee conducted in pots, increased by 32% called the N and 18% to dry mass of plants. Moreover, in experiments in the field, was not observed response to the use of NBPT associated with urea.

**Adviser:** Antônio Nazareno Guimarães Mendes – UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a sua introdução no Brasil em 1727, a cultura do café teve um importante papel no desenvolvimento do país. Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, com um mercado formado por diferentes setores em sua cadeia produtiva. Nos últimos anos, o setor de produção vem passando por mudanças como o aumento dos custos de produção e os baixos preços do produto no mercado. Esta situação é agravada pelas perdas no campo devido à intempéries climáticas. Para a permanência do cafeicultor na atividade é exigida a sua profissionalização com adoção de novas tecnologias associadas à otimização dos meios de produção, propiciando o aumento de produtividade e maior competitividade. Dentre as tecnologias disponíveis, um adequado programa de adubação é essencial para o sucesso do cafeicultor.

Para o cafeeiro o nitrogênio é o macronutriente de maior demanda no desenvolvimento inicial da planta, sendo a uréia, a fonte mais empregada para o fornecimento de N. A aplicação de uréia em cobertura sobre o solo pode ser realizada por meio mecânico ou manual, onde os grânulos entram em contato com enzimas presentes no solo, que através de reações bioquímicas liberam o nitrogênio. A quantidade de N liberada é dependente de uma série de fatores que interagem entre si.

Altos índices de perdas de N para a atmosfera associados ao custo elevado da uréia, tornam importante o estudo e desenvolvimento de tecnologias que proporcionem um maior aproveitamento do fertilizante e a redução destas perdas. Dentre os novos produtos disponíveis no mercado, pode ser citado o composto químico NBPT (N-(n-Butil) Tiofosfórico Triamida), que quando misturado ao grânulo da uréia inativa, temporariamente, a ação da enzima urease. Dessa maneira, impede que a molécula de uréia seja quebrada rapidamente e reduz as perdas por volatilização. O produto não permite que

ocorram perdas significativas de nitrogênio por um período de sete a 14 dias, até as condições climáticas promovam sua difusão no solo. Este inibidor já vem sendo empregado a mais tempo em plantios de culturas anuais nos EUA e de maneira crescente, nos últimos anos, em diferentes culturas no Brasil. Até o momento, as pesquisas se concentraram principalmente em culturas anuais, com destaque para o sistema de plantio direto.

Pelo fato do cafeeiro ser uma cultura perene que demanda grandes quantidades de N, explorada em diferentes condições ambientais, que utiliza a uréia como principal fonte de nitrogenada, é de fundamental importância o conhecimento do potencial dos produtos que visam reduzir perdas de N para a atmosfera.

Neste contexto, o presente trabalho foi realizado para avaliar o efeito da associação do inibidor de urease NBPT à uréia, sobre o desenvolvimento de mudas de cafeeiro em condições de campo e de casa de vegetação.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Caminhamento dos nutrientes para o cafeeiro**

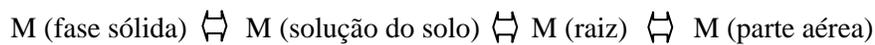
O desenvolvimento de uma cultura é reflexo de vários fatores, dentre os quais destaca-se a adequada disponibilidade de nutrientes, a qual é fundamental para o alcance de níveis de produtividade superiores.

Trabalhos sobre o papel dos nutrientes minerais na nutrição das plantas foram desenvolvidos por Lavoisier, Ingenhousz e Senebier (Russel, 1927), que afirmaram que os nutrientes minerais são incorporados pelas plantas como carbono; evidenciaram a essencialidade do nitrato para as plantas superiores e que o nitrogênio utilizado pelas plantas vinha do solo e não da atmosfera.

A movimentação de nutrientes minerais até as raízes foi considerada durante muito tempo como um simples processo de difusão. Atribuía-se grande

importância sobretudo à chamada corrente transpiratória, ou seja, o movimento da água do solo às raízes e destas ao longo do caule até as folhas, em virtude da perda contínua de água pela folha (Maximov, 1946). Posteriormente verificou-se que o processo de transporte de nutrientes do solo até as raízes era mais complexo.

O esquema abaixo mostra o caminhamento do nutriente mineral (M) no sistema solo-planta. Neste a fase sólida é representada pelo solo e está, continuamente, trocando íons com a planta (Malavolta, 1980).



Do solo para a interface solução-raiz a passagem dos íons pode ocorrer das seguintes maneiras a) interceptação radicular: à medida que as raízes crescem, elas entram em contato com os nutrientes presos à fase sólida e estabelecem combinações químicas com esses e os absorvem, trocando com o solo íons produzidos por elas; b) fluxo de massa: é o caminhamento de um elemento numa fase aquosa móvel, com a mesma velocidade de toda a solução. À medida que as raízes absorvem água, é estabelecido um gradiente de tensão de água no solo e a solução move-se para a superfície da raiz; c) difusão: é o caminhamento do íon em distâncias muito curtas numa fase aquosa estacionária de uma região de maior concentração para outra de menor concentração, criando, então, o gradiente, ao longo do qual o elemento se difunde.

O processo de absorção de um nutriente por uma planta consiste na entrada do mesmo ou de um elemento, na forma iônica ou molecular, no espaço intercelular ou em qualquer região ou organela, da célula viva ou morta (Malavolta, 1980).

Além de outras funções, a presença de água no solo é de fundamental importância para que ocorra o transporte de nutrientes no sistema solo-planta. O

cafeeiro é uma planta que pode tolerar períodos com deficiência hídrica de até 150 mm, especificamente quando ela não se estende até a fase de floração (Camargo, 1977). Segundo Gopal (1974), o déficit hídrico acima do tolerado tem reflexos negativos na planta, com danos ao sistema radicular e morte de raízes absorventes. Isto limita a absorção de água e nutrientes, prejudicando o crescimento da parte aérea e a produção das plantas.

Nas situações cujo período de seca é prolongado, e há dessecação mais intensa ou outros estresses, podem ocorrer alterações nas funções metabólicas da planta (Kaiser, 1987). Estudos têm demonstrado que o metabolismo de carboidratos é muito sensível às alterações no status hídrico das plantas. Chaves (1991) descreveu que o particionamento dos assimilados é o resultado de um mecanismo coordenado dos processos metabólicos e de transporte, entre as relações fonte/dreno, e é dependente de fatores genéticos, ambientais e de desenvolvimento. Como o déficit hídrico afeta a produção e o consumo de fotoassimilados, inevitavelmente ele afetará o particionamento do carbono foliar e de toda a planta.

Para o cafeeiro, o déficit de água no solo é também um fator limitante à produtividade, influenciando de maneira prejudicial o crescimento, o florescimento, a frutificação e outros importantes processos fisiológicos determinantes da produtividade (DaMatta, 1997; Nunes, 1976). Da mesma forma, estes problemas são ainda mais graves em plantas jovens, as quais possuem o sistema radicular pouco desenvolvido, e não são capazes de buscar água em camadas mais profundas do solo. Isto reduz significativamente o seu metabolismo e pode provocar a morte da planta.

O fechamento dos estômatos, para evitar a perda de água para a transpiração, é considerado como o mecanismo mais importante da reação da planta à falta de água no solo (Nunes, 1976).

Períodos de seca diminuem a mineralização da matéria orgânica do solo e o caminhamento dos nitratos para a raiz, fatores estes que aumentam a severidade da falta de N (Malavolta, 1986).

Desta maneira, regiões com déficit hídrico anual superior a 150 mm, ou em locais que ocorrem veranicos freqüentes, o uso de irrigações suplementares, em períodos críticos, torna-se indispensável para um bom funcionamento do metabolismo das plantas (Camargo, 1977) .

## **2.2 O Nitrogênio e seu papel no metabolismo das plantas**

A atmosfera possui, aproximadamente, 78% de nitrogênio, principalmente na forma de  $N_2$ , e é a fonte natural deste elemento para a biosfera. Apesar disso o  $N_2$  é uma fonte natural gasosa e não diretamente havendo necessidade de transformação prévia para as formas combinadas  $NH_3^+$  (amônio) e  $NO_3^-$  (nitrato), para que seja diretamente aproveitado pelas plantas (Taíz & Zaiger, 2004).

O fornecimento de N ao solo é realizado mediante a aplicação de adubos orgânicos e minerais, pela fixação biológica, pela adição de matéria orgânica e pelo N proveniente das águas das chuvas (Melo, 1978; Van Raij, 1991).

Segundo Lopes (1989), nas plantas o nitrogênio pode estar combinado ao carbono, hidrogênio e oxigênio, e também ao enxofre, como constituinte de aminoácidos, ácidos nucléicos, enzimas, clorofilas, alcalóides e outros.

A deficiência do N é facilmente detectada pela clorose e queda das folhas mais velhas. Onde inicialmente as folhas mais novas não mostram tais sintomas pois ocorre uma mobilização de N a partir das folhas mais velhas. A mobilidade do N se deve ao fato das proteínas, compostos que estão em constante síntese e degradação, serem quebradas em compostos nitrogenados que irão entrar no floema, e serão redistribuídos para as folhas mais jovens. A lignificação de caules, com aspecto delgado, também é um sintoma de deficiência

de N e ocorre de maneira lenta e gradativa. Isto se deve ao acúmulo de carboidratos que não podem ser usados na síntese de aminoácidos ou de outros compostos nitrogenados (Taíz & Zaiger, 2004).

O processo de absorção do N pelas plantas ocorre nas formas de amônio ( $\text{NH}_4$ ) e/ou nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sendo esta última a forma preferencialmente absorvida pela maioria das culturas (Crawford & Glass, 1995). A absorção de nitrato estimula a absorção de cátions, enquanto que a de amônio pode restringir a absorção de cátions pela planta (Havlin, 1999).

O N quando absorvido na forma nítrica ( $\text{NO}^-$ ), deve ser reduzido para incorporação a compostos orgânicos e exercer suas funções metabólicas. A absorção na forma amoniacal ( $\text{NH}^+$ ) permite que seja incorporado diretamente a compostos orgânicos. Na planta o nitrogênio é transportado no xilema e redistribuído no floema (Malavolta, 1980).

As plantas assimilam a maioria do nitrato absorvido por suas raízes em compostos orgânicos nitrogenados (Oaks, 1994), como segue:



A primeira etapa do processo consiste na redução do nitrato a nitrito, processo que ocorre no citoplasma das células, pela redutase do nitrato (RN) (Tischiner, 2000). Esta enzima tem o NADH ou NADPH como doador de elétrons, dependendo dos tecidos em que a reação está ocorrendo.

Entre os fatores que regulam a RN nas plantas estão a concentração do nitrato, a luz, os carboidratos que atuam em nível de transcrição e tradução (Taíz & Zaiger, 2004). A atuação da luz e dos carboidratos se dá pela estimulação da proteína fosfatase, que desfosforila vários resíduos de serina da proteína RN, promovendo sua ativação.

O nitrito é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico (Taíz & Zaiger, 2004). Ele afirma que nas células vegetais, o nitrito originado pela redução do nitrato é transportado rapidamente do citosol para o interior dos cloroplastos nas folhas ou nos plastídeos da raiz. Nessas organelas, a enzima nitrito redutase reduz o nitrito a amônio.

Já o amônio, absorvido pela raiz ou produzido pela assimilação do nitrato ou da fotorrespiração, é convertido a glutamina e glutamato pelas ações sequenciais das enzimas glutamina sintase e glutamato sintase. Estas estão localizadas no citosol e nos plastídeos das raízes ou dos cloroplastos. Uma vez assimilado em glutamina ou glutamato, o nitrogênio pode ser transferido para muitos outros compostos orgânicos através de diversas reações, incluindo a de transaminação.

### **2.3 Acúmulo de N**

De acordo com Malavolta (1993), a quantidade de nitrogênio requerida para um desenvolvimento adequado da planta varia entre 2 e 5% da massa seca da planta e é dependente da espécie, do estágio de desenvolvimento e órgão da planta. Quando ocorre deficiência, o crescimento é retardado e o nitrogênio é mobilizado nas folhas maduras e retranslocado para as áreas de crescimento. Um aumento nas fontes de N não apenas reduz a senescência e estimula o crescimento, mas também, é responsável por diferenciações morfológicas típicas de cada planta.

A importância da nutrição nitrogenada do cafeeiro é evidenciada por ele, não só pelo desenvolvimento rápido da planta e pelo aumento da ramificação de galhos produtivos, mas também pela formação abundante de folhas verdes.

A análise das partes constituintes do cafeeiro, especialmente folhas e frutos, revela uma elevada exigência em nitrogênio e potássio (Malavolta, 1993). Dados obtidos do cultivo do cafeeiro em solução nutritiva, no período da pré-

floração até a metade do crescimento do fruto, revelam que as plantas de café absorvem 60% do nitrogênio total consumido no ano agrícola.

A quantidade de nitrogênio mensalmente retirada pelo cafeeiro com mais de três anos de idade e presente nas partes vegetativas, é de 3,0 a 3,5 Kg ha<sup>-1</sup> (de dezembro a março) e ao redor de 2,0 Kg ha<sup>-1</sup> nos demais meses (Kupper, 1976), sendo que nos dois a três meses de menores valores de temperatura média durante o período seco, a retenção de nitrogênio é de aproximadamente 0,5 Kg ha<sup>-1</sup>.

O efeito de fertilizantes nitrogenados na formação de mudas de cafeeiro foi estudado por Sant'Ana & Pedroso (1976). Eles mostraram que a adubação com doses crescentes de fertilizantes provocou aumento da massa fresca das raízes. Da mesma forma, Haag & Malavolta (1960) verificaram aumento do peso seco das folhas, do caule e do número de folhas, em função do incremento de N.

#### **2.4 Fertilizantes nitrogenados**

Segundo Contin (2007), a amônia, é o composto chave de produção de quase todos os adubos nitrogenados do comércio mundial. É produzida em uma reação isotérmica com consumo de grande quantidade de energia, utilizando como matéria prima o N do ar e o hidrogênio oriundo de diferentes fontes. No Brasil, dentre as diferentes fontes de nitrogênio existentes, a uréia, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio são as mais utilizadas na agricultura. Como características comuns apresentam alta solubilidade em água e pronta disponibilidade para a planta.

O sulfato de amônio apesar de apresentar reação fortemente ácida no solo e apenas 21% de N em sua constituição, tem como vantagens sua baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas, estabilidade química e oferta de

enxofre (24%). Considerando os aspectos de transporte e aplicação seu custo por unidade de N acaba sendo maior em relação à uréia (Byrnes, 2000).

O nitrato de amônio contém ao mesmo tempo duas formas de nitrogênio, a nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) e a amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), totalizando 32% de nitrogênio. Entretanto, este fertilizante tem regulamentações e restrições crescentes quanto à fabricação, estocagem e transporte devido à possibilidade de seu emprego como explosivo, que pode eventualmente afetar sua utilização na agricultura (Van Raij, 1991).

O sulfato de amônio e o nitrato de amônio que contém N amoniacal, aplicados em solos com pH inferior a 7,0, não liberam N por volatilização, pois não favorecem o aumento do pH no local onde são aplicados, mesmo quando aplicados sobre restos de cultura. O Brasil possui a maioria dos solos de característica ácida e também, por isso, as perdas com tais fertilizantes são pouco relevantes (Terman, 1979). Cantarella et al. (1999) e Freney et al. (1992) verificaram que quando o nitrato de amônio e sulfato de amônio foram utilizados em cobertura para a cana de açúcar, houve perdas de apenas 1,8% pela volatilização.

A uréia é caracterizada por ser um dos fertilizantes sólidos granulados de maior concentração de N (45%) na forma amídica. Devido às vantagens do baixo custo de transporte, uma vez que apresenta alta concentração de N, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes, corresponde a 60% do nitrogênio empregado na agricultura do Brasil. Porém, tem como desvantagens, a elevada higroscopicidade e maior susceptibilidade à volatilização, quando aplicada superficialmente. A mistura de uréia com sulfato de amônio apresenta boa eficiência agrônômica, com menores taxas de volatilização devido a menor quantidade de uréia, bem como pelo efeito acidificante do sulfato de amônio (Vitti et al., 2001).

O uran é produzido a partir de uma mistura líquida, sem processo de granulação. A solução resultante apresenta maior concentração de N do que as soluções saturadas de seus componentes individuais. Quando aplicado ao solo, o uran torna-se sujeito a processos de transformação habituais do N, incluindo a volatilização do N da uréia (Achorn, 2000).

### **2.5 Perdas de N por volatilização e lixiviação**

Grande quantidade de N aplicada em superfície pode ser perdida do solo por volatilização. Resultante do equilíbrio entre  $\text{NH}_3$  na fase gasosa e de solução, a volatilização é um processo físico acompanhado de reações químicas que provoca perdas elevadas no uso da uréia. As perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização em ecossistemas agrícolas são resultantes da interação entre fatores de manejo, de solo e clima. Dentre os fatores de manejo destacam-se a localização do adubo no solo, as doses de fertilizante fornecidas e a presença ou não de resíduos vegetais sobre a superfície do solo (Contin, 2007).

Durante o contato com a urease presente no solo e em resíduos vegetais, a uréia é hidrolizada, produzindo carbonato de amônio,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . O acúmulo de carbonato de amônio causa aumento no pH e esse evento é acompanhado pela volatilização de N na forma de  $\text{NH}_3$  (Melgar et al., 1999).

A urease é uma enzima que catalisa a hidrólise da uréia para dióxido de carbono e amônia, afetando a utilização desse importante fertilizante nitrogenado. Sua ocorrência é grande em plantas e microorganismos (particularmente as bactérias) e tem sido detectadas em alguns animais. Dentre os fatores que influem na atividade enzimática da urease estão a sua concentração no substrato, o nível de umidade, a temperatura e o pH do solo (Santos et al., 1991).

Terman (1979), ao aplicar a uréia em cana, em cobertura de pós-plantio, constatou perdas de 50 % do N fornecido. Além disto, tem-se verificado que, na

maioria das vezes, maiores doses do adubo resultam em perdas mais elevadas de amônia por volatilização (Trivelin et al., 1994). Isto se deve à reação inicial da uréia que leva o pH do solo próximo a 9 nas imediações dos grânulos desse fertilizante, e intensificam a volatilização de  $\text{NH}_3$ . As perdas pela volatilização resultam em redução da produtividade e poluição atmosférica.

Em função da grande influência dos fatores abióticos na volatilização de N, os efeitos da cobertura de solo sobre a volatilização de amônia resultam em diferentes índices de perdas. Anjos & Tedesco (1976) em trabalhos sob diferentes condições, mostraram que em algumas situações as perdas aumentaram, e em outras, as perdas com cobertura vegetal não diferiram das do solo descoberto. É comprovado que a cobertura vegetal promove uma redução na evaporação de água o que aumenta a atividade da enzima urease. Além disso, a baixa capacidade de retenção de  $\text{NH}_3$  nos resíduos vegetais é um fator que contribui para o incremento das perdas desse gás (Freney et al., 1992). Em condições de campo, a aplicação de uréia sobre palhada de cana tem mostrado perdas de N superiores a 40% do N aplicado (Cantarella et al., 1999). A aplicação de fonte amídica sobre os restos culturais da cana-soca, associada à concentração do fertilizante, baixa precipitação e à temperatura elevada, são condições onde a palhada contribui significativamente para elevadas perdas de N por volatilização. Trivelin et al. (2002) constataram que a aplicação de uréia sobre a palhada da cana-de-açúcar proporcionou uma recuperação de cerca de 9% (49% no sistema solo-planta) do nitrogênio. Quando a uréia foi aplicada sobre o solo sem palhada a recuperação de nitrogênio pela planta de cana-de-açúcar atingiu valores próximos a 30% (57% no sistema solo-planta).

Além destes aspectos, a presença de material vegetal sobre o solo favorece a atividade microbiana e o aumento da CTC. Desta forma tem-se maior atividade da urease na hidrólise da uréia, favorecendo a volatilização de  $\text{NH}_3$  (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Dentre os diversos fatores ambientais que interagem no processo de volatilização de amônia, o tipo de solo, a temperatura e a precipitação pluviométrica são consideradas variáveis importantes no que se refere às perdas de  $\text{NH}_3$  (Ligthner et al., 1990).

O solo tem como características que mais influenciam nas perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização o pH, a capacidade de troca catiônica, o poder tampão, os teores de carbonato de cálcio e de matéria orgânica do solo (Corsi, 1994). O pH altera o equilíbrio de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NH}_3$  na solução de solo. O aumento do pH, aumenta a concentração relativa de amônia e seu potencial de volatilização (Trivelin et al., 1994). No caso da CTC, quanto maior o seu valor, menor a concentração de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo, e portanto, menores perdas por volatilização.

Aumentos na temperatura favorecem o aumento das perdas por volatilização, devido à elevação na proporção de  $\text{NH}_3$  na solução do solo em relação à  $\text{NH}_4^+$ , à diminuição da solubilidade de amônia, ao aumento da atividade da urease e ao aumento das taxas de evaporação (Trivelin et al., 1994).

Com relação a precipitação, as águas das chuvas proporcionam o movimento do adubo para camadas mais profundas no perfil do solo, reduzindo a volatilização. Entretanto, se a quantidade de chuva for insuficiente para que ocorra o movimento do adubo, pode ocorrer a sua dissolução apenas na camada superficial do solo, potencializando as perdas de amônia (Freney et al., 1992).

Quando se aplica a uréia no solo ocorre sua hidrólise, elevando o pH ao redor dos grânulos, ocasionando volatilização de amônia. Isto ocorre, principalmente, se ela for aplicada em superfície, sem incorporação, e se as condições térmicas e hídricas forem favoráveis. A incorporação da uréia reduz a volatilização de amônio devido ao aumento do contato do grânulo ao solo, favorecendo a adsorção de  $\text{NH}_4^+$  às cargas negativas. A quantidade de N perdido

por volatilização, após a aplicação de uréia em superfície, pode atingir valores extremos de até 78% do N aplicado (Lara Cabezas et al., 1997).

A prática de incorporação de fontes nitrogenadas mais susceptíveis às perdas de amônia possibilita considerável redução na volatilização (Cantarella et al., 1999). Camargo et al. (1989) não observou perdas de amônia provenientes da uréia e aquamônia quando estas foram aplicadas em sulcos, na profundidade de 25 cm. Vitti et al. (2001) encontraram recuperações de 19, 23 e 27% para a uréia, nitrato de potássio e sulfato de amônio, respectivamente, na aplicação de adubos à 10 cm de profundidade, e quando comparadas à aplicação superficial, mostraram maiores recuperações.

A mistura de uréia com outros fertilizantes nitrogenados consiste em outra alternativa para reduzir as perdas de N por volatilização. Vitti et al. (2001) verificaram que a mistura de uréia com sulfato de amônio nas proporções de 1:1 reduziu as perdas de N por volatilização em função da menor quantidade de uréia, bem como pelo efeito acidificante do sulfato de amônio, que diminui o efeito local da elevação do pH provocado pela hidrólise da uréia. Formulações líquidas, tais como o uran e soluções de uréia, quando aplicadas em faixas podem ter menores perdas de  $\text{NH}_3$ , pois ocorre uma ligeira incorporação ao solo do fertilizante e, em alguns casos, a saturação da urease na região de aplicação. Soluções amoniacais, como a aquamônia e amônia anidra, quando incorporadas ao solo têm eficiência comparada às demais fontes de nitrogênio, e são alternativas com preços competitivos no mercado, entretanto pouca tem sido a oferta destes produtos no mercado (Trivelin et al., 1994).

Trivelin et al. (1994) observaram que a acidez da vinhaça pode ser usada para neutralizar a alcalinidade de soluções amoniacais, permitindo que o produto seja aplicado em superfície. As perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  da mistura de vinhaça e aquamônia aplicada sobre palha de cana (5 a 7% do N aplicado) foram inferiores às encontradas com a adição de solução de uréia sobre a palha (11%).

Com o objetivo de retardar a hidrólise da uréia e conseqüentes perdas por volatilização, compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido testados.

O nitrogênio pode também ser perdido por drenagem para as camadas mais profundas de solos sem restrição de oxigênio, em função da predominância de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a adsorção eletrostática do  $\text{NO}_3^-$  é pequena, sendo este considerado a forma mais móvel no solo e a mais disponível para as plantas. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (Sangoy et al., 2003).

A quantidade de  $\text{N-NO}_3^-$  no perfil, susceptível a perda, é muito variável, dependendo da quantidade de nitrogênio adicionado, do tipo de adubo, da taxa de mineralização do nitrogênio nativo, da remoção pelas colheitas, do tipo de cultura e do volume de água drenada, fatores estes afetados significativamente pelas propriedades do solo e pelo clima (Reichardt & Timm, 2004).

Solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de nitrogênio, principalmente na forma de  $\text{NH}_4^+$ , do que solos arenosos. A maior capacidade de armazenamento de água de solos argilosos reduz a percolação de água pelo perfil, e, com isso o arraste de nitrato para camadas inferiores do solo (Camargo et al., 1989; Bertolini, 2000).

## **2.6 Inibidor de urease**

O inibidor de urease atua reduzindo a velocidade da hidrólise da uréia. Além disto, favorece o transporte do  $\text{NH}_3$  a horizontes mais profundos, devido a uma redução do pico de alcalinização, e ampliação do tempo de deslocamento deste íon no perfil do solo (Contim, 2007).

Durante o tempo em que o inibidor estiver aderido a uréia, ele promove a ocupação do local de ação da urease não permitindo sua ação (Mobley & Hausinger, 1989; Kolodziej, 1994). Desta forma retarda-se o início e reduz-se a velocidade de volatilização de  $\text{NH}_3$ . Este atraso promovido na hidrólise da uréia, resulta numa menor concentração de  $\text{NH}_3$  na superfície do solo, reduzindo o potencial de volatilização, proporcionando o transporte de uréia a camadas mais profundas do perfil do solo (Christianson et al., 1990).

Em pesquisas realizadas com diferentes inibidores de urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) vem proporcionando redução de perdas de N em diferentes culturas e condições (Bremmer & Chay, 1986; Schlegel et al., 1986; Beirouty et al., 1988; Watson, 2000). Este já se encontra amplamente difundido na área comercial em uma formulação para mistura com a uréia.

A redução da atividade da urease é diretamente proporcional à quantidade empregada do inibidor. Christianson et al. (1990) constataram 68% de inibição na hidrólise da uréia com 0,01 g de NBPT / kg de uréia, e 1,5 a 3 vezes menos perdas de  $\text{NH}_3$  quando o valor foi aumentado para 1g de NBPT / kg de uréia.

Em um trabalho visando estudar a velocidade de hidrólise da uréia na presença de NBPT, Vittori et al. (1996) determinaram uma relação inversa entre a concentração do inibidor e a velocidade de reação de hidrólise, volatilização de  $\text{NH}_3$  e mineralização de N.

Estudo com o inibidor em diferentes dosagens, variando de 0 a 0,15%, aplicadas em solos de texturas arenosa e argilosa, mostraram perdas de  $\text{NH}_3$  variando de 28% a 88%, inversamente proporcionais à dose do inibidor, sendo as maiores perdas ocorridas em solos de textura arenosa (Rawluk et al., 2001). Vale ressaltar que o NBPT não tem mostrado efeito sobre as propriedades biológicas do solo (Banerjee et al., 1999).

Na aplicação de uréia em cultivos de cana, altos índices de perdas de N são registrados quando não se faz a despalha pela queima. Nestas condições Cantarella et al. (2002) registraram reduções de perda da ordem de 50% de N-NH<sub>3</sub> pelo uso de NBPT. Entretanto, o uso de NBPT associado a uréia não proporcionou incremento no rendimento de colmos. Os efeitos proporcionados pelo uso do NBPT são variáveis em função de diferentes fatores, e não se pode afirmar que a redução das perdas serão convertidas em produção (Hendrikson, 1992; Watson et al., 1998).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Experimento em casa de vegetação**

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Fundação Procafé/ MAPA em Varginha, região Sul de Minas Gerais, durante os anos de 2005 e 2006. Em casa de vegetação, mudas da cultivar Acaiá IAC 474-19 foram plantadas em vasos de plástico com capacidade de dez litros, dispostos em bancadas a 1,2 metro de altura. A casa de vegetação possui a lateral vazada feita com tela de aço sobre uma parede cimentada de 1,2 metros de altura, pé direito com 3,5 metros, e cobertura com telhas de fibra de vidro transparente. O piso é todo cimentado nas áreas de circulação, com brita de granito sob as bancadas.

As mudas utilizadas no ensaio foram obtidas a partir da semeadura em substrato, com areia peneirada e lavada. Quando as mudas atingiram o estágio fenológico de terceiro par de folhas verdadeiras (15/10/2005), foram transplantadas para os vasos, após a lavagem e poda da região apical do sistema radicular, para garantir um bom pegamento das mesmas. Em cada vaso foram transplantadas quatro mudas e após sete dias foi realizado um desbaste, mantendo-se três plantas por vaso.

Para formulação do substrato de preenchimento dos vasos, foi utilizado solo da camada sub-superficial peneirado, misturado com 4 kg de superfosfato simples e 1 kg de cloreto de potássio para cada 1.000 litros de solo (Matiello et al., 2005). Não foi adicionado material orgânico, objetivando eliminar a fonte de nitrogênio do composto. Os micronutrientes zinco e boro foram fornecidos via foliar, conforme as recomendações de Matiello et al. (2005). Durante a condução do ensaio promoveu-se um constante monitoramento de pragas e doenças, com retirada de plantas daninhas para evitar a competição com os cafeeiros. Até a aplicação dos tratamentos, o fornecimento de água foi realizado com turno de rega de três dias na fase inicial após o pegamento das mudas, e diário quando as plantas já estavam mais desenvolvidas.

Os tratamentos consistiram da combinação de três fatores: doses de N, fertilizantes nitrogenados e irrigação. Foram utilizadas 0,9; 1,8 e 3,6 g de N por vaso parceladas em duas aplicações, sendo a uréia a fonte de N, associada ou não ao inibidor de urease (NBPT = N-(n-butil) tiofosfórico triamida). A formulação comercial contendo o NBPT recebe o nome Super N. O primeiro parcelamento do adubo foi realizado 20 dias após o transplante da muda para o vaso e o segundo, 60 dias após a primeira aplicação. A distribuição dos grânulos dentro dos vasos foi feita a cinco cm do colo das plantas, de maneira que o adubo não entrasse em contato com as mesmas.

Foi realizada a irrigação antes ou após cada parcelamento da adubação. A testemunha não recebeu adubação nitrogenada, e dois tratamentos foram adicionados: aplicação da uréia realizada em dose única de 7,2 g N/ vaso, com ou sem a adição do inibidor de urease. A uréia foi obtida em uma indústria onde a mistura com o inibidor de urease foi realizada. As fontes contendo ou não o NBPT, apresentavam, 43,5 % de N.

A irrigação antes ou após a aplicação do adubo foi realizada da seguinte maneira: a) os tratamentos que receberam água logo após a cobertura foram

conduzidos com turno de rega normal, a cada três dias no início e depois diário quando as mudas estavam mais desenvolvidas ; b) os tratamentos onde a água foi fornecida dois dias antes do fertilizante, os vasos foram saturados com água e então permaneceram por um período de sete dias sem irrigação. Este processo visou simular condições em que as perdas de nitrogênio por volatilização ocorrem em maior intensidade.

As características avaliadas no ensaio foram: massa seca total (MS), análise mineral de toda a planta (% nutrientes) e nitrogênio mobilizado (%N x MS). As avaliações foram realizadas em única época, quatro meses após a segunda aplicação dos fertilizantes.

As plantas foram retiradas dos vasos, e com o auxílio de água corrente, a parte aérea e o sistema radicular foram cuidadosamente lavados sob peneiras para evitar a perda de material vegetal. Após o processo de lavagem, as plantas foram mantidas à sombra e posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Análises Químicas da Fundação Procafé para realização da análise mineral. As plantas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à 70°C, até peso constante, e posteriormente pesadas em balança eletrônica para determinação da MS. O material vegetal foi moído e homogeneizado em um refratário de inox, de onde se retirou uma amostra para a realização da análise mineral.

O experimento foi instalado no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com três repetições. Cada parcela experimental foi constituída de quatro vasos com três plantas cada. As comparações foram feitas pelo teste Fisher para os fatores fertilizantes nitrogenados e formas de irrigação, e pela regressão para o fator doses. Sendo que na análise de variância foi incluso o contraste entre a testemunha e o fatorial. A análise estatística foi realizada com o auxílio do programa Sisvar (Sistema de Análise de Variância), versão 4.0 (Ferreira, 2000). Adotou-se o nível de significância de 5% de probabilidade.

### 3.2 Experimentos em campo

Dois experimentos foram instalados em 2006 no campo experimental da Fundação Procafé, situado no município de Boa Esperança, região sul do estado de Minas Gerais. A região, com altitude entre 795 e 963 metros, possui clima mesotérmico, segundo a classificação de Köppen, apresentando verões brandos e chuvosos (Cwb), com médias anuais de 19,3°C, com máximas de 27,8°C e mínimas de 13,5°C. A precipitação média é da ordem de 1.658 mm, estando 65% a 70% desse total, concentrados de dezembro a março. O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Escuro distrófico, com 45% de argila, 15% de silte e 40% de areia.

O terreno foi arado em dezembro de 2005, incorporando a dose recomendada de calcário, a uma profundidade de 40 centímetros. Posteriormente, o terreno foi sulcado e adubado com 300g de superfosfato simples por metro de sulco.

Mudas da cultivar Mundo Novo IAC 376-4 no estágio fenológico de 4º par de folhas, foram plantadas em 15 de fevereiro de 2006, no espaçamento 3,70 x 0,70 m. Os meses seguintes foram caracterizados por períodos com baixos índices de precipitação, sendo necessário o fornecimento de água com a ajuda de um tanque do tipo chorumeira.

No primeiro ensaio foram avaliadas três doses de N na forma de uréia (2; 4 e 8 g de N por planta) parceladas em três aplicações, na presença e na ausência de NBPT (uréia e uréia + NBPT). Todos os tratamentos receberam 4,8 g de K<sub>2</sub>O, parcelado nas duas primeiras coberturas, logo após a uréia

O parcelamento foi realizado da seguinte forma: 20 dias após o plantio, 30 dias após a primeira aplicação e 25 dias após a segunda.

As avaliações foram realizadas cinco meses após a última aplicação dos fertilizantes com determinação da altura de plantas, sendo a distância do colo á

gema apical da planta, e do número total de ramos plagiotrópicos emitidos pela planta.

No segundo ensaio foi avaliado o efeito do número de parcelamentos (1, 2 e 3 vezes) dos dois tipos de fertilizante (uréia e uréia + NBPT). Foi fornecido uma dose total de 4 g de N e 4,8 g de  $K_2O$  por planta. Os dois ensaios foram acrescidos de um tratamento adicional sem adubação nitrogenada (testemunha).

Os fertilizantes foram aplicados 20 dias após plantio, 30 dias após a primeira e 25 dias após a segunda aplicação. Foi utilizado a mesma fonte de N do primeiro ensaio (uréia), com ou sem a adição do NBPT.

Da mesma forma que no primeiro ensaio, as avaliações foram realizadas cinco meses após a última aplicação dos fertilizantes, com determinação da altura de plantas, pela distância do colo a gema apical da planta, e do número total de ramos plagiotrópicos emitidos pela planta.

Os dois experimentos foram instalados em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com quatro repetições. A parcela experimental com 24 plantas foi constituída de três linhas com oito plantas cada, sendo apenas as seis plantas centrais, consideradas úteis para avaliação (Figura 1).

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa Sisvar (Sistema de Análise de Variância), versão 4.0 (Ferreira, 2000). Adotou-se a significância de 5% de probabilidade, pelo teste de F, conforme Banzatto & Kronka (1995). As comparações foram feitas pelo teste Fisher para o fator fertilizantes nitrogenados, e regressão para os fatores doses e parcelamentos. A análise de variância foi ainda acrescida de um contraste entre a testemunha e o fatorial.

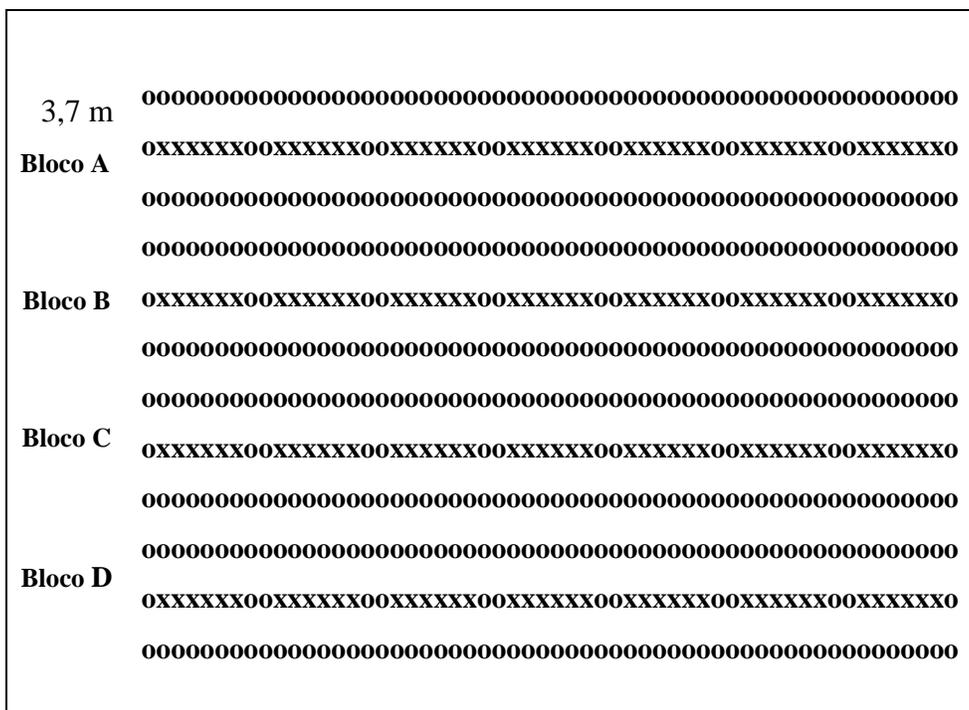


FIGURA 1. Croqui dos ensaios de campo de Boa Esperança, sendo: x – as plantas úteis, o – bordadura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento em casa de vegetação

Pela análise de variância (Tabela 1) foi verificada diferença significativa entre os tratamentos apenas quando foram avaliados os efeitos isolados para dose e fertilizante. Foi constatado um incremento significativo na massa seca (MS) e no nitrogênio mobilizado das plantas, quando foi utilizada a uréia associada ao inibidor de urease NBPT. Não houve efeito sobre o acúmulo de MS e N mobilizado quando o fornecimento de água foi realizado antes ou após a

aplicação do adubo (Tabela 1). Já para a variável dose, o acúmulo de matéria seca e N mobilizado foram crescentes, com o aumento da dose de N fornecida. A adubação com uréia associada ao inibidor de urease aumentou a massa seca e o nitrogênio mobilizado pelas plantas.

TABELA 1 Resumo da análise de variância para diferentes fontes, doses de N e fornecimento de água para cafeeiros cultivados em vasos. Lavras, 2008.

Fontes de Variação	G.L.	Teste de Fisher	
		Matéria seca	Nitrogênio mobilizado
(Tratamentos)	(12)	(8,01 <sup>**</sup> )	(11,81 <sup>**</sup> )
Fertilizante nitrogenado(F)	1	8,85 <sup>**</sup>	17,78 <sup>**</sup>
Dose (D)	2	8,92 <sup>**</sup>	35,83 <sup>**</sup>
Irrigação (I)	1	1,28	0,00
F x D	2	0,82	1,69
D x I	2	1,36	0,34
I x F	1	0,53	0,45
I x F x D (fatorial)	2	1,18	1,81
Testemunha x fatorial	1	60,90 <sup>*</sup>	44,12 <sup>**</sup>
Erro	26		
CV:		17,5	22,75

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Fisher

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste Fisher

A massa seca das plantas foi tanto maior quanto maior a dose de fertilizante aplicada. O modelo ajustado para o incremento de 0,9 a 3,6 g de N por vaso, foi linear, com um  $R^2$  de 89,9% (Figura 2).

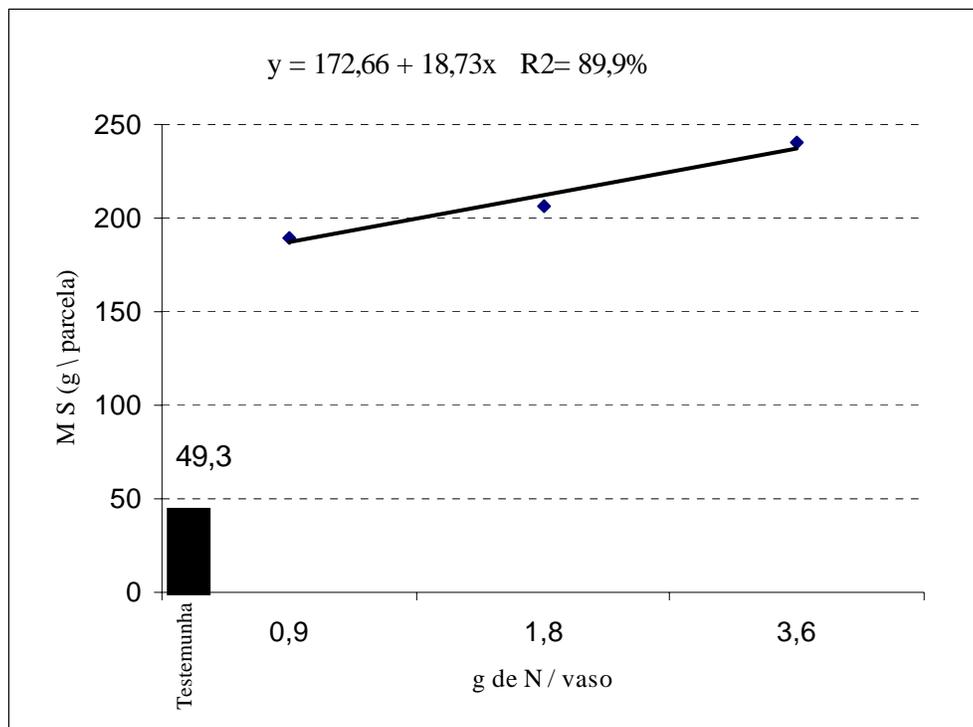


FIGURA 2 Massa seca (MS) de mudas de cafeeiro Acaiá IAC 474-19 adubadas com diferentes doses de nitrogênio. Lavras, 2008.

Assim como foi observado por Haag e Malavolta (1960) em plantas conduzidas em solução nutritiva, o fornecimento de nitrogênio proporcionou respostas significativas na produção de MS, evidenciando a sua importância na formação de biomassa. Independente da associação do inibidor de urease ao

adubo, o a função representada pela produção de massa seca foi crescente em função da dose de N fornecida (Figura 2). Entretanto, não foi constatada diferença significativa entre as doses de 1,8 e 3,6 g N/ vaso. Esta tendência pode estar ligada ao consumo de luxo da planta. O qual é caracterizado pelo ponto a partir do qual o aumento de N absorvido não resultará em incremento no desenvolvimento da planta (Malavolta et al., 1981).

A quantidade de nitrogênio mobilizado pelas plantas foi tanto maior quanto maior a dose de fertilizante aplicada. O modelo ajustado para o incremento de 0,9 a 3,6 g de N por vaso, foi linear, com um  $R^2$  de 96,8% (Figura 3).

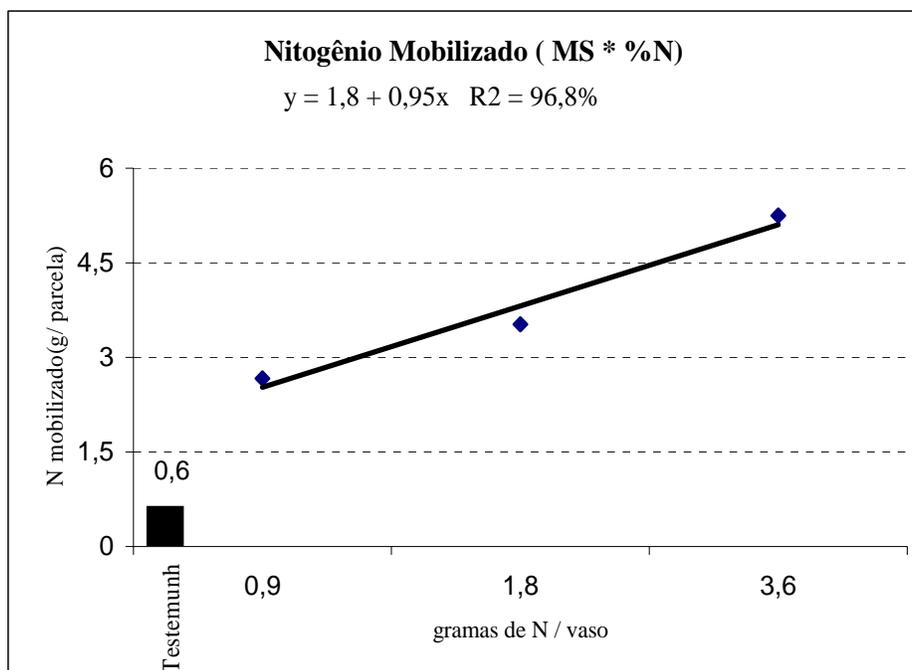


FIGURA 3 Nitrogênio mobilizado (MS x %N) em mudas de cafeeiro Acaiá IAC 474-19 adubadas com diferentes doses de nitrogênio. Lavras, 2008.

A testemunha apresentou menores teores de matéria seca e N mobilizado quando comparada aos tratamentos que receberam o N. A deficiência de N acentuada, foi observada pela clorose e queda das folhas com baixo desenvolvimento de plantas da testemunha (Figura 4). O valor da matéria seca destas foi de apenas 49g, sendo equivalente a 25% do total de 190g acumulado pelas plantas que receberam 0,9 g de N por vaso, e 20% daquelas que receberam 3,6 g de N por vaso (Figura 2). O porte reduzido das plantas é resultado da deficiência de nitrogênio. O N é um constituinte importante para a célula vegetal, pois participa de aminoácidos e de ácidos nucléicos, e sua

deficiência rapidamente inibe o crescimento vegetal. Já a clorose das folhas é reflexo da degradação da clorofila, ocorrendo um predomínio dos carotenóides, pigmentos de coloração amarelada que antes eram mascarados pela clorofila (Taiz & Zeiger, 2004). Este sintoma pôde também ser observado, porém em menor intensidade, nos tratamentos que receberam 1,8 g de N/ vaso.



FIGURA 4 Clorose, queda de folhas e reduzido porte de plantas com deficiência de N na testemunha (A), em comparação com as plantas que receberam 3,6 g de N + inibidor de urease (B). Lavras, 2008.

Assim como o observado para o acúmulo de matéria seca, o nitrogênio mobilizado pelas plantas da testemunha foi de 0,6g por parcela, o equivalente a 23% do acumulado pelas plantas que receberam 0,9 g de N por vaso, e apenas 11% das plantas adubadas com 3,6 g de N por vaso (Figura 3).

Pelos valores médios de matéria seca e do nitrogênio mobilizado pelas plantas, verifica-se que os tratamentos que receberam o fertilizante

com o inibidor de urease, foram superiores aos tratamentos que receberam somente uréia (Tabela 2). O teor de N médio detectado pela análise foliar foi de 1,72 % para as plantas adubadas somente com uréia, e 2,05 % para as plantas que receberam este adubo associado ao inibidor de urease. Houve um aumento de 17,7% na massa seca das plantas adubadas com uréia mais inibidor e um aumento de 32% no nitrogênio mobilizado por elas (Tabela 2). Estes incrementos foram calculados pelos incrementos ocorridos com adição de NBPT, considerando os valores respectivos à uréia como 100%. Provavelmente, estes ganhos são devido à redução de perdas de N por volatilização, já que este inibidor reduz a velocidade de hidrólise da uréia, possibilitando um maior aproveitamento do nitrogênio. Além disto, também favorece uma menor concentração de  $N-NH_3$  na superfície do solo e reduz o potencial de volatilização do N, proporcionando o transporte de uréia para camadas mais profundas no perfil do solo (Christianson et al., 1990).

TABELA 2 Efeito do NBPT associado à uréia sobre a matéria seca e N mobilizado em de cafeeiros da cultivar Acaia IAC 474-19. Lavras, 2008.

Fontes	Massa seca (MS) (g)	N mobilizado (MS x %N) (g)
Uréia	198,7 b	3,43 b
Uréia + inibidor de uréase	234,0 a	4,54 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Fisher, ao nível de 5% de probabilidade.

Além de ser essencial às funções vitais na planta, a água é de fundamental importância para o transporte de nutrientes no sistema solo-planta. Grandes quantidades de chuvas após a aplicação da uréia proporcionam o movimento do adubo para camadas mais profundas no perfil do solo, reduzindo as perdas de nitrogênio pela volatilização. Por outro lado, se a quantidade de chuvas for insuficiente para a solubilização completa do adubo, pode ocorrer a sua dissolução parcial na superfície do solo potencializando as perdas do N na forma amônia (Freney et al., 1992).

Independentemente das fontes e doses do fertilizante, o fornecimento de água, antes ou logo após a aplicação do adubo nitrogenado não influenciou, significativamente, a massa seca e o nitrogênio mobilizado pelas plantas (Tabela 3). Isto pode ter ocorrido em função da ausência de material vegetal sobre o solo possibilitando o contato direto do grânulo com o solo. Neste caso, a umidade ainda existente no solo dos vasos, dois dias após o corte da irrigação, parece ter sido suficiente para promover a difusão dos fertilizantes aplicados em cobertura.

TABELA 3 Efeito do modo de irrigação sobre a massa seca e N mobilizado em mudas de cafeeiro Acaiá IAC 474-19. Lavras, 2008.

Modos de irrigação	Massa seca (MS) (g / parcela)	N mobilizado (MS*%N) (g / parcela)
Antes da adubação com N	223,6	4,03
Logo após a adubação com N	209,6	4,04

A aplicação de 7,2 g de N em dose única realizada nos tratamentos adicionais provocou queima, com escurecimento da região do colo e das folhas mais baixas, resultando na morte das plantas. Quando foi aplicado apenas a uréia, as plantas morreram após 24 horas (Figura 5). Por outro lado, a uréia associada ao inibidor, apesar de também ter provocado a morte das plantas, isto foi iniciado seis dias após a aplicação desta fonte de N, em mais da metade das plantas da parcela, de maneira aleatória. De acordo com Byrnes (2000), o NBPT ocupa o local de atuação da urease e inativa esta enzima, retardando o início e a velocidade da dissociação da uréia. Este atraso, provavelmente, foi o responsável pela morte de menor número de plantas somente após seis dias da aplicação da uréia + NBPT, pois a solubilização mais lenta do adubo deve ter propiciado uma concentração menor de N na solução de solo.



FIGURA 5 Início da morte de plantas após fornecimento de 7,2 g de N em dose única (A), e morte total das plantas que receberam uréia sem adição do inibidor (B). Lavras, 2008.

#### 4.2 Experimentos de campo

Ao longo do ano de 2007 a distribuição das chuvas ocorreu de maneira irregular (Figura 6). Em janeiro foram registrados 437 mm de precipitação, correspondendo à quase o dobro dos 270 mm da média histórica referente a este mês. Nos meses seguintes foram registrados índices bem abaixo da média histórica, com um balanço desfavorável no armazenamento de água no solo. Até o início de outubro de 2007 o volume de chuvas ocorrido não havia sido suficiente para repor a água ao solo e registrou-se um déficit hídrico no solo de aproximadamente 550mm. ([www.fundacaoprocafe.com.br](http://www.fundacaoprocafe.com.br), 2007). Este valor de déficit foi superior aos limites tolerados pelo cafeeiro, próximos de 150 mm, e que são suficientes para provocar sérios problemas para o desenvolvimento das plantas de café (Camargo, 1977).

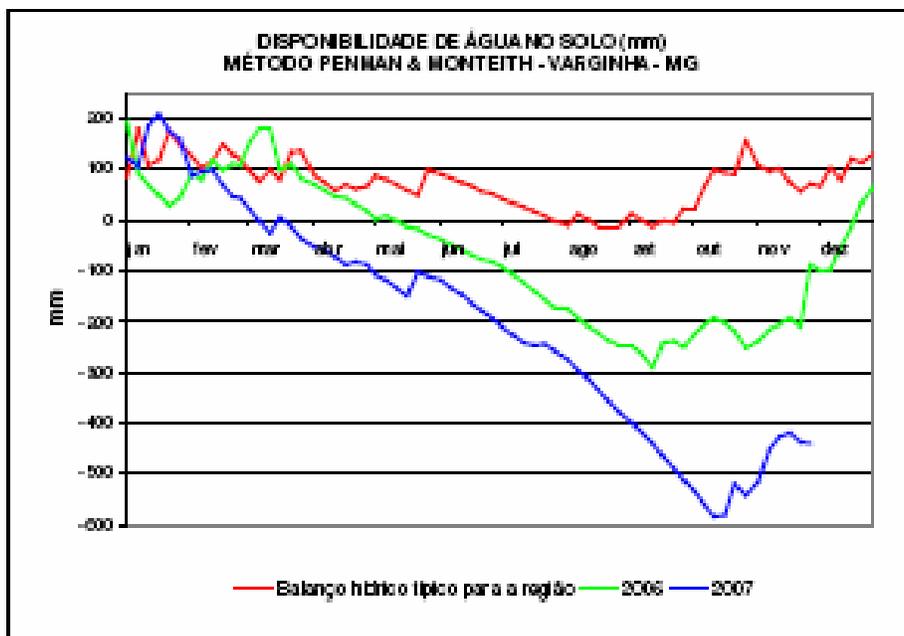


FIGURA 6 Balanços hídricos típico e ocorridos em 2006 e 2007, na região de Varginha, segundo a metodologia de Penman & Monteith. Varginha, 2008. Fonte: Fundação Procafé (2007)

O experimento instalado no campo em 2006, apresentou um percentual de morte de plantas inferior a 1%, já que foi realizada suplementação de água após o plantio. No entanto, sendo a lavoura de sequeiro os déficits hídricos no solo observados em 2006 e 2007, foram determinantes para o comprometimento do desenvolvimento das plantas de café.

No ensaio fatorial de doses e fertilizantes nitrogenados, a adição do inibidor de urease NBPT à uréia não diferiu nos valores médios de altura de plantas e número de ramos plagiotrópicos, analisados (Tabela 4). As doses de

nitrogênio diferiram significativamente apenas para a variável altura das plantas. Não existiu interação significativa entre os fatores doses e fertilizantes. E o contraste entre a testemunha e o fatorial foi significativo somente para número de ramos plagiotrópicos.

TABELA 4 Resumo da análise de variância para fertilizantes nitrogenados e doses de N, aplicado em cafeeiros Mundo Novo IAC 376-4. Foram avaliados a altura e o número de ramos plagiotrópicos das plantas. Lavras, 2008.

Fontes de Variação	G.L.	Teste de Fisher	
		Altura de plantas	Nº ramos plagiotrópicos
Fertilizante nitrogendo (F)	1	0,86	0,09
Dose (D)	2	6,89**	0,98
F x D	2	0,08	1,18
Blocos	3	6,96**	1,34
Testemunha x Fatorial	1	2,09	9,31**
Erro	18		
CV:		6,94%	15,9%

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Fisher.

Os ramos plagiotrópicos do cafeeiro são de grande importância para o processo de frutificação, pois os frutos são formados pela diferenciação de gemas presentes em seus internódios (Malavolta, 1974). O desenvolvimento dos ramos plagiotrópicos é resultado do metabolismo de carboidratos, coordenado

pelos processos metabólicos e de transporte da planta. Um menor número de ramos plagiotrópicos foi observado na testemunha, comparado aos tratamentos que receberam as diferentes doses dos fertilizantes (Figura 7).

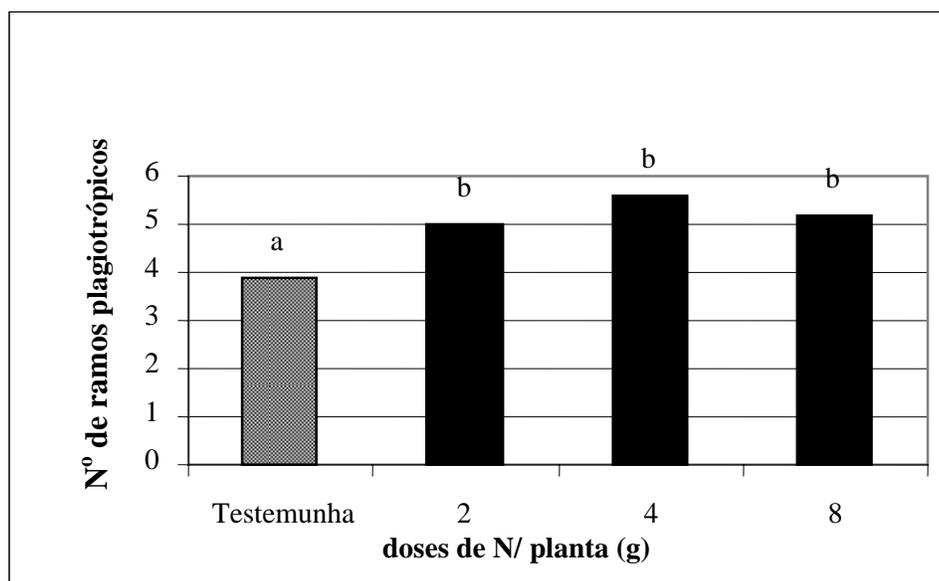


FIGURA 7 Efeito de doses de nitrogênio na formação de ramos plagiotrópicos em cafeeiros Mundo Novo IAC 376/4. Lavras, 2008.

A diferença constatada na altura das plantas em função da dose de N fornecida, mostrou que independentemente da fonte de nitrogênio aplicada, sendo uréia associada ou não ao inibidor de urease, ocorreu um maior desenvolvimento nas plantas que receberam duas e quatro gramas de nitrogênio (Figura 8). Observou-se, que as plantas que receberam oito gramas de N aparentaram um maior desenvolvimento do limbo foliar após o fornecimento da primeira parcela do N total. O maior consumo de água gerado a partir do

aumento da área foliar destas plantas, pode ter induzido um estresse mais severo afetando em seu crescimento.

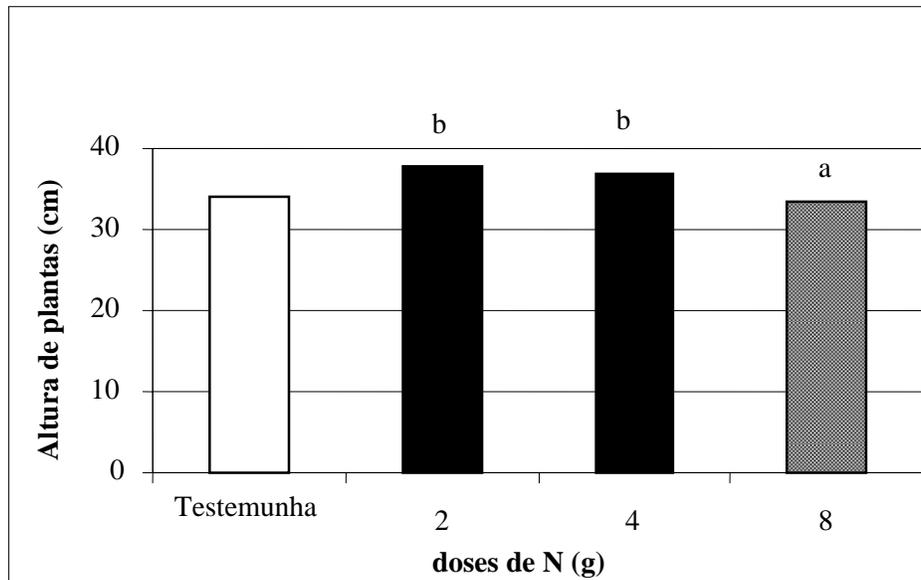


FIGURA 8. Efeito de doses de N, na altura de plantas da cultivar Mundo Novo IAC 376-4. Lavras, 2008.

No ensaio fatorial de fontes e parcelamentos de N, a associação ou não do inibidor de urease à uréia, não diferiu na altura das plantas e no número de ramos plagiotrópicos (Tabela 5). As médias dos valores observados para estes parâmetros, estão apresentadas na tabela 6. Não foi observado significância em nenhuma das duas variáveis avaliadas para as diferentes formas de parcelamento do N. A interação entre fontes e parcelamentos não foi significativa, e o

contraste entre a testemunha e o fatorial diferiu somente para número de ramos plagiotrópicos.

TABELA 5 Resumo da análise de variância para fontes e parcelamentos do adubo nitrogenado aplicado ao cafeeiro Mundo Novo IAC 376-4. Lavras, 2008.

Fontes de Variação	G.L.	Teste de Fisher	
		Altura de plantas	Nº ramos plagiotrópicos
Fertilizante nitrogenado(F)	1	0,18	3,34
Parcelamento (P)	2	2,14	0,51
F x P	2	0,47	0,51
blocos	3	9,07**	2,75
Fatorial x Testemunha	1	1,84	5,11*
Erro	18		
CV:		5,5	21,7

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Fisher

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Fisher

TABELA 6. Valores médios para a altura de plantas e número de ramos plagiotrópicos de cafeeiros Mundo Novo IAC 376-4, após a aplicação de diferentes doses e formas de parcelamento da uréia em cobertura, associada ou não a um inibidor de urease. Lavras, 2008.

Fertilizantes	Altura média de plantas (cm)		Número médio de ramos plagiotrópicos	
	Dose	Parcelamentos (1, 2	Dose	Parcelamentos (1, 2
	(2, 4 e 8 g de N\ planta)	e 3 parcelamentos)	(2, 4 e 8 g de N\ planta)	e 3 parcelamentos)
Uréia	35,50	35,76	5,20	5,67
Uréia + inibidor de uréase	36,47	35,38	5,30	4,86

O NBPT tem a função de inibir e retardar temporariamente a hidrólise da uréia, permitindo que o fertilizante permaneça por mais algum tempo na superfície do solo à espera de condições hídricas favoráveis para a sua difusão. Considerando que o NBPT possui ação temporária, e que as condições ocorridas durante este período não foram favoráveis à incorporação do fertilizante ao solo, provavelmente, o período de atividade do inibidor pode ter expirado. Como comentado anteriormente, o déficit hídrico também contribuiu para restringir o desenvolvimento dos cafeeiros. Nestas condições, o inibidor não apresentou vantagem competitiva ao ser aplicado no pós-plantio do cafeeiro.

O nitrogênio é determinante nos processos metabólicos responsáveis pelo desenvolvimento dos ramos plagiotrópicos, sendo estes de essencial importância no processo de frutificação. (Haag & Malavolta, 1960). Apesar da limitação no desenvolvimento das plantas pelo estresse hídrico, foi possível verificar que a testemunha obteve média inferior de ramos plagiotrópicos quando comparada aos tratamentos que receberam quatro gramas de nitrogênio, em diferentes parcelamentos (Figura 9). Já estes não diferiram entre si.

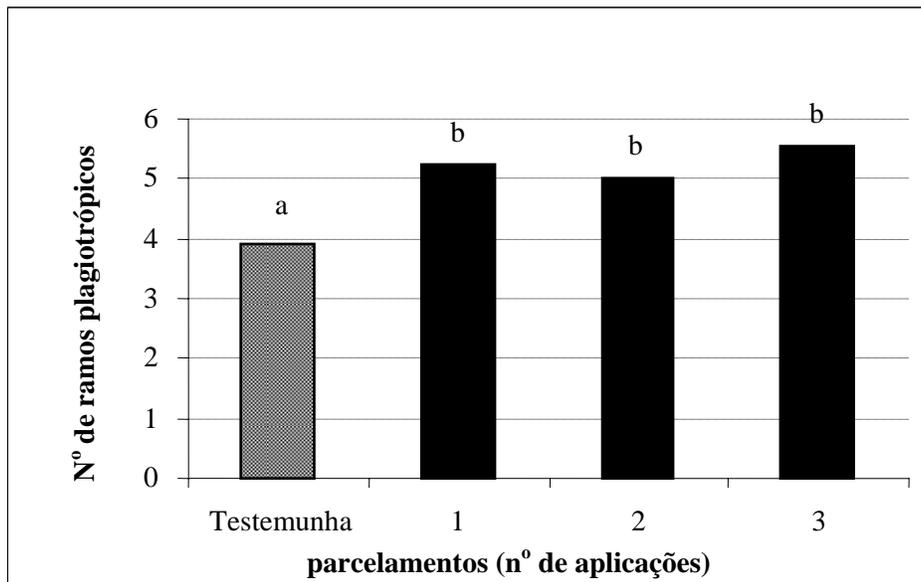


FIGURA 9 Efeito da variação do número de parcelamento do N, na formação de ramos plagiotrópicos em cafeeiros Mundo Novo IAC 376/4. Lavras, 2008.

## **5 CONCLUSÕES**

O uso de NBPT associado à uréia em cafeeiros conduzidos em vasos promove maior aproveitamento do N com ganho de 18% na produção de matéria seca das plantas e aumento de 32% no N mobilizado por elas, não sendo observado o mesmo efeito quando a uréia associada ao NBPT é aplicada no pós-plantio, em campo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHORN, F.P. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000. cap.10, p. 272-293.
- ANJOS, J.T.; TEDESCO, M.J. Volatilização de amônia provenientes de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. **Científica**, Jaboticabal, v.4, p. 49-55, 1976.
- BANERJEE, M.R.; BURTON, D.J.; GRANT, C.A. Influence of urea fertilization and urease inhibitor on the size and activity of soil microbial biomass under conventional and zero tillage at two sites. **Canadian Journal of Soil Science**, Canadá, v. 79, p. 255-263, 1999.
- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUEP, 1995. 176 p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetado por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p. 105-112, 1997.
- BERTOLINI, C.G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura de milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. 2000. 48 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BEYROUTY, C.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 1173-1178, 1988.
- BREMNER, J.M.; CHAY, H.S. Evaluation of N-butyl phosphorotic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, p. 191-199, 1986.
- BYRNES, P.B. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Kluwer Academic: Alabama, 2000. p. 20 - 24.

CAMARGO, A.P. Zoneamento da aptidão climática para a cafeicultura de arábica e robusta no Brasil. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recursos naturais, meio ambiente e poluição**. Rio de Janeiro: SUPREN, 1977. v.1. p. 67-76.

CAMARGO, P.B.; TRIVELI, P.C.O.; LIBARDI, P.L.; MORAES, S.O. Destino do N do fertilizante-15N aplicados na cultura de cana-de-açúcar. I. Deslocamento no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 22., 1989, Recife. **Resumos...** Recife: SBCS, 1989. p. 70-71.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; BOLONHEZI, D.; ROSSETO, R.; BORTOLETTO, N.; PEREIRA, J.C.; VILA, N.A. Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions. **Technical report**. Campinas: BRASIL, 2002.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., 1999, Londrina. **Resumos...** Londrina: BRASIL, 1999. p.82 - 87.

CHAVES, M.M. Effects of wather déficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 234, p.1-16, Jan. 1991.

CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, v. 26, p. 21-27, 1990.

CONTIM, T.L.M. **Uréia tratada com o inibidor da uréase NBPT na adubação de cana de açúcar colhida sem despalha à fogo**. 69 p. 2007. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas.

CORSI, M. Uréia como fertilizante na produção de forragem. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Uréia fertilizante**. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 239-267.

CRAWFORD, N.M.; GLASS, A.D.M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trand in Plants Science Reviews**, v. 3, p. 389-395, 1995.

DaMATTA, F.M. **Desempenho fotossintético do cafeeiro em resposta a tensões abióticas**. 1997. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FERREIRA, D.R. Análise estatística pro meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos, SP: UFSCar, 2000. p. 225-258.

FRENEY, J.R.; DEANMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HURNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 31, p. 341-349, 1992.

FUNDAÇÃO PROCAFÉ. **Estação de avisos**. 2007. Disponível em: <[www.fundacaoprocafe.com.br](http://www.fundacaoprocafe.com.br)>. Acesso em: 10 nov. 2007.

GOPAL, N.H. Some physiological factors to be considered for stabilization of arabica coffee production in South India. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 38, p. 217-221, 1974.

HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. III. Efeito das deficiências dos macronutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro cultivado em solução nutritiva. **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v. 35, n. 4, p. 273-289, dez. 1960.

HAVLIN, J.L.; BEATLON, J.D.; TISDALE, S.L.; NEWSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 6.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499 p.

HENDRIKSON, L.L. Corn yield response to the urease inhibitor NBPT: five year summary. **Journal of Production Agriculture**, v. 5, p. 131-137, 1992.

KAISER, W.M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 71, n. 1, p. 142-149, Sept. 1987.

KOŁODZIEJ, A.F. The chemistry of nickel-containing enzymes. **Progress in Inorganic Chemistry**, v. 41, p. 493-598, 1994.

KÜPPER, A. Consumo mensal de nitrogênio pelo cafeeiro: quantidade época e modo de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

PESQUISAS CAFEIRAS, 4., 1976, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: IBC/GERCA, 1976. p.215-217.

LARA CABEZAS, W.A.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A.R.  
Volatilization de N na cultura de milho. II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489-496, 1997.

LIGHTNER, J.W.; MENGEL, D.B.; RHYKERD, C.L. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizer surface applied to orchardgrass Sod. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p. 1478-1482, 1990.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA / POTAFOS, 1989. 153 p.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.G.; AROALDO, J. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 226p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas e máximas**. São Paulo: Agronômica CERES, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa & Fosfato, 1986. p. 165-275.

MALAVOLTA, E. **Nutrientes e nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. Piracicaba: ESALQ/ USP, 1974. p. 203-255.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. Nutrição de cafeeiros. In: BRASIL. MAPA/ Procafé/ DECAF. **Cultura do café no Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2005. p. 89-150.

MAXIMOV, N.A. **Fisiologia vegetal**. Buenos Aires: ACME, 1946. 433 p. (Version española de Armando Teodoro Hunziker).

- MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. **Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales: nitrogenados**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 1999. cap. 1, p. 13-25.
- MELO, W.J. **Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre**. Jaboticabal: ANDA, 1978. 66 p. (Apostila do Curso de Atualização do Curso de Fertilidade do Solo).
- MOBLEY, H.L.T.; HAUSINGER, R.P. Microbial ureases: Significant, regulation, and molecular characterization. **Microbiology Reviews**, v.53, p. 85-108, 1989.
- NUNES, M.A. Water relation in coffee. Significance of plant water deficits to growth and yield: a review. **Journal of Coffee Research**, Karnataka, v. 6, p. 4-21, 1976.
- OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 739-750, 1994.
- RAWLUK, C.D.L.; GRANT, A.C.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 81, p. 239-246, 2001.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.
- RUSSEL, E.J. **Soil conditions and plant growth**. London: Longmans, 1927. 655p.
- SANGOY, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n.1, p. 65-70, 2003.
- SANT'ANA, M.J.; PEDROSO, P.A.C. Efeito da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na formação de mudas de café. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 28., 1976, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: BRASIL, 1976. p.797
- SANTOS, A.R.; VALE, F.R.; SANTOS, J.A.G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.309-313, 1991.

SCHLEGEL, A.J.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. **Agronomy Journal**, v.78, p.1007-1012, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fotossíntese: as reações luminosas. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 139-172.

TERMAN, G.L. Volatilization of nitrogen as ammonia from surface applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, v.31, p.189-223, 1979.

TERMAN, G.L. Yield and protein content of wheat grain as affected by cultivar, N, and environmental growth factors. **Agronomy Journal**, v. 71, p. 437-440, 1979.

TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant, Cell and Environment**, v.23, p.1005-1024, 2000.

TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; BOARETTO, A.E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 314-330.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J. de C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.193-201, 2002.

VAN RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: CERES-PATAFÓS, 1991. 343 p.

VITTI, G.C.; TAVARES Jr., J.E.; LUZ, P.H.C.; COSTA, M.C.G.; FAVARINI, J.L. Características físicas e químicas da mistura entre sulfato de amônio e uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DE SOLO, 18., 2001, Londrina. **Anais**. Londrina: SBCS, 2001. p. 312.

VITTORI, L.; MARSADORI, C.; GIOACCHINI, P.; RICCI, S.; GESSA, S. Effects of the urease inhibitor NBPT in low concentrations on ammonia volatilization and evolution of mineral nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**, v.22, p.196-201, 1996.

WATSON, C.J. Urease activity and inhibition : principles and practice. In: THE INTERNATIONAL FERTILIZER SOCIETY MEETING, 2000, London. **Proceedings**... London: The International Fertilizer Society, 2000. n. 454, 39p..

WATSON, C.J.; POLAND, P.; ALLEN, M.B.D. The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor NBPT for improve the efficiency of urea fertilizer utilization of temperate grassland. **Grass and Forage Science**, v. 53, p. 137-145, 1998.