

MARCELO ALVES DA ROCHA DIAS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO COM DIFERENTES FONTES E
DOSES DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora:

Prof. Dra. Regina Maria Quintão Lana

Coorientador:

Prof. Dr. Odair José Marques

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

D541d Dias, Marcelo Alves da Rocha, 1987
2016 Desempenho agrônomo do milho com diferentes fontes e doses de
nitrogênio / Marcelo Alves da Rocha Dias. - 2016.
88 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Coorientador: Odair José Marques.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Milho - Nutrição - Teses. 3. Fertilizantes
nitrogenados - Teses. 4. Adubação - Teses. I. Lana, Regina Maria
Quintão. II. Marques, Odair José. III. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

MARCELO ALVES DA ROCHA DIAS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO COM DIFERENTES FONTES E
DOSES DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em
Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para
obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de março de 2016.

Prof. Dra. Adriane de Andrade Silva - UFU

Prof. Dr. José Geraldo Mageste da Silva - UFU

Dr. Marcos Vieira de Faria - UFU

Prof. Dr. Luis Augusto da Silva Domingues - IFTM

Prof. Dra. Regina Maria Quintão Lana
ICIAG - UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pelo dom da minha profissão Engenheiro Agrônomo.

Aos meus pais, Ronan e Arlena, que nunca mediram esforços para investir e incentivar a minha formação. Não tenho palavras para agradecer o que fazem por mim!

A minha irmã Vanessa, por ser a minha inspiração, pela eterna amizade e por acreditar que eu conseguiria.

A minha namorada Ester, pelo companheirismo e apoio, fazendo com que tudo ficasse mais fácil.

A minha orientadora Dra. Regina Maria Quintão Lana, pelas palavras sábias nos momentos necessários, incentivo, ajuda e conhecimentos compartilhados. Obrigado por estar ao meu lado desde a graduação do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Uberlândia. Tenho muito orgulho de ter sido seu aluno!

Ao meu coorientador Dr. Odair José Marques por toda orientação durante a instalação e condução do experimento.

A Prof. Dra. Adriane de Andrade Silva por todos os conselhos e atenção durante a execução deste trabalho.

Aos membros da banca, Prof. Dra. Regina Maria Quintão Lana, Prof. Dra. Adriane de Andrade Silva, Dr. Marcos Vieira de Faria, Prof. Dr. José Geraldo Mageste da Silva e Prof. Dr. Luis Augusto da Silva Domingues, pela disponibilidade em contribuir para este trabalho.

Aos professores do laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água / Fitotecnia, da Universidade Federal de Uberlândia do campus Monte Carmelo pela compreensão.

Aos funcionários do LABAS, Angélica, Eduardo, Gilda, Manoel e Marinho, por todo o apoio durante os experimentos.

Ao grande amigo Daniel, pela ajuda em todas as etapas deste trabalho, não medindo esforços para isso!

As amigas Jéssica e Suelen por sempre estarem disponíveis a me ajudar.

Ao técnico Hélio pela ajuda nas pulverizações.

Ao amigo Ernani pela ajuda nas análises estatísticas.

A aluna Daniela pela ajuda nas análises foliares.

Aos alunos de Agronomia do campus Monte Carmelo, Eduardo, Gustavo, Luciano e Neiliane pela ajuda durante a realização deste trabalho.

A todos os demais professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia, pela acolhida, convívio e aprendizado.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, aqui expresso a minha profunda gratidão.

**”Quando pensar em desistir,
lembre-se da luta que foi
começar, e não desista!”
(Sheyla Miglioli)**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Aspectos gerais e importância da cultura do milho.....	3
2.2 Dinâmica do nitrogênio no solo	4
2.2.1 Mineralização e imobilização	6
2.2.2 Nitrificação	8
2.2.3 Desnitrificação.....	10
2.2.4 Lixiviação	11
2.3 Nitrogênio na cultura do milho	14
2.4 Ureia	18
2.5 Fertilizantes com eficiência aumentada.....	21
2.6 Fertilizante organomineral.....	29
2.7 Dose de nitrogênio	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Caracterização da área experimental.....	34
3.2 Dados climatológicos.....	34
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	36
3.4 Instalação e condução do experimento	37
3.5 Colheita	37
3.6 Características fitotécnicas avaliadas.....	38
3.6.1 Altura de inserção da espiga principal (AIE).....	38
3.6.2 Altura da planta (AP)	38
3.6.3 Diâmetro do colmo (DC).....	38
3.6.4 Número de fileiras por espiga (FE)	38
3.6.5 Número de grãos por fileira (GF)	39
3.6.6 Comprimento de espiga (CE).....	39
3.6.7 Diâmetro de espiga (DE).....	39

3.6.8 Prolificidade (EP)	39
3.6.9 Massa de 1.000 grãos (MMG)	39
3.6.10 Índice de clorofila foliar (ICF)	40
3.6.11 Teor de nutrientes foliares (diagnose nutricional).....	40
3.6.12 Massa seca na parte aérea da planta (MS)	41
3.6.13 Produtividade (PG)	41
3.7 Análise Estatística.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5 CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS.....	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Precipitação média (mm) e temperatura média, máxima e mínima (°C), do município de Monte Carmelo – MG.	35
FIGURA 2. Velocidade máxima do vento (km h^{-1}) e umidade média, máxima e mínima, do município de Monte Carmelo – MG.	36
FIGURA 3. Diâmetro de colmo de milho para doses de nitrogênio.	46
FIGURA 4. Nitrogênio e fósforo foliar no milho para doses de nitrogênio.....	50
FIGURA 5. Proteína bruta de milho para doses de nitrogênio.....	51
FIGURA 6. Área abaixo da curva de progressão de clorofilas A, B e A+B em diferentes doses de nitrogênio.	53
FIGURA 7. Produtividade de grãos de milho em diferentes doses de nitrogênio.....	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Caracterização química e argila no solo da área experimental.....	34
TABELA 2. Média de temperatura (°C) e precipitação (mm) do município de Monte Carmelo – MG.	35
TABELA 3. Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), prolificidade (EP), comprimento de espigas (CE), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras por espiga (FE), número de grãos por fileira (GF) e massa de 1000 grãos (MMG) em função das fontes e doses de nitrogênio.....	42
TABELA 4. Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), prolificidade (PF), comprimento de espigas (CE), diâmetro de espiga (DE), fileiras por espiga (FE), grãos por fileira (GF) e massa de 1000 grãos (MG) para as diferentes fontes de ureia e organomineral.	43
TABELA 5. Altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), prolificidade (EP), comprimento de espigas (CE), diâmetro de espiga (DE), fileiras por espiga (FE), grãos por fileira (GF), massa de 1000 grãos (MMG) para as diferentes doses de nitrogênio.	45
TABELA 6. Macronutrientes na folha (N, P, K, Ca, Mg, S), proteína bruta (PB), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade (PG) da testemunha (sem fonte suplementar de nitrogênio) em relação às fontes de nitrogênio e doses.	47
TABELA 7. Macronutrientes na folha e proteína bruta (PB), g kg ⁻¹ , para as diferentes fontes de ureia e organomineral.	48
TABELA 8. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), g kg ⁻¹ , na folha para as diferentes doses de nitrogênio.....	49
TABELA 9. Clorofilas A, B e total (A+B) da testemunha (sem fonte suplementar de nitrogênio) em relação às fontes de nitrogênio e doses.	52
TABELA 10. Clorofilas A, B e total (A+B).	53
TABELA 11. Massa seca de parte aérea, kg ha ⁻¹ , para diferentes fontes e doses.	54

RESUMO

DIAS, Marcelo Alves da Rocha. **Desempenho agrônômico do milho com diferentes fontes e doses de nitrogênio.** 2016. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura do milho, sendo os fertilizantes nitrogenados de alto custo e sujeitos a grandes perdas no ambiente. Por isso já estão sendo comercializados diversos tipos de fertilizantes conhecidos como fertilizantes especiais ou de eficiência aprimorada. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes fontes e níveis de adubação nitrogenada em cobertura, quanto às características agrônômicas e produtividade de grãos de milho, cultivado na região de Cerrado. O experimento foi instalado no ano de 2015, em Monte Carmelo - MG. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por cinco tipos de fontes nitrogenadas (ureia comum, ureia polimerizada, ureia com NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida ou N-n-butiltriamida do ácido tiofosfórico), organomineral com e sem NBPT), cinco doses de N em cobertura (40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹) e uma testemunha (ausência de N em cobertura). Foram avaliados a altura de inserção da espiga principal (AIE), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de fileiras por espiga (FE), número de grãos por fileira (GF), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), prolificidade (EP), massa de 1.000 grãos (MMG), índice de clorofila foliar (ICF), teor de nutrientes foliares, massa seca da parte aérea da planta (MS) e produtividade (PG). Os resultados demonstraram que, com exceção do diâmetro do colmo, não houve diferença estatística significativa para as diferentes fontes de nitrogênio, indicando que a fonte organomineral é tão eficiente quanto a fonte mineral. A adição de fertilizantes nitrogenados em doses crescentes, independente da fonte utilizada, promoveu maior desenvolvimento das plantas de milho, incrementou os teores de clorofila, diâmetro do colmo, teor foliar de nitrogênio, proteína bruta e produtividade. Para a maioria das características fitotécnicas, não houve diferença estatística dos tratamentos em relação a testemunha.

Palavras-chave: *Zea mays L.*, tecnologia de fertilizantes, ureia, organomineral.

¹Orientadora: Prof. Dra. Regina Maria Quintão Lana – UFU.

¹Coorientador: Prof. Dr. Odair José Marques – UFU.

ABSTRACT

DIAS, Marcelo Alves da Rocha. **Agronomic performance of corn with different sources and doses of nitrogen.** 2016. 88f. Dissertation (Master's degree in Agriculture/Soils) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia¹.

Nitrogen (N) is one of the major nutrients absorbed in corn crops, for this reason, nitrogen based fertilizers are expensive and suffer large losses to the environment. Therefore, a diversity of fertilizers, known as special or of enhanced efficiency fertilizers, has been commercialized. The aim of this study was to evaluate the effect of different sources and levels of nitrogen fertilization in coverage, for agronomic characteristics and corn grain productivity, cultivated in the Cerrado region. The experiment was installed in 2015, in Monte Carmelo-MG. The experimental design utilized was a RCBD with four replications. The treatments consisted of five N sources (common urea, polymerized urea, urea combined with NBPT (thiophosphate N-n-butyltriamida or N-n-butyltriamida of thiophosphoric acid), organomineral combined or not with NBPT), five topdress N levels (40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹) and a control (no N topdressing). The evaluated parameters were: the first spike insertion height (FSIH), plant height (PH), stem diameter (DC), number of rows per spike (RS), number of grains per row (GR), spike length (SL), spike diameter (SD), prolificacy (EP), 1,000-grain weight (TGW), leaf chlorophyll index (LCI), content of foliar nutrients, dry matter in aerial part of the plant (DM) and productivity (PG). The results showed that, with the exception of stem diameter, there was no significant statistical difference between sources of nitrogen, indicating that the organomineral source is as efficient as a mineral source. Regardless of the source, the addition of N fertilizers in increasing doses promoted enhanced development of corn plants, increased chlorophyll content, stem diameter, leaf N content, crude protein and productivity. For most phytotechnical features, there was no significant statistic difference in treatments compared to control.

Keywords: *Zea mays L.*, fertilizer technology, urea, organomineral.

¹Advisor: Prof. Dra. Regina Maria Quintão Lana – UFU.

¹Co-advisor: Prof. Dr. Odair José Marques – UFU.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais produzidos no Brasil. A sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas do seu aproveitamento, que vai desde a alimentação humana até a indústria de alta tecnologia.

Dada a importância desta cultura, é natural que muita atenção seja dispensada aos manejo e tratamentos culturais, principalmente no tocante a nutrição mineral, haja vista que a planta de milho é bastante exigente em muitos elementos minerais, sobretudo o nitrogênio (N). O seu inadequado fornecimento e os baixos teores no solo são fatores limitantes a produtividade (CIVARDI et al., 2011). Isto porque este nutriente exerce importante influência nos processos bioquímicos da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013). O N determina o desenvolvimento das plantas com aumento significativo na área foliar e na produção de massa seca (OLIVEIRA et al., 2009), resultando em maior produtividade de grãos.

Para a produção de uma tonelada de grãos, em média, a cultura do milho acumula na parte aérea, 28 kg ha^{-1} de N e exporta nos grãos em torno de 60%, ou seja, 17 kg ha^{-1} de N (CANTARELLA, 2007a).

A disponibilidade de N no solo é controlada, essencialmente, pela mineralização da matéria orgânica e pela adubação nitrogenada (ALVA et al., 2005). Como na região do Cerrado brasileiro prevalecem os Latossolos, que, em geral, apresentam baixos teores de matéria orgânica, a adubação nitrogenada se torna uma prática primordial para atingir elevados índices de produtividade (SILVA et al., 2005). Com isso, o manejo da adubação nitrogenada deve atender à demanda da cultura nos períodos críticos e diminuir o impacto ambiental por meio da atenuação de perdas do nitrogênio (SILVA et al., 2005).

Os fertilizantes nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis não renováveis e, quando usados em grandes quantidades ou em condições inadequadas, podem perder N por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização (LARA CABEZAS et al., 2000). Assim, o desafio no manejo adequado do N é aumentar a quantidade absorvida pelas plantas e ao mesmo tempo mitigar as perdas ocorridas no sistema solo-planta.

De acordo com Raij (1991), o excesso da adubação nitrogenada pode acarretar um desenvolvimento vegetativo exagerado, proporcionar folhas mais suculentas e susceptíveis a doenças, diminuir a produção de frutos e o teor de açúcares e induzir a cultura ao acamamento. Em virtude disso, a adubação nitrogenada é complexa e deve ser realizada com atenção, pois se, de um lado, a falta de N pode limitar seriamente a produção, por outro, o

excesso pode reduzi-la, além de se tornar mais onerosa ao produtor e prejudicial ao meio ambiente.

Atualmente, já estão sendo comercializados diversos tipos de fertilizantes conhecidos como fertilizantes especiais ou de eficiência aprimorada. Esses tipos de fertilizantes são caracterizados como fertilizantes de liberação lenta ou controlada e fertilizante estabilizados, sendo que o primeiro inclui os de liberação por vários meses e o segundo os associados com inibidores de urease e nitrificação (TRENKEL, 2010).

Desse modo, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o efeito de diferentes fontes e níveis de nitrogênio em cobertura no milho, cultivado na região de Cerrado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais e importância da cultura do milho

O milho é uma espécie vegetal da família das gramíneas, nativa da América, mais provavelmente da região onde se situa o México, onde se acredita ter sido inicialmente cultivado há cerca de 7.000 anos. O noroeste da América do Sul também é considerado um centro de origem secundário. Sua origem foi notadamente pesquisada ao longo dos mais de 100 anos de pesquisas sobre a cultura e várias teorias foram propostas. Contudo a mais plausível é que o milho descende do teosinte, uma gramínea com numerosas espigas sem sabugo, que pode cruzar naturalmente com o milho e produzir descendentes férteis (FORNASIERI FILHO, 2007).

É uma planta monóica, alógama, anual, robusta e ereta com $2n=2x=20$ cromossomos (PATERNIANI, 1980). Conforme Fornasieri Filho (2007), estruturalmente, a planta do milho é composta por uma haste cilíndrica, com nós e entrenós compactos. Cada nó abaixo do solo produz raízes, e nós, no nível do solo ou imediatamente acima, podem produzir perfilhos e raízes-suporte. As folhas e as ramificações que podem permanecer no estado rudimentar ou desenvolver-se para formar as inflorescências femininas são produzidas a partir dos nós acima do solo.

A planta de milho possui metabolismo fisiológico classificado como C4, possuindo ampla capacidade fotossintética. Esse tipo de metabolismo faz com que o processo fotossintético seja mais eficiente em ambientes secos e quentes (TAIZ; ZEIGER, 2006). Como não apresenta saturação luminosa fotossintética, as plantas C4 permitem maior aproveitamento da energia luminosa disponível em zonas tropicais, onde altas intensidades de luz prevalecem por praticamente todo o ano (PIMENTEL, 1998).

O milho apresenta ciclo variável de 110 a 180 dias, com base nos híbridos e variedades que são classificados como, precoce, normal ou tardio, considerando os estádios de desenvolvimento entre a emergência da plântula e a maturidade fisiológica do grão (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). O ciclo do milho é dividido em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R) para auxiliar o desenvolvimento de pesquisas, bem como o estabelecimento de correspondências entre elementos climatológicos, fisiológicos, entomológicos, fitogenéticos e fitotécnicos com o desempenho da planta. Para Ritchie; Hanway; Benson (1993), os estádios fenológicos da fase vegetativa são denominados

numericamente como V1, V2, V3, até Vn, em que n representa o estágio de última folha antes do pendoamento. O primeiro e o último estágio vegetativo são designados como VE (emergência) e VT (pendoamento), respectivamente. Já o estágio fenológico da fase reprodutiva são denominados numericamente em R1 (florescimento), R2 (grão bolha de água), R3 (grão leitoso), R4 (grão pastoso), R5 (grão farináceo) e R6 (maturidade fisiológica).

O milho é um dos principais cereais cultivados e consumidos no mundo, em virtude de seu alto potencial produtivo, composição química e valor energético. O seu cultivo tem grande importância econômica, uma vez que pode ser utilizado como base na alimentação humana, participando na produção de matéria-prima para cerca de 600 produtos industriais e para nutrição animal (PEREIRA et al., 2009). Conforme Souza; Braga (2004), o destaque da produção de milho para alimentação animal brasileira resulta na utilização de 80% do total que é produzido no país para uso na forma de ração e silagem.

O USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2016) prevê, em seu levantamento da safra mundial de milho 2015/16, uma produção global de 967,9 milhões de toneladas. O Brasil encontra-se na terceira posição como produtor mundial (MAPA, 2015), após os Estados Unidos e a China, com a safra 2015/2016 estimada em 82 milhões de toneladas (CONAB, 2015). No agronegócio brasileiro, em termos de área cultivada, a cultura do milho é a segunda mais cultivada, sendo a primeira a cultura da soja, com estimativa de área plantada para safra de 2015/2016, em 15,2 milhões de hectares, referente a duas safras, verão e segunda safra (sequeiro), com produtividade média de 5.370 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

A baixa produtividade média de milho no Brasil não traduz o bom nível tecnológico adquirido por boa parte dos agricultores voltados para o cultivo comercial, visto que a média nacional envolve o cultivo nas mais diferentes regiões e nos mais distintos sistemas de produção, desde a “roça de toco” até grandes áreas sob agricultura de precisão. Para o aumento da produtividade é imprescindível que sejam adotadas técnicas básicas, incluindo manejo adequado dos corretivos do solo e dos fertilizantes, principalmente os nitrogenados. Entretanto, devido principalmente, ao alto valor dos fertilizantes nitrogenados, são utilizadas quantidades insatisfatórias de N, que associadas à baixa fertilidade natural dos solos de clima tropical, assim como ao manejo inadequado da cultura, fazem com que o país apresente baixa produtividade média de grãos (ARAUJO; FERREIRA; CRUZ, 2004; SILVA et al., 2005).

2.2 Dinâmica do nitrogênio no solo

O nitrogênio está entre os elementos mais abundantes na natureza, sendo encontrado na litosfera, hidrosfera e na atmosfera onde está o maior reservatório de N. No solo, o N pode ser detectado na forma elementar (N_2), ou outros gases (NO, NO_2 , N_2O , NH_3), em formas iônicas (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), e na forma orgânica presente na matéria orgânica do solo.

Existem três processos que podem ser utilizados para o fornecimento de N para o solo. O primeiro é a fixação atmosférica: refere-se às descargas elétricas, comum na época chuvosa, que unem N e O_2 , formando óxidos que se podem decompor ou unir à água, chegando ao solo pela ação da chuva. A segunda forma é pela fixação biológica: feita pelas algas, bactérias e fungos, pelo sistema livre em cultivo de arroz inundado (*Azotobacter* e *Beijerinckia*) e pelo sistema simbiótico pela associação específica entre bactérias do gênero *Rhizobium* e leguminosas. O último processo de fornecimento de N no solo é a fixação industrial: referindo-se à produção de fertilizantes nitrogenados (PRADO, 2008). Enquanto que as perdas de N no solo podem ocorrer devido à exportação pelas culturas, lixiviação, erosão e volatilização (SCHULTEN; SCHNITZER, 1998).

Predominantemente, o N é encontrado no solo na forma orgânica e apenas uma pequena parcela, cerca de 5% do nitrogênio total, apresenta-se sob formas inorgânicas de amônio (NH_4^+) e/ou nitrato (NO_3^-). Estas formas estão prontamente disponíveis e são originados pela mineralização durante os cultivos por meio de hidrólise enzimática, produzida pela atividade da microbiota do solo (CORDEIRO; HOEK, 2007) e/ou então por aplicação de fertilizantes nitrogenados. O contato íon-raiz ocorre principalmente por fluxo de massa, onde o nitrogênio se move na solução do solo até a raiz (ULLOA; LIBARDI; REICHARDT, 1982).

De acordo com Raij (2011), em situações de boa aeração e pH não muito baixo, o amônio é rapidamente convertido em nitrato, em um processo denominado de nitrificação. Com isso, o NO_3^- representa a principal fonte de N-inorgânico para as plantas. Porém, segundo o mesmo autor, como o nitrato tem carga negativa, ele é repelido pelas superfícies das partículas do solo, permanecendo na solução, sendo assim muito móvel e suscetível à lixiviação. Já, o íon amônio permanece no complexo trocável do solo, podendo ser absorvido pelas plantas ou oxidado a nitrato (POLETTI; GROHS; MUNDSTOCK, 2008).

A baixa eficiência de recuperação do N de fertilizantes nitrogenados aplicados às culturas tem sido atribuída principalmente a perdas por volatilização da amônia (NH_3), oriundo de fontes amoniacais de N, e lixiviação de nitrato (NO_3^-), acarretando em maiores custos com fertilizantes e mão de obra (ROGERI, 2010).

Outra característica do N no solo é a influência que ele sofre do sistema de manejo adotado, percebendo-se que na fase inicial de adoção do SPD (Sistema Plantio Direto) há maior necessidade de utilização de fertilizantes nitrogenados devido ao processo de imobilização pela biomassa microbiana do solo, causados pelo aumento da atividade e pelos baixos teores de matéria orgânica do solo (SÁ, 1996). Entretanto, após alguns anos se verifica o restabelecimento no equilíbrio das transformações que acontecem no solo, pois há deposição e acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo (BEUTLER et al., 2001) e, a inexistência de incorporação desses ao solo colaboram para diminuição das perdas de matéria orgânica do solo por erosão e mineralização (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; BAYER et al., 2004).

Em decorrência do aumento do teor de matéria orgânica do solo há elevação do teor de carbono orgânico, estimulando a atividade microbiana, ocasionando em produtos que atuam na formação e estabilização dos agregados (LIMA et al., 2003), aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e de nutrientes no solo, especialmente o N (AITA et al., 2001). Nesta condição, ocorre o principal reservatório deste nutriente para as culturas em SPD (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Dependendo do tempo de adoção deste sistema e das condições locais, o caráter fonte de nitrogênio advindo da matéria orgânica do solo prevalece em relação ao caráter dreno, podendo até não existir resposta para aplicação de nitrogênio (BELOW, 2002).

Então, entende-se que o N presente no solo está sujeito a diferentes transformações como: mineralização, imobilização, nitrificação, desnitrificação, volatilização e lixiviação. Esses processos são influenciados pelas condições químicas, físicas e biológicas do sistema solo/planta, sempre tendendo a voltar à forma original.

2.2.1 Mineralização e imobilização

Os processos de mineralização e imobilização representam um pré-estágio dentro do ciclo do N no solo. A predominância de um processo sobre o outro depende da razão entre os teores de carbono e nitrogênio (relação C/N) do material em decomposição. Contanto que esta relação seja baixa, em geral menor que 25 a 30, há liberação rápida de NH_4^+ , que pode ser absorvida pelas plantas. Acima desses valores de relação C/N, ocorre imobilização temporária do N pelos microrganismos. De acordo com Moreira; Siqueira (2002), a condição de

equilíbrio, na qual a mineralização é aproximadamente igual à imobilização, ocorre no momento em que a relação C/N do substrato está na faixa de 20 a 30.

A mineralização consiste na transformação do N orgânico, que está fazendo parte da estrutura dos materiais de origem animal ou vegetal, para a forma mineral e, assim, ser absorvido pelas plantas. Essa reação é efetuada pelos microrganismos heterotróficos do solo, principalmente por fungos e bactérias, que utilizam os resíduos orgânicos ou a palhada deixada na superfície como fonte de carbono, nitrogênio e energia.

As condições ideais para a mineralização do N orgânico do solo são aquelas que beneficiam a atividade dos microrganismos: pH de 6,0 a 7,0; condições boas de aeração, umidade em torno de 50 a 70% da capacidade de retenção de água e temperaturas entre 40 e 60 °C (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A quantidade de N mineralizada aumenta com a elevação do pH, da temperatura e do teor de matéria orgânica do solo. O efeito da calagem em aumentar as quantidades de N mineralizado tem sido associado ao aumento nos valores de pH e nos teores de cátions trocáveis e à redução do Al^{3+} tóxico, fatores esses que elevam a atividade de organismos mineralizadores (DANCER; PETERSON; CHESTERS, 1973; NYBORG; HOYT, 1978; SILVA; VALE; GUILHERME, 1994). Maiores taxas de N mineralizadas em solos com calagem podem estar relacionadas ainda à maior degradação de compostos fenólicos inibitórios à decomposição da matéria orgânica (MARSCHNER; WILCZYNSKI, 1991). Uma maior presença de frações orgânicas ligadas ao Ca^{2+} nos solos corrigidos, em comparação com essas mesmas moléculas ligadas ao Al^{3+} , pode também resultar em maior decomposição da matéria orgânica e, desse modo, em maior mineralização do N (MENDONÇA; ROWELL, 1994).

A mineralização do N orgânico geralmente eleva o pH do meio, em razão do consumo de prótons (H^+). Primeiramente, a ação de enzimas extracelulares convertem polímeros em monômeros, os quais são transportados para o interior das células onde são metabolizados, resultando na produção de NH_3 , que é liberado da célula para a solução do solo. A amônia produzida nessa reação se equilibra no solo consumindo H^+ e formando NH_4^+ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Por sua vez, a imobilização do N é um processo que ocorre simultaneamente com a mineralização, porém no sentido oposto. A imobilização é definida como a transformação do N inorgânico em formas orgânicas microbianas (CANTARELLA, 2007a). Os microrganismos assimilam os compostos inorgânicos nitrogenados, incorporando-os nos

aminoácidos que irão participar da síntese de proteínas de suas células durante a formação de biomassa no solo (CAMARGO et al., 1999). Com a diminuição progressiva do carbono dos resíduos, inicia-se o processo de predação e morte dos microrganismos por falta de fonte de energia. Nesta etapa, o N acumulado na biomassa microbiana começa a ser reciclado, ficando mais uma vez disponível às plantas (BARTZ, 1998).

A relevância e a duração da imobilização microbiana do N do solo têm consequências agronômicas importantes, pois afetam a disponibilidade de nitrogênio às culturas, com implicações na época, modo e dose de fertilizante a ser aplicado (CANTARELLA, 2007a). A adição ao solo de materiais orgânicos pobres em N, como resíduos de gramíneas que possuem alta relação C/N, faz com que os microrganismos recorram ao N inorgânico disponível na solução do solo para assegurar o crescimento da população, promovida pela abundância de carbono orgânico lábil. Contudo, se os resíduos forem ricos em N, como os de leguminosas, que possuem uma relação C/N baixa, as necessidades microbianas serão facilmente preenchidas e o N excedente é liberado na forma mineral. A taxa de decomposição dos resíduos vegetais quando incorporado ao solo é maior do que quando são deixados sobre a superfície do solo (AMADO; MILENICZUK; FERNANDES, 2000).

O processo de imobilização de N mineral é provisório, com duração de algumas semanas. A proporção que o material orgânico é decomposto, a relação C/N é reduzida. Atingindo valores abaixo de 30:1, o N mineral incorporado às células bacterianas é liberado. Diferente do que acontece no ecossistema natural, onde os processos de mineralização e imobilização estão em equilíbrio, no sistema agrícola convencional a mineralização é frequentemente superior à imobilização, exceto sobre o plantio direto, no qual a imobilização poderá ser prolongada em relação ao plantio convencional, devido à persistência de resíduos na superfície, com a decomposição mais lenta do que quando incorporado (ERNANI, 2003).

O efeito da imobilização sobre o rendimento vegetal irá depender da quantidade de N imobilizada, da disponibilidade de N no solo e da época de maior imobilização relativamente à demanda vegetal. (ERNANI et al., 2005). Com isso, para que o desenvolvimento vegetal não seja prejudicado é importante fornecer uma maior suplementação de N durante a semeadura e evitar que a imobilização ocorra na mesma época da máxima demanda de N pelas culturas.

2.2.2 Nitrificação

A nitrificação é um processo importante na compreensão da dinâmica do N no solo e pode ser definida como uma oxidação biológica em que o NH_4^+ , tanto o proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo, quanto o de fertilizantes amídicos ou amoniacais, é convertido a NO_3^- por microrganismos do solo. Além dos microrganismos do solo, a nitrificação depende também da presença de oxigênio (O_2).

Robertson (1997) e Burger; Jackson (2003) mencionaram que a transformação do NH_4^+ em NO_3^- é o maior destino deste elemento no solo. Este processo é efetuado em duas etapas distintas, sendo a primeira denominada de nitritação, onde o NH_4^+ é transformado a NO_2^- por um grupo de bactérias aeróbias do gênero *Nitrosomonas*. A segunda etapa denominada nitratação em que ocorre a transformação de NO_2^- para NO_3^- por meio de um grupo de bactérias do gênero *Nitrobacter* (BURTON; PROSSER, 2001). Esta última forma de nitrogênio pode ser facilmente perdida do sistema solo, uma vez que a maioria dos solos normalmente possui carga líquida negativa, o que dificulta a adsorção eletrostática de ânions, tornando-os suscetíveis à lixiviação pela água que percola através do perfil do solo. A nitrificação microbiana do NH_4^+ a NO_3^- é realizada por bactérias quimioautotróficas, que usam a nitrificação como fonte de energia para fixar o CO_2 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os principais fatores que afetam a nitrificação são pH, temperatura, umidade e aeração do solo, sendo que este processo também pode variar tanto espacialmente quanto temporalmente (BLOOM et al., 2003). Para Sarahwat (2008) a temperatura ótima para a nitrificação situa-se entre 25 a 35°C, condição na qual há melhor desenvolvimento das bactérias responsáveis por esse processo. A alta umidade, com reduzida aeração do solo, afeta a nitrificação, que é dependente de oxigênio. O mesmo autor ainda afirma que a taxa de nitrificação no solo é máxima na umidade relativa à capacidade de campo.

As maiores taxas de nitrificação têm sido obtidas nos solos onde é feita a correção da acidez do solo (HAYNES, 1986; HAYATSU; KOSUGE, 1993; KREUTZER, 1995). No entanto, para a ureia, ela poderá não ser afetada em função da elevação do pH ao redor dos grânulos desse fertilizante no solo, em consequência da hidrólise desse adubo (MELO, 1987; ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001). Em condições alcalinas o processo de nitrificação não é completo e a forma predominante é a do NO_2^- , devido as bactérias do gênero *Nitrobacter* serem inibidas pela presença de amônia, que é formada em condições de pH mais elevado (GOOSSENS et al., 2001).

A nitrificação predomina em solos oxigenados, sendo que o NH_4^+ existente é convertido em NO_3^- em três ou quatro semanas, aproximadamente, dependendo do pH do solo

(CANTARELLA, 2007a; SOUSA; LOBATO, 2002). A nitrificação do N é relativamente rápida, uma vez que, em condições de umidade, pH e temperatura adequadas para a prática da agricultura, a maior parte do nitrogênio amoniacal proveniente de fertilizantes amídicos ou amoniacais se converte em nitrato em um intervalo de até 15 ou 30 dias (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

A reação de nitrificação libera hidrogênio (H^+), o qual resulta em acidificação do solo. A magnitude da acidificação causada pela nitrificação depende, no entanto, da origem do NH_4^+ e do destino do NO_3^- . Na mineralização do N, há inicialmente o consumo de um próton, tendo como produto o NH_4^+ . Em seguida, cada molécula de NH_4^+ é transformada em NO_3^- pelo processo de nitrificação, liberando dois prótons para o meio. Se o NO_3^- for absorvido pelas plantas, o balanço da acidez passa a ser neutro, pois para cada íon de NO_3^- absorvido a planta libera um íon de OH^- ou HCO_3^- para manter a neutralidade elétrica. Entretanto, se o NO_3^- for lixiviado, o processo de nitrificação originará um saldo de um íon H^+ para cada íon NH_4^+ nitrificado (ERNANI, 2008). A mesma dinâmica vale para o caso do N oriundo de fontes amídicas. Porém o NH_4^+ que é proveniente de um fertilizante nitrogenado de fonte amoniacal sempre terá caráter acidificante, podendo resultar no saldo de um ou dois íons H^+ para cada molécula de NH_4^+ nitrificada, respectivamente, se o NO_3^- gerado na nitrificação for absorvido pelas plantas ou lixiviado (ERNANI, 2008).

Geralmente a nitrificação é indesejável em solos brasileiros, pois predominam cargas negativas nos valores de pH utilizados para a agricultura, impedindo a retenção do NO_3^- nas partículas sólidas do solo. Com isso, o nitrato está suscetível à lixiviação, diferentemente do que ocorre com o NH_4^+ que, por possuir carga positiva, pode ser adsorvido eletrostaticamente às cargas negativas dos colóides do solo (ERNANI, 2003).

2.2.3 Desnitrificação

A desnitrificação consiste na redução do NO_3^- ou NO_2^- a óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) e N_2 por bactérias anaeróbias facultativas dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavibacterium* e *Agribacterium*, ocorrendo perdas gasosas nas formas de N_2 e N_2O (ROBERTSON; GROFFMAN, 2007). Este é o principal processo biológico pelo qual o N reativo retorna à atmosfera na forma de N_2 . A desnitrificação ocorre principalmente em solos com baixa disponibilidade de O_2 , como em solos alagados, pois os microrganismos anaeróbios, na ausência de O_2 , usam outros compostos, como o NO_3^- , comoceptor final de

elétrons em sua respiração (ERNANI, 2008). Do ponto de vista da química do solo, a desnitrificação consome prótons e alcaliniza o solo, revertendo parte da acidez produzida durante a nitrificação. Embora seja um processo frequente em solos com baixo suprimento de O_2 , a desnitrificação também poderá ocorrer em solos bem drenados, onde materiais orgânicos tenham sido adicionados ao solo (AITA, 1997).

Solos compactados, solos alagados temporariamente ou permanentemente e solos onde se aplicaram grandes doses de esterco, condicionam baixa disponibilidade de oxigênio. Nessas situações, deve-se substituir a aplicação de fertilizantes que tenham nitrato como nitrato de amônio, nitrato de potássio e nitrato de cálcio, por fertilizantes que tenham a forma amoniacal, como sulfato de amônio ou a amídica, como a ureia (ERNANI, 2003). Mesmo em solos normalmente bem drenados, a desnitrificação pode suceder como resultado do preparo inadequado, compactando-o e dando origem a áreas encharcadas pelo acúmulo da água das chuvas ou da irrigação (SOUSA; LOBATO, 2004). Segundo Robertson (2000), mudanças de curto prazo, como fortes chuvas e irrigação, são fenômenos que estão associados a aumentos temporários nas taxas de desnitrificação no solo.

Ainda que alguns trabalhos demonstrem que as perdas de N na forma de N_2O sejam baixas, sob condições favoráveis essas perdas podem ser muito maiores, como verificado por Denmead et al. (2010) que sob condições específicas de solo inundado na Austrália, extremamente propícia a desnitrificação, atribuíram a este processo, 21% das perdas do N-ureia. Trivelin et al. (2002) estudando o ciclo do N em solo cultivado com cana-de-açúcar, sugerem que parte dos 12% do N-ureia não recuperado no ciclo da cana-planta, pode ter sido consequência das perdas por desnitrificação.

2.2.4 Lixiviação

A lixiviação consiste no movimento vertical de íons ou de moléculas no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes. Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a adsorção eletrostática do 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). As perdas por lixiviação do cátion NH_4^+ são potencialmente pequenas, pois este se encontra, em grande parte, adsorvido às cargas negativas do solo (FONTOURA; BAYER, 2006).

Além de prejuízos econômicos, as perdas de N por lixiviação de NO_3^- podem resultar na contaminação de águas superficiais e subterrâneas, tornando-se um problema de poluição ambiental e de saúde pública. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que a água potável não apresente concentração maior do que 10 mg L^{-1} de nitrato e este limite tem sido adotado por muitos países (HOWARTH; MARINO, 2006). Desse modo, mesmo que esta questão seja incipiente no Brasil, em vários países a prevenção já atinge a esfera da propriedade agrícola, implicando que os agricultores devem apropriar suas práticas de manejo de fertilizantes nitrogenados para atender a esse padrão (WORTMANN, 2006).

As quantidades de NO_3^- no perfil, susceptíveis à perda, são muito variáveis: dependem da quantidade de nitrogênio adicionado, da composição do adubo, da remoção pelas colheitas, do tipo de cultura e do volume de água percolada. Esses fatores são influenciados pelas características do solo e pelas condições meteorológicas (REICHARDT; TIMM, 2012). Lund; Adriano; Pratt (1974) já afirmavam que as características do perfil do solo devem ser consideradas quando se deseja aplicar maiores quantidades de nitrogênio.

Maia; Cantarutti (2004) ressaltaram que a grande mobilidade do NO_3^- é dependente da quantidade e fonte nitrogenada adicionada ao solo, assim como a predominância de cargas negativas no complexo coloidal do solo que impede que os íons sejam adsorvidos, permanecendo na solução do solo. Sexton et al. (1996) observaram que o NO_3^- lixiviado aumentou rapidamente quando as doses de N aplicadas na cultura do milho excederam 100 kg ha^{-1} em um solo arenoso; para doses de N acima de 250 kg ha^{-1} , o NO_3^- lixiviado aumentou exponencialmente. Cooper et al. (1984) em estudo com a cultura do milho, onde foram testadas aplicações sucessivas de esterco como fonte de N, verificaram que em concentrações acima das exigidas pela cultura apenas 10% do N foi utilizado pelas plantas, enquanto o restante foi perdido no sistema ou retido no perfil do solo, aumentando dessa maneira os riscos de lixiviação.

A baixa adsorção do nitrato na superfície dos colóides deve-se à matéria orgânica que é a principal fonte de carga elétrica negativa em solos altamente intemperizados. O mesmo acontece em solos com predominância de minerais de argila do tipo 2:1, que também têm cargas negativas. Dessa forma, a matéria orgânica e as argilas repelem o íon nitrato, contribuindo para o deslocamento desse ânion com a água que percola no perfil do solo (KINJO; KIEHL; PRATT, 1978). Black; Waring (1976) verificaram excessiva mobilidade de NO_3^- na camada de 0 a 15 cm, ratificando a hipótese de haver baixa adsorção de NO_3^- nesta

zona, devido à maior densidade de cargas negativas decorrentes da presença de matéria orgânica.

Steege; Stulen; Mary (2001) mencionaram que a textura do solo e a sua distribuição de poros também são importantes fatores que devem ser considerados quanto à mobilidade do NO_3^- . Solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de nitrogênio, principalmente na forma de NH_4^+ , do que solos arenosos. A maior capacidade de armazenamento de água de solos argilosos diminui a percolação de água pelo perfil e, com isso, o arraste de nitrato para camadas inferiores do solo (CAMARGO et al., 1989; BERTOLINI, 2000).

Piovesan et al. (2009) em estudo conduzido em solo argiloso, verificaram que a relação do N- NO_3^- encontrado no perfil do solo, em relação ao aplicado, é muito maior comparativamente a outros íons presentes na solução do solo, evidenciando o alto potencial de lixiviação do NO_3^- mesmo para este tipo de solo. Levando em consideração o potencial de perdas de N por lixiviação do NO_3^- em solos agrícolas, Fontoura; Bayer (2006) sugerem que a maior parte da aplicação do fertilizante nitrogenado seja feita em cobertura, num período imediatamente anterior ao período de maior demanda das culturas pelo N.

Além dos fatores citados, o preparo do solo também tem influência na magnitude do processo de lixiviação. Para Muzilli (1983), o potencial de lixiviação pode ser maior em solo sob plantio direto em comparação ao plantio convencional, devido à maior infiltração de água, maior manutenção de umidade e presença de porosidade contínua, principalmente em períodos chuvosos. Segundo Sainz Rozas et al. (2000), o fluxo preferencial de água no solo ocorre pelos macroporos e pode transportar significativa quantidade de NO_3^- de recente adição ao solo. No entanto, o fertilizante que se difunde entre os agregados, nos microporos, estaria mais protegido de subsequentes lixiviações, principalmente, em solos argilosos. Segundo os mesmos autores, em solos arenosos que, em geral, não apresentam fluxo preferencial, a lixiviação de nitrato pode ocorrer de forma uniforme através do perfil do solo.

Em anos de precipitação pluviométrica bem distribuída, a lixiviação pode não ser um problema, porém em anos que ocorrem precipitações intensas e concentradas em um curto período de tempo, torna-se preocupante, indicando-se a aplicação parcelada do fertilizante nitrogenado. Suhett; Peres; Vargas (1986) citam que, decorridos setenta dias após a adubação, a maior parte dos 200 kg N ha⁻¹ adicionados na forma de ureia, encontrava-se em camadas mais profundas do solo (60 a 90 cm). Com base em dados experimentais, esses autores, estimaram um índice de lixiviação de NO_3^- entre 1,0 e 1,5 mm de descida no perfil do solo por mm de chuva ocorrida em solos argilosos.

Gava (2003), em uma revisão de trabalhos sobre perda de N por lixiviação, entre os anos de 1978 e 1999, observou que em 78% dos experimentos conduzidos em diferentes solos e culturas, fertilizados em média com 92 kg N ha^{-1} , o total de perda de N por lixiviação foi pequeno: $1,26 \text{ kg ha}^{-1}$ em média. Coelho et al. (1991) verificaram perdas por lixiviação de apenas 4% do N aplicado como ureia (60 kg N ha^{-1}) na cultura do milho em Latossolo Vermelho-Escuro. Assim, com base nesse e em outros resultados da literatura, esses autores sugerem que as perdas por lixiviação não constituem, de forma generalizada, o principal fator que afeta o aproveitamento do N de fertilizantes pelo milho. Segundo Cantarella (2007a), nos experimentos de avaliação de nitrato realizados no Brasil, as doses de N relativamente baixas, a textura argilosa da maioria dos locais e o parcelamento da adubação nitrogenada adequando o suprimento ao período de maior absorção pela planta, ajudam a explicar os baixos valores encontrados.

2.3 Nitrogênio na cultura do milho

O nitrogênio é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento e desenvolvimento destas (SOUZA; FERNANDES, 2006). O nitrogênio faz parte do constituinte de moléculas de proteína, enzima, ácido nucleico e citocromo, além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila, atua diretamente no processo de divisão e expansão celular (BÜLL, 1993), sendo considerado um elemento essencial para as plantas. O N apresenta grande versatilidade nas reações de oxirredução, o que lhe confere especial importância nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Desta forma, o nitrogênio exerce essencial função, do qual, determina o aumento da produtividade de grãos na cultura do milho.

A constituição de grãos na cultura do milho está associada com a translocação de açúcares (CRAWFORD et al., 1982) e de N (KARLEN et al., 1988) de órgãos vegetativos, especialmente das folhas, para os órgãos reprodutivos. Desta forma, é perceptível a relação entre a área foliar verde e a produção de grãos (BÜLL, 1993). O mesmo autor explica que isto ocorre principalmente pela maior eficiência que as folhas bem nutridas têm de assimilar CO_2 e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em maior acúmulo de biomassa. De acordo com Nummer Filho; Hentschke (2002), o nitrogênio afetar diretamente a área foliar, alterando a taxa de fotossíntese das plantas, interferindo positivamente no crescimento do

sistema radicular e, desta forma, permite que as raízes explorem maior volume de solo, melhorando a absorção de nutrientes e água.

Além da sua eficiência sobre a produtividade de grãos, o nitrogênio influencia outros aspectos associados ao desenvolvimento da cultura do milho. Encontram-se, na literatura, vários trabalhos sobre o empenho do nitrogênio no aumento do peso de mil grãos (FERREIRA et al., 2001; AMARAL FILHO et al., 2005), do número de espigas por planta (FERNANDES et al., 2005; SCHIAVINATTI, et al., 2011), no comprimento da espiga (BÜLL, 1993; CARMO et al., 2012), da altura de plantas e do peso de espigas (ARAÚJO; FERREIRA; CRUZ, 2004), do diâmetro do colmo (MAR et al., 2003; CARMO et al., 2012) e da produção de massa seca (ARAÚJO; FERREIRA; CRUZ, 2004; DUETE et al., 2008).

O processo de absorção do N pelas plantas ocorre nas formas de amônio e/ou nitrato, 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 limitar a absorção de cátions pela planta (HAVLIN et al., 1999).

Para o nitrogênio ser absorvido, é preciso que antes aconteça o contato do nutriente com a raiz, sendo que, esse contato ocorre pelo fenômeno de fluxo de massa. A absorção do amônio ocorre pelo transportador uniporte que resulta na liberação de prótons (H^+) para o meio, bombeado pelas H^+ -ATPases das membranas, enquanto a absorção do nitrato requer energia pelo transportador simporte pelo processo de co-transporte de prótons ($2H^+$) (PRADO, 2008).

O N quando absorvido na forma nítrica (NO_3^-), deve ser reduzido para incorporação a compostos orgânicos e exercer suas funções metabólicas. A absorção na forma amoniacal (NH_4^+) 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). A primeira etapa do processo consiste na redução do nitrato a nitrito, processo que ocorre no citoplasma das células, pela redutase do nitrato (RN) (TISCHNER, 2000). 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 (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O nitrito é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico. 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 (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Já o amônio, absorvido pela raiz ou produzido pela assimilação do nitrato ou da fotorrespiração, é convertido à glutamina e glutamato pelas ações sequenciais das enzimas glutamina sintase e glutamato sintase. Uma vez assimilado em glutamina ou glutamato, o nitrogênio pode ser transferido para outros compostos orgânicos através de várias reações, incluindo a de transaminação. A enzima que catalisa tal reação é conhecida como aminotransferase. As aminotransferases são encontradas no citoplasma, nos cloroplastos, nas mitocôndrias, nos glioxissomos e nos peroxissomos.

A deficiência de N na cultura do milho é caracterizada pela coloração verde-pálida das folhas novas e pela clorose nas folhas velhas, que se tornam amareladas no sentido do ápice para o centro, seguindo a nervura central e tomando a forma de um V invertido e, persistindo a carência, a clorose vai atingindo as folhas mais novas, podendo alcançar, em casos extremos, toda a planta de milho (COELHO; FRANÇA, 1995). Inicialmente as folhas mais novas não mostram tais sintomas, pois ocorre uma mobilização de N a partir das folhas mais velhas.

A deficiência de nitrogênio prejudica de modo direto na diminuição do desenvolvimento do índice de área foliar e a taxa de fotossíntese, que refleti na produção de massa seca e na produção de grãos (LEMAIRE; GASTAL, 1997). No entanto, a eficiência sobre essas variáveis depende da fase vegetativa, ou seja, do estágio fenológico em que acontece a deficiência (UHART; ANDRADE, 1995).

A maior demanda por nitrogênio inicia-se no estágio em que as plantas apresentam de quatro a cinco folhas expandidas, de maneira que a não suficiência deste nutriente, nessa fase de crescimento, pode influenciar negativamente a produção de grãos (SCHREIBER; STANBERRY; TUCKER, 1998; DUETE et al., 2009). Para Mengel; Barber (1974) a quantidade de N absorvida pela cultura do milho aumenta gradativamente durante a sua fase vegetativa, atingindo o máximo de absorção no início do estágio reprodutivo e diminuindo no estágio de florescimento e posterior enchimento dos grãos. Cantarella (1993) e Yamada; Abdalla (2000) verificaram que a absorção de N pelo milho é mais intensa no período que compreende o intervalo de 40 a 60 dias após a emergência das plantas, mas que essa absorção corresponde a apenas metade do N requerido pela cultura, sendo que 50% podem ser absorvidos durante o estágio reprodutivo.

Trabalhos atuais em relação à marcha de absorção, repartição e remobilização de nutrientes podem ser encontrados em Bender et al. (2013a) e, especificamente para N, em Haegele et al. (2013). Esses autores utilizaram híbridos modernos, com tecnologia transgênica e práticas culturais utilizadas no atual sistema de produção de milho, para analisar se houve mudança na absorção de nutrientes com as novas práticas agrícolas e novos materiais genéticos. Bender et al. (2013a) mostraram que para um período de 10 dias entre os estádios V10 e V14 do milho ocorreu o valor máximo da taxa de absorção de N ($8,9 \text{ kg dia}^{-1}$), fato que indica que se deve garantir à cultura a disponibilidade do nutriente nesse período. Haegele et al. (2013) relataram que comparando os atuais híbridos com os antigos é verificada maior eficiência na utilização do nitrogênio, o que mostrou correlação positiva com a maior eficiência de absorção de N pelas plantas e afirmaram que esse fato se deveu à maior absorção de N pelos novos híbridos no período de pós-florescimento. Bender et al. (2013b) conduziram dois experimentos de campo, o primeiro com dois anos de duração (2009-2010) e o segundo com três (2008-2010), nos quais foi avaliada a absorção de nutrientes de novos híbridos com tecnologia transgênica. No primeiro experimento, observaram absorção de 8% de N a mais que os híbridos antigos sem tecnologia transgênica. No segundo experimento, os autores perceberam absorção de 31% a mais de N no período de pós-florescimento nos híbridos atuais, o que reforça a tese de que os novos híbridos de milho, com novas práticas de manejo, têm maior potencial de eficiência de uso do nitrogênio, com absorção do nutriente até estádios mais tardios.

A cultura do milho pode extrair 340 kg ha^{-1} de N com exportação de aproximadamente 200 kg ha^{-1} de N (CANTARELLA, 2007a). França et al. (2011) cultivando milho em um solo com disponibilidade de N estimada em 192 kg ha^{-1} alcançaram extração máxima de N de 296 kg ha^{-1} com exportação de 112 kg ha^{-1} de N em $8,7 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos. Silva et al. (2011) mencionaram exportação de até 212 kg ha^{-1} N em $13,2 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos.

Para cada tonelada de grãos produzidos, a planta precisa extrair aproximadamente 27 kg de N do solo (MUNDSTOCK; SILVA, 2005). Lara Cabezas et al. (2000), descobriram que os grãos são responsáveis pela exportação de 51,8% do total de N absorvido pelas plantas de milho, constituindo assim o maior dreno de N desta cultura.

Esses dados destacam o papel da adubação nitrogenada no estabelecimento de lavouras de milho com alto potencial produtivo, fato que é ressaltado pela limitada capacidade do solo de suprir N para as plantas a partir da mineralização da matéria orgânica durante a

estação de crescimento. Em função disto, a adição de fertilizantes minerais nitrogenados constitui a fonte mais rápida deste nutriente.

2.4 Ureia

Os fertilizantes são indispensáveis para alavancar a produção de alimentos no mundo e o Brasil ocupa a quarta colocação entre os maiores consumidores desses insumos, embora com a participação de apenas 2% na produção mundial (STIPP; PROCHNOW, 2008).

Os principais adubos nitrogenados produzidos no mundo são sintetizados a partir do N_2 atmosférico e do H, o qual é obtido de combustíveis fósseis, principalmente gás natural e óleo (CANTARELLA, 2007a). Atualmente de 1,2 a 1,8% do consumo global de energia fóssil é para produção de fertilizantes nitrogenados (LAGREID; BOCKMAN; KAARSTAD, 1999).

O principal fertilizante utilizado no mundo é a ureia [$CO(NH_2)_2$], que é caracterizada como fertilizante sólido granulado com concentração por volta de 44 e 46% de nitrogênio na forma amídica. É produzida a partir da reação de NH_3 com o principal subproduto de sua síntese, o CO_2 , o que possibilita grande vantagem de menor custo de produção, além de não envolver reações com ácidos, que requerem materiais e equipamentos especiais, proporcionando uma maior facilidade de produção. Por essa razão, a ureia é a primeira opção do ponto de vista industrial e o fertilizante sólido com menor custo por unidade de N (CANTARELLA, 2007a).

No Brasil, segundo Cantarella (2007a), os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia – 45% de N; nitrato de amônio (NH_4NO_3) – 33% de N e o sulfato de amônio [$(NH_4)_2SO_4$] – 21% de N e 23% de S. Além desses, outros fertilizantes nitrogenados solúveis comuns são: nitrocálcio – 21 a 28% de N; fosfato monoamônico (MAP) – 11% de N, e 52% de P_2O_5 ; fosfato diamônico (DAP) – 16- 18% de N, e 42-48% de P_2O_5 ; amônia anidra- 82% de N; aquamônia – 10% de N; uran – 28-32% de N; nitrato de sódio – 16% de N; nitrato de cálcio – 14% de N; nitrato de potássio – 13% de N; nitrosulfato – 26% de N; nitrofosfatos – 13-26% de N, e 6-34% de P_2O_5 ; solução nitrogenada – 20% de N; ureia-formaldeído – 35% de N (CANTARELLA, 2007a; RAIJ, 2011).

Dentre as diversas fontes de nitrogênio utilizadas na cultura do milho a ureia é a mais empregada no Brasil. Isso se deve à sua alta solubilidade em água, a adequada assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas e ao teor de N no fertilizante maior do que os

outros adubos sólidos, o que favorece o transporte, armazenagem, manuseio e a aplicação no campo, no solo ou por via foliar (CANTARELLA, 1992). Além dessas vantagens, a ureia apresenta baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes (MELGAR; CAMOZZI; FIGUEROA, 1999).

Porém, a ureia apresenta algumas desvantagens, como a elevada higroscopicidade que é a tendência em absorver umidade do ar atmosférico. Outro aspecto negativo associado ao uso da ureia é a presença do biureto em sua composição, que pode ser fitotóxico em algumas culturas, quando aplicado via foliar. Outra desvantagem, está relacionada à escolha do modo de aplicação de nitrogênio em cobertura pelo fato de aplicações à lanço provocarem injúrias ao milho. No contato do fertilizante com a superfície das folhas das plantas, o adubo fica aderido à folha ou no cartucho do milho causando a “queima” dos mesmos, reduzindo a área e a capacidade fotossintética da planta, o que provoca a entrada de patógenos resultando assim em uma menor produtividade do milho em relação à aplicação localizada da ureia (OLIVEIRA; BALBINO, 1995).

No entanto, a principal desvantagem da ureia, é a maior susceptibilidade à volatilização de NH_3 , especialmente quando o fertilizante é aplicado na superfície do solo. Na presença de umidade alta ocorre a degradação e dissolução do grânulo de ureia aplicado ao solo e, ao entrar em contato com a enzima urease existente no solo e em resíduos vegetais, a ureia sofre hidrólise, gerando carbonato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. O acúmulo de carbonato de amônio causa o aumento no pH do solo próximo ao grânulo no local de sua aplicação contribuindo para aumentar as perdas por volatilização de NH_3 (MELGAR; CAMOZZI; FIGUEROA, 1999). Além disso, a elevação do pH e da concentração de amônia em torno da região adubada, pode provocar efeitos tóxicos sobre a germinação e crescimento de plântulas (CANTARELLA, 2007a). Segundo Rodrigues; Kiehl (1992), na camada próxima à aplicação da ureia, constatou-se aumento do pH em água, de 6,9 para 8,7.

A perda de N por volatilização de NH_3 para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da ureia aplicada sobre a superfície do solo (BOUWMEESTER et al., 1985; RAUN; JOHSON, 1999). A perda de amônia por volatilização, quando a ureia não é incorporada ao perfil do solo pela água da chuva ou de irrigação, pode atingir de 31 a 78 % do total de N aplicado (LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997). Essas perdas variam em função das condições climáticas e do tipo de solo devido a variações nos teores de argila (AL-KANANI; MACKENZIE; BARTHAKUR, 1991), matéria orgânica (RODRIGUES; KIEHL, 1986; SILVA et al.1995),

capacidade de troca de cátions (AL-KANANI; MACKENZIE; BARTHAKUR, 1991), e cobertura vegetal (TISDALE; NELSON; BEATON, 1984). Lara Cabezas et al. (2008), trabalhando em Latossolo vermelho ácrico, típico de vegetação originalmente do cerrado, na região de Uberlândia – MG, constataram que as perdas de N por volatilização de NH_3 foram 77% do total de N aplicado na forma de ureia em cobertura na cultura do milho .

A presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo influencia a quantidade de nitrogênio que se perde através da volatilização da amônia, especialmente quando a ureia é aplicada superficialmente (VARSA et al., 1995). Isto é considerável principalmente no SPD, onde grande parte dos agricultores efetua a adubação de cobertura com ureia, em aplicações superficiais e a lanço. Além disso, o incremento do conteúdo de matéria orgânica, verificado nas camadas superficiais do solo cultivado em SPD, tende a elevar a população microbiana e a CTC (BAYER; MIELNICZUK, 1997). Dessa forma, tem-se maior atividade da urease, que cataliza a hidrólise da ureia, favorecendo a volatilização de NH_3 . De acordo com Lara Cabezas (1998), as perdas de NH_3 com a aplicação de ureia podem chegar a quase 80% com a aplicação superficial no plantio direto e 30% no plantio convencional.

Como alternativa para diminuir as perdas de N oriundos da ureia por volatilização, pode-se citar a incorporação do fertilizante (LARA CABEZAS; SOUZA, 2008). A incorporação da ureia ao solo consiste num eficiente método para diminuição das perdas de N por volatilização da amônia, já que esta se encontra em subsuperfície diminuindo, dessa maneira, as perdas de N em formas gasosas (CANTARELLA, 1993; LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997). No entanto, embora eficiente, essa prática se restringe a adubação realizada no momento do plantio, visto que a incorporação da ureia em subsuperfície na adubação nitrogenada de cobertura, ainda é pouco utilizada pelos produtores, devido principalmente ao custo operacional e ao dano que esta incorporação pode causar ao sistema radicular das culturas (RODRIGUES; KIEHL, 1986). Uma possibilidade viável seria incorporar a ureia através da ação de chuvas ou por água de irrigação, mas, como a hidrólise da ureia é rápida, a precipitação pluvial em quantidade suficiente tem que acontecer dentro de 1 a 3 dias para ser efetiva (FRENEY et al., 1994).

A incorporação da ureia praticamente elimina a volatilização da amônia (RODRIGUES; KIEHL, 1986; SILVA et al., 1995) porque aumenta o contato entre o fertilizante e o solo, favorecendo a adsorção de NH_4^+ às cargas negativas. Além disso, ao se difundir para a atmosfera, a amônia encontra sítios com valores de pH menores do que aqueles existentes ao redor dos grânulos e se transforma em amônio, que não é volátil. Silva

et al.(1995) trabalharam com três classes de solo e verificaram que a incorporação da ureia diminuiu em até 90 % as perdas de NH_3 , em relação à aplicação superficial. Mensurações feitas em condições de campo, em milho, mostraram perdas entre 12 e 30% do N-ureia aplicado na superfície dos solos, mas essas se reduziram radicalmente quando a ureia foi incorporada (ANJOS; TEDESCO, 1974; CANTARELLA et al., 1999).

A mistura de ureia com outros fertilizantes nitrogenados consiste em uma outra alternativa para reduzir as perdas de NH_3 por volatilização. A mistura de ureia com sulfato de amônio na proporção 50% e 50% reduziu as perdas de amônia devido à menor quantidade de ureia, bem como pelo efeito acidificante do sulfato de amônio, que pode diminuir o efeito local de elevação do pH provocado pela hidrólise da ureia (VITTI et al., 2002). Lara Cabezas; Couto (2007) comparando a aplicação de ureia e mistura de ureia com sulfato de amônio, observaram ao final do ciclo do milho recuperação de 82,5 e 59,9% do N aplicado para ureia com sulfato de amônio e ureia respectivamente, mostrando maior eficiência de recuperação para a mistura de fertilizantes. Resultado semelhante foi encontrado por Villas Boas et al. (2005) que observaram, aos 66 dias após a germinação das plantas de milho, recuperação de 67% do ^{15}N aplicado na forma de ureia com sulfato de amônio.

De acordo com Cantarella (2007a), as perdas de N para o ambiente, refletindo em menor aproveitamento de N pelas culturas, estão associadas à concentração na solução do solo, de formas solúveis de N geral ou das formas mais susceptíveis a perdas. Uma das formas de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta, ou controlada, ou com inibidores para evitar a rápida transformação do N do fertilizante em formas menos estáveis em determinados ambientes.

2.5 Fertilizantes com eficiência aumentada

Geralmente a maioria dos fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura brasileira para a cultura do milho é solúvel em água, tais como a ureia, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio, e liberam rapidamente no solo as formas de N prontamente assimiláveis pelas plantas, NO_3^- e NH_4^+ , que também são as formas de N mais susceptíveis a perdas do sistema agrícola (CANTARELLA; MARCELINO, 2008). Diante das perdas registradas com a aplicação de fertilizantes nitrogenados, as quais provocam diminuição de produtividade, dos lucros e, principalmente, danos ao meio ambiente, várias formas de tecnologias de fertilizantes estão sendo estudadas para se mitigar ou até mesmo anular esses efeitos.

Uma das alternativas para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes é a utilização de fertilizantes conhecidos como fertilizantes especiais ou de eficiência aprimorada. Esses tipos de fertilizantes são caracterizados como fertilizantes de liberação lenta ou controlada e fertilizante estabilizados, sendo que o primeiro inclui os de liberação por vários meses e o segundo os associados com inibidores de urease e nitrificação (TRENKEL, 2010).

Há dois grupos importantes de fertilizantes classificados como de liberação lenta ou controlada. Um deles é formado por compostos originados da condensação de ureia e ureia formaldeído, apresentando baixa solubilidade e liberação lenta. O outro é formado por produtos solúveis, encapsulados ou recobertos e apresentam liberação controlada. (TRENKEL, 1997).

No caso dos compostos de condensação de ureia os mais importantes são: ureia-formaldeído, ureia isobutilaldeído e ureia crotonaldeído. A solubilidade desta classe de 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, em água quente e insolúvel em água. No solo, esses compostos sofrem degradação química e biológica, liberando o nitrogênio gradualmente às plantas (CANTARELLA, 2007a).

Por outro lado, os produtos encapsulados ou recobertos, dentre eles destacam-se os fertilizantes nitrogenados, que possuem liberação retardada ou controlada, são formados por vários materiais, sendo que os mais comuns são: grânulos recobertos por polímeros orgânicos, termoplásticos ou resinas; ou como materiais inorgânicos. No caso da liberação de N dos fertilizantes recobertos com polímeros é pouco afetada pelas características do solo (pH, textura, salinidade, atividade microbiana), contudo é influenciada pela temperatura do solo e pela permeabilidade à água do material usado para o recobrimento, onde o modo de liberação envolve a difusão do fertilizante solúvel do interior do grânulo para o solo (CANTARELLA, 2007a).

Não existe diferença oficial entre liberação lenta e controlada, no entanto, os produtos microbiologicamente degradáveis, como ureia-formaldeído e ureia-aldeído são normalmente designados comercialmente como adubos de liberação lenta. Por sua vez, os fertilizantes revestidos por enxofre ou polímeros de características distintas são designados de fertilizantes de liberação controlada (TRENKEL, 1997).

Os fertilizantes estabilizados são divididos em duas classes, os tratados com inibidores de nitrificação e de urease.

Segundo Fancelli (2010), os inibidores de nitrificação reduzem drasticamente a formação de NO_3^- no solo, pois bloqueiam a ação de bactérias do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela oxidação do NH_4^+ a NO_2^- . Com isso, há preservação no solo do nitrogênio amoniacal por mais tempo, diminuindo a possibilidade de perdas por lixiviação de nitrato e por desnitrificação. O período efetivo de inibição dos principais produtos disponíveis no mercado varia de 3 a 10 semanas, dependendo do tipo de solo e umidade, mas principalmente da temperatura (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). Os inibidores mais usados são a nitrapirina, a dicianodiamida, e o fosfato de 3,4-dimetilpirazole.

Conforme Cantarella (2007a), os inibidores de urease se caracterizam por reduzir a taxa ou velocidade de hidrólise da ureia, que por sua vez, reduzem as perdas por volatilização de NH_3 . O produto mais usado é o NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida ou N-n-butiltriamida do ácido tiofosfórico).

Os fertilizantes revestidos com polímeros possuem membranas impermeáveis ou semi-impermeáveis com poros finos. Diversos tipos de polímeros estão sendo desenvolvidos, no qual a taxa de liberação de nutrientes pode ser alterada através da composição e da espessura do revestimento, dando longevidades desde um a 24 meses. A maioria dos polímeros utilizados como revestimento decompõe-se muito devagar, deixando resíduos. Isto pode ser considerado como desvantagem ambiental. Pesquisas estão sendo realizadas para o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis após aplicação, no caso de polietileno, polipropileno e copolímeros de etileno. São fertilizantes considerados mais caros em relação às fontes convencionais. A diferença existente entre as fontes de fertilizantes comuns e os de liberação lenta ou controlada são que, a medida que os fertilizantes comuns têm sua disponibilização total no solo dependente das condições, os fertilizantes de liberação lenta ou controlada possibilitam prever, dentro de certos limites, a liberação dos elementos (TRENKEL, 2010).

Os principais benefícios dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada, segundo Shaviv (2001) e Trenkel (2010) são: menor necessidade de parcelamento em cobertura; fornecimento regular e contínuo de nutrientes para as plantas; reduzir o uso de mão de obra; ocasionar economia de combustível; trazer a minimização da compactação do solo; bons rendimentos de produtividade; reduz a toxicidade e permitindo a aplicação de doses maiores de fertilizantes, em comparação aos fertilizantes comuns; redução de perdas de nutriente por lixiviação e volatilização; reduzem as perdas por evaporação de amônia; eliminação de danos

causados a sementes e raízes devido à alta concentração de sais; maior praticidade no manuseio dos fertilizantes; redução de contaminação ao meio ambiente.

Como desvantagens do uso dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada tem-se: não existir métodos padronizados para determinação confiável de liberação de nutrientes disponíveis; a fonte de nitrogênio pode ser liberada na solução do solo muito lentamente, ou então, não ser liberada; fertilizantes revestidos com enxofre podem ser liberados rapidamente e causa danos a cultura; fertilizantes revestidos com polímeros podem deixar resíduos indesejáveis nas áreas cultiváveis; o custo de produção é consideravelmente mais elevado do que dos adubos minerais comuns (TRENKEL, 2010).

De acordo com Vieira; Teixeira (2004), fertilizantes revestidos por polímeros, comparados com as fontes solúveis não distinguem quanto à época de aplicação. As alterações acontecem de um modo que maximiza a sua eficiência de utilização, pois fertilizantes com polímeros diminui as perdas de nutrientes por lixiviação e volatilização, viabilizando a redução na dose aplicada (ZAHIRANI, 2000).

A liberação dos fertilizantes revestidos por polímeros é influenciada pela temperatura do solo, umidade e espessura do revestimento de polímero. Com a elevação da temperatura ocorrerá liberação mais intensa e reduzirá o tempo de longevidade do fertilizante. Conforme Trenkel (1997), o revestimento influencia diretamente no mecanismo e na intensidade do processo de liberação. Assim a espessura do revestimento, sua natureza química, a quantidade de microfissuras e o tamanho do grânulo de fertilizante, interferem na liberação do nitrogênio no solo.

Segundo Shaviv (2005), o modo de liberação do nutriente envolve a difusão do fertilizante solúvel do interior do grânulo para o solo, sendo que a água, ao penetrar o interior do grânulo através dos microporos do material de cobertura, aumenta a pressão osmótica no interior do grânulo, a qual provoca elevação do potencial de pressão interna, havendo assim o esticamento da membrana de cobertura e o aumento do tamanho dos poros, facilitando a difusão do fertilizante para o solo (CANTARELLA, 2007a).

Diversos autores relataram os benefícios no emprego de fertilizantes revestidos com polímeros. Na cultura da cevada, utilizando a técnica do traçador isotópico ^{15}N , Shoji et al. (2001), verificaram que usando o fertilizante de liberação gradual, a recuperação do N foi de 66%, aumentando portanto a eficiência na utilização do fertilizante, quando comparado a estudos com fertilizantes convencionais. Em experimento realizado em casa de vegetação, Mikkelsen; Williams; Behel (1994), obtiveram maiores perdas de N por lixiviação do NO_3^-

quando aplicado fertilizante convencional do que quando aplicado fertilizante revestido. Por sua vez Boman; Battikhi (2007) observaram que a aplicação de fertilizante nitrogenado de liberação lenta diminui a necessidade de parcelamento das adubações.

Em experimento de campo com trigo de inverno, Fan et al. (2004) constataram que o rendimento máximo da cultura e a eficiência na utilização do N, foram maiores nos tratamentos com ureia recoberta em comparação com a ureia comum. Barati et al. (2006), também avaliaram a eficiência de fontes de nitrogênio (cloreto de amônio, ureia e ureia revestida) e observaram que a recuperação de nitrogênio foi maior quando se utilizou a ureia revestida. Trabalhando com a ureia revestida com polímero, Wilson et al. (2009), demonstraram possível redução na necessidade de dividir a aplicação de N para a batata.

Cheng et al. (2002) verificaram que a utilização de ureia recoberta contribuiu para o aumento no peso de plantas de repolho quando comparado com tratamentos em que foi utilizada ureia convencional, além de ter possibilitado redução de até 20% na dose recomendada, aumentando assim a sua eficiência. Para cultura da cevada foi observada a proliferação de raízes em torno do grânulo da ureia recoberta, sendo a absorção desta relacionada ao melhor desenvolvimento radicular (ZHANG et al., 2000).

Bahr; Zeidan; Hozayn (2006), obtiveram aumento na concentração de NPK, proteína e óleo nos grãos de milho quando utilizado fertilizante nitrogenado de lenta liberação, mesmo em doses inferiores em relação à ureia não recoberta. Para os autores, o resultado foi devido ao constante suprimento de N às raízes, diminuindo as perdas do sistema quando comparado com a ureia não recoberta.

Bono et al. (2008) conseguiram resultados positivos na melhoria da qualidade fisiológica das sementes de milho com a aplicação de ureia recoberta com polímero em comparação a convencional, fato ocorrido principalmente pela liberação gradual de N, garantindo adequado fornecimento do nutriente durante o crescimento da cultura. Também observaram que a aplicação de todo o nitrogênio na semeadura, na forma de ureia recoberta, possibilitou melhor utilização do N na produção de sementes de milho, se comparado com a adubação parcelada.

De acordo com Noellsch et al. (2009), na cultura do milho, obteve-se maior absorção de nitrogênio e maior produtividade de grãos quando a adubação foi feita com ureia polimerizada. Zañón Júnior et al. (2011), analisando a eficiência agrônômica do uso da ureia revestida com polímeros na adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho,

observaram efeito de fontes em relação à produtividade de grãos, sendo que o uso de ureia revestida com polímeros apresentou valores 5,3 % superiores ao da ureia comum.

Costa; Miyazawa; Tiski (2011), também encontraram bons resultados em relação ao uso da tecnologia de revestimento da ureia. Para os autores, que analisaram as respostas da cultura do milho em relação ao uso de ureia revestida com polímeros, a produtividade máxima alcançada pela cultura com ureia revestida foi de 7.093 kg ha⁻¹ enquanto com a ureia comum foi de 6.100 Kg ha⁻¹.

A despeito dos resultados positivos, acima mencionados, também se encontram na literatura relatos de resultados de produção agrícola contraditórios, nas condições em que vem sendo testados. De acordo com Cahill et al. (2010), fontes alternativas polimerizadas proporcionaram pouco benefício agrônômico para produção de grãos de trigo e milho. Segundo Mckenzie et al. (2010), a liberação de N da ureia revestida com polímero promoveu a diminuição do rendimento de grãos de trigo.

Experimento realizado em Selvíria-MS, não foi constatado efeito significativo da ureia revestida com polímeros sobre o rendimento de grãos de feijão (VALDERRAMA et al., 2009). Em Jataí-GO, comparando-se ureia revestida com polímero aplicado a lanço e ureia convencional incorporada, a aplicação da ureia incorporada evidenciou maior enchimento de grãos e maior produtividade de grãos em comparação ureia revestida aplicada em superfície (CIVARDI et al., 2011). Em outro experimento realizado nos EUA, usando ureia revestida com polímeros, não foi verificado aumento na produtividade de grãos de milho (NELSON; PANIAGUA; MOTAVALLI, 2009).

Por sua vez, a classe dos inibidores de urease disponível classifica-se em reagentes que interagem com o grupo sulfidríla; hidroxamatos e compostos estruturalmente análogos à ureia, os quais inibem a ação da urease. Deste último grupo, faz parte um dos mais importantes inibidores de urease disponíveis no mercado, o NBPT [N-(n-butil) triamidatíofosfórica] (WATSON, 2000). Trata-se de um aditivo que protege a ureia aplicada em superfície da degradação e das perdas por volatilização da amônia. O produto ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima (KOLODZIEJ, 1994), retardando a degradação enzimática da ureia, pela ação da urease, por um período de 10 a 14 dias, sendo posteriormente degradado em seus elementos constituintes N, P e S (AGROTAIN, 2001). Ao retardar a hidrólise o NBPT permite a difusão da ureia no solo; assim o inibidor evita alta concentração de NH₄⁺ e pH elevado na zona de aplicação do fertilizante e reduz a volatilização de NH₃ (CHRISTIANSON et al., 1993).

O NBPT é um inibidor indireto que, em condições de aerobiose, é convertido ao inibidor direto, seu composto oxigênio análogo, o [N-(n-butil) triamida fosfórica] (NBPTO), em questão de minutos ou horas. O NBPT tem apresentado melhor desempenho em retardar a hidrólise da ureia do que a aplicação direta do seu análogo NBPTO. A razão desta superioridade parece ser a taxa de formação de NBPT em NBPTO, que prolonga o efeito do inibidor, pois a degradação do NBPTO é mais rápida (HENDRICKSON; DOUGLASS, 1993).

Conforme Cantarella (2007a), a conversão do NBPT em NBPTO é rápida em solos bem arejados, podendo ocorrer em minutos ou horas, mas pode levar vários dias em condições de solos inundados. O NBPT tem sido usado em alguns países com resultados frequentemente satisfatórios, sendo eficiente em baixas concentrações e sua aplicação não tem mostrado efeito sobre as propriedades biológicas do solo, o que contribuiu para tornar seu uso viável. Existe uma formulação comercial contendo de 20% a 25% de NBPT que está disponível no mercado para ser misturada com fertilizantes nitrogenados já fabricados. A formulação comercial em uso é empregada em concentrações que variam de 500 a 1.000 mg kg⁻¹ de NBPT na ureia, sendo que no Brasil a dose que vem sendo utilizada é de cerca de 530 mg kg⁻¹.

Existem dúvidas quanto à estabilidade do NBPT após a sua aplicação na ureia, pois o inibidor tende a perder a eficiência com o tempo de armazenamento. Revisões recentes na rotulação do produto nos EUA indicam que o tempo de armazenamento pode prolongar em até nove meses a 15°C. Contudo em regiões tropicais, onde há maior temperatura, pode ocorrer degradação do NBPT, como mostrado no estudo de WATSON et al. (2008), em que a meia vida do NBPT foi de 10 semanas quando armazenado a 25°C, o que poderia afetar a eficiência do inibidor em diminuir a volatilização de NH₃. A inclusão de materiais orgânicos à ureia para a produção de fertilizantes organominerais tratados com o inibidor pode reduzir o tempo de prateleira do NBPT (GIOACCHINI et al., 2000). De acordo com esses autores, o efeito inibidor do NBPT aplicado à ureia e à ureia misturada com turfa, tende a abaixar com a elevação da temperatura e do tempo de armazenamento.

Estudos mostram que o NBPT não é capaz de controlar completamente as perdas de NH₃ que acontecem quando a ureia é aplicada na superfície de solos, tendo em vista que a ação do NBPT depende das condições ambientais e das características físico-químicas do solo. Apesar disso, o inibidor pode prorrogar a hidrólise da ureia e diminuir consideravelmente as perdas de NH₃ dependendo das condições climáticas. A incidência de chuvas suficientes para incorporar a ureia ao solo em um intervalo de 3 a 7 dias após a

adubação é a condição que mais favorece a eficiência do NBPT em reduzir as perdas por volatilização de NH_3 . Em períodos secos, alguma redução na volatilização tem sido percebida, já que, a ureia tratada com inibidor a hidrólise é mais lenta, favorecendo a difusão do fertilizante para o interior do solo, porém a ausência de chuvas que é um processo de incorporação do fertilizante ao solo, faz com que diminua a eficiência do NBPT para controlar as perdas de NH_3 e, conseqüentemente, aumentar o aproveitamento pelas culturas do N aplicado (CANTARELLA, 2007b).

De acordo com Rawluk; Grant; Racz (2001), depois de aplicado ao solo, o NBPT tende a ser menos eficiente em altas temperaturas, onde há maior atividade de urease, maior dissolução dos grânulos e maior evaporação da solução do solo, que provoca a movimentação da ureia e de NH_3 em direção à superfície.

Em um trabalho visando estudar a velocidade de hidrólise da ureia 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 NH_3 e mineralização de N. Segundo Carmona; Christianson; Byrnes (1990), resultados obtidos em condições controladas de laboratório indicam redução da atividade da urease com o aumento da concentração do NBPT aplicado com ureia.

De acordo com Marcondes (2007), a ureia com inibidor de urease obteve menores perdas e ocasionou um melhor aproveitamento do N ocorrendo perdas de amônia de 5,7 e 9,2% em laboratório e em casa de vegetação, respectivamente. Já a ureia comum apresentou perdas de amônia de 17,45 e 43,2% em laboratório e em casa de vegetação, respectivamente. Para o mesmo autor, em estudo de campo, as perdas de amônia utilizando a fonte ureia comum foram de 13% e de apenas 4% para a ureia com redutor de urease.

Em experimentos de campo com a cultura do milho, Cantarella et al. (2009) determinaram que o inibidor reduz, em média, em 56% a volatilização de NH_3 . Gans; Herbst; Merbach (2006), estudando a influência de dois inibidores de urease na ureia na cultura da aveia, verificaram que os dois inibidores de urease reduziram as perdas de N por volatilização de NH_3 e aumentaram o rendimento da aveia, quando comparado a ureia comum.

Experimentos realizados com soqueira de cana-de-açúcar em solo coberto com palha, Cantarella et al. (2008) mostraram que a diminuição de perdas de amônia com a adição de NBPT à ureia foi de cerca de 52%, quando o fertilizante foi aplicado em clima úmido, e de 32% em clima seco. Segundo os mesmos autores, a menor eficiência de redução do inibidor obtida em clima seco ocorreu devido ao fertilizante ter ficado na camada de palha na

superfície e não ter sido incorporado ao solo, além disso, não ocorreu chuva no tempo em que o inibidor é mais eficiente.

Para Cantarella et al. (2002), o NBPT adicionado à ureia aplicada em cana colhida, mostraram que o inibidor reduziu à metade as perdas de NH_3 por volatilização. Porém, não houve diferença entre o rendimento de colmos obtidos com ureia e ureia tratada com NBPT. Os benefícios da mistura ureia com NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de NH_3 será convertida em aumento de produção de culturas (HENDRICKSON, 1992; WATSON; POLAND; ALLEN, 1998).

Leal et al. (2010) trabalhando com doses de N em cobertura na cultura do algodoeiro utilizando ureia revestida por NBPT e ureia comum, verificaram que com a primeira fonte na dose de 120 kg ha^{-1} de N em cobertura foi suficiente para atingir produtividade máxima de 4.650 kg ha^{-1} de algodão em caroço, enquanto que com a ureia, foi necessário fornecer 180 kg ha^{-1} de N para que produtividades semelhantes fossem atingidas. Já Rozas et al. (1999), em área sob plantio direto, certificaram que a aplicação de ureia com NBPT, não afetou na produtividade do milho, quando comparado à ureia comum.

Segundo Scharlau et al. (2007), avaliando a volatilização da amônia a partir da aplicação de 98 e 140 kg ha^{-1} de N utilizando as fontes ureia, ureia com inibidor de urease e nitrato de amônio, o maior percentual de NH_3 volatilizada foi de 18,51%, obtida no solo adubado com ureia e com a dose de 140 kg ha^{-1} de N. Com essa mesma dose, o percentual de volatilização de NH_3 obtida no tratamento com ureia com inibidor de urease foi de 7,53%.

Silva et al. (2011) observaram diminuição nos níveis de N nas folhas do milho nas menores doses de ureia tratada com NBPT, em relação a ureia comum, devido a esse tipo de ureia disponibilizar o N lentamente. Porém quando se aplicou a ureia comum nas maiores doses, houve redução no tamanho das folhas, em consequência da maior perda por volatilização.

2.6 Fertilizante organomineral

Na legislação brasileira, por meio da INSTRUÇÃO NORMATIVA (IN) Nº 23, DE 31 DE AGOSTO DE 2005, o fertilizante organomineral é definido como: “produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”. No CAPÍTULO III da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009, SEÇÃO V, Art. 8º, § 1º,

estão estabelecidas as atuais especificações, garantias e características dos fertilizantes organominerais sólidos para aplicação no solo. Segundo a referida IN, os fertilizantes organominerais sólidos deverão apresentar, no mínimo: carbono orgânico: 8%; CTC: 80 mmolc kg⁻¹; macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK): 10%; macronutrientes secundários: 5% e umidade máxima de 30%.

De acordo com Kiehl (2008), a fabricação de fertilizantes organominerais no Brasil iniciou após sua incorporação na legislação Brasileira, em 1982, mas na história da adubação, a utilização do fertilizante organomineral pode ser considerada recente, se comparado aos fertilizantes minerais, com cerca de 150 anos de experimentos. Esse fertilizante permite o suprimento combinado de nutrientes minerais e matéria orgânica, proporcionando uma série de vantagens sobre a aplicação de fertilizantes minerais ou compostos orgânicos (TEIXEIRA, 2013).

Os fertilizantes organominerais variam em conteúdo mineral e orgânico, mas, em geral diversos autores observaram efeitos tais como: redução da necessidade de adubação fosfatada, pois há diminuição da fixação do fósforo pelos compostos minerais (TIRITAN et al., 2010), aumento da disponibilidade dos nutrientes proporcionados pela adubação química (OLIVEIRA et al., 2010). Além disso, há uma maior disponibilidade de Ca, Mg e K, maiores teores de matéria orgânica, aumento da CTC a pH 7 (SÁ et al., 2010), maior complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, além de melhorar a estrutura, proporcionar maior infiltração de água, aumentar a aeração e a atividade e diversidade dos microrganismos (TEIXEIRA, 2013) particularmente nas camadas superficiais (ABU-RAYYAN; SHATAT; ABU-IRMAILEH, 2011), promovendo a melhoria de propriedades físicas do solo (CARVALHO et al., 2014). De acordo com Levrero (2009), há também um melhor desenvolvimento radicular; baixa propensão à erosão; menor acidificação do solo, com redução do uso de calcário; custo operacional mais baixo com aplicação simultânea do produto orgânico e do mineral.

A aplicação do fertilizante organomineral no solo é efetuada sob duas formas: como uma formulação organomineral e como uma mistura de fertilizante mineral associada ao orgânico (TEJADA; BENITEZ; GONZALEZ, 2005).

O fertilizante organomineral se caracteriza por apresentar potencial químico reativo relativamente inferior ao fertilizante mineral, mas a sua solubilização é gradativa no decorrer do período de desenvolvimento da cultura, assim, sua eficiência agrônômica pode se tornar maior se comparado às fontes minerais solúveis (KIEHL, 2008).

Segundo Moreschi et al. (2013), trabalhando com doses e fontes de mineral e organomineral na semeadura da cultura do feijoeiro, constatou que a eficiência na utilização dos nutrientes aplicados do fertilizante organomineral foi maior que a do fertilizante mineral na maioria das doses avaliadas.

Cardoso et al. (2013), não encontrou diferenças significativas na cultura da batata, cv Ágata, submetida a diferentes doses de fertilizante organomineral comparadas com o fertilizante mineral. A utilização de 40% da quantidade de nutrientes fornecidos pela fertilização com o mineral via organomineral não diferiu significativamente da produção obtida com o fertilizante mineral (100% NPK).

Conforme Teixeira (2013), a fração orgânica do fertilizante organomineral contribui para o aumento de cargas negativas do solo, possibilitando uma liberação gradual de nutriente, diminuindo perdas por lixiviação. A contribuição do húmus no poder de adsorção de cátions na superfície dos minerais dos solos varia entre 25 a 90%, retendo facilmente nutrientes como K, Mg, Ca e outros (BRADY; WEIL, 2002).

Tejada; Benitez; Gonzalez (2005), estudando as perdas por lixiviação de nutrientes de um solo tratado com fertilizante organomineral e combinação de fertilizante mineral com orgânico, perceberam que as perdas de N, P e K foram maiores no solo que recebeu a combinação dos fertilizantes. Eles também verificaram que a aplicação do fertilizante organomineral resultou em aumento significativo no teor de proteína bruta, no número de grãos por espiga, no número de espigas por metro quadrado, no peso de 1000 grãos e no rendimento do trigo, em relação à combinação de fertilizante mineral com orgânico.

Dessa forma, nota-se que a utilização do fertilizante organomineral promove o aumento na produção das culturas devido à ação da matéria orgânica favorecendo o melhor aproveitamento dos nutrientes minerais, porém há ainda uma carência de estudos sobre a dinâmica de reação desse fertilizante nos solos (TEIXEIRA, 2013).

2.7 Dose de nitrogênio

A recomendação da dose de N a ser utilizada deve ser feita com bastante cuidado, haja vista que se subestimada, ocorrerá à redução da produtividade e, quando superestimada, diminuem a rentabilidade do produtor pelo gasto desnecessário com fertilizantes, além de influenciar negativamente o meio ambiente, em consequência das perdas de N devido o excesso disponível (ARGENTA et al. 2003).

Para tanto, é necessário que a recomendação da dose do fertilizante nitrogenado seja a mais precisa possível (AMADO; MIELNICZUK; AITA 2002), pois, dificilmente a quantidade de N requerida para a cultura será suprida apenas pelo solo, havendo necessidade de se usar outras fontes suplementares deste nutriente, especialmente através de adubos. Nessa recomendação deve se levar em consideração às condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (SPD ou convencional), época de semeadura, material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de nitrogênio, aspectos econômicos e operacionais (BOBATO, 2006).

Em função da crescente produtividade da cultura, doses maiores de N são necessárias. Nos Estados Unidos, por exemplo, a dose média de N aplicado em 1947 era de 11 kg ha⁻¹, chegando em 1997 a uma média de 176 kg ha⁻¹ em algumas regiões, o que representa um aumento de 16 vezes no consumo de N por hectare (FARNHAM; BENSON; PEARCE, 2003). Em sistemas de produção de milho de alta produtividade no sul do Brasil, doses de até 200 kg ha⁻¹ de N são recomendadas por Amado; Mielniczuk; Aita (2002) para aplicação em cobertura.

No Estado de Minas Gerais, a recomendação de nitrogênio é efetuada de acordo com a produtividade esperada, aplicando-se 10 a 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura para plantio convencional e 30 kg ha⁻¹ de N para SPD. Em cobertura, a recomendação é de 60 kg ha⁻¹ de N para produtividade esperada de 4 a 6 Mg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹ de N para produtividade esperada de 6 a 8 Mg ha⁻¹ e de 140 kg ha⁻¹ de N para produtividade acima de 8 Mg ha⁻¹ de grãos. Para as semeaduras em sucessão e/ou, em rotação com a soja, recomenda-se reduzir 20 Kg ha⁻¹ de N da adubação de cobertura. (ALVES et al., 1999).

A aplicação de N deve ser feita na semeadura ou pré-semeadura e a outra em cobertura. O parcelamento do N em mais de uma adubação de cobertura frequentemente não é necessário, especialmente se a quantidade aplicada for inferior a 150 kg ha⁻¹ de N, e o solo tiver teor de argila superior a 35% (YAMADA et al., 2007).

Outro estudo feito por Ferreira et al. (2001), com relação ao efeito da adubação nitrogenada em quatro doses (0; 70; 140 e 210 kg ha⁻¹) sobre a produção e qualidade de grãos, mostraram que a produção de grãos, o número de espigas por planta, a massa das espigas com e sem palha e a massa de 1.000 grãos aumentaram com o incremento das doses de N, obtendo-se a máxima produção com a dose de 200 kg ha⁻¹. No entanto, Casagrande; Fornasier Filho (2002), avaliando doses e épocas de aplicação do N em milho safrinha, não constataram o efeito do N para altura de plantas e de espigas, massa de 1.000 grãos, índice de

colheita e produtividade de grãos, independente da forma de aplicação, ausência de resposta essa justificada pelo alto teor de matéria orgânica presente no solo.

Segundo Heinrichs et al. (2003), não foi observado um efeito positivo das doses de N sobre o comprimento de espigas, enquanto que, a massa de 1.000 grãos e a produtividade foram influenciados pelas doses de N.

De acordo com Valderrama et al. (2011), estudando o efeito de doses de N na cultura do milho, constataram que a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N proporcionou a maior produtividade de grãos. Soratto et al. (2011), estudando doses crescentes de nitrogênio, verificaram aumento da produtividade do milho até a dose de 124 kg ha⁻¹ de N. Queiroz et al. (2011) também observou resposta positiva da adubação nitrogenada no milho, sendo a maior produtividade de grão obtida com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N. Bastos et al. (2008) obtiveram aumento da produtividade do milho até a dose de 180 kg ha⁻¹ de N.

Araujo; Ferreira; Cruz (2004) trabalhando com doses de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, constataram aumento na produção de grãos e parte aérea do milho com o aumento das doses, sendo que o acúmulo máximo da matéria seca pela parte aérea das plantas correspondeu a maior dose de N aplicada.

No cerrado, Kaneko et al. (2010) trabalhando com doses de N em cobertura na cultura do milho em rotação a cultura da soja, observaram resposta linear até a dose de 160 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia sendo que a máxima produtividade evidenciada nesse estudo foi de 11.640 kg ha⁻¹.

Fernandes; Libardi (2009) avaliando o efeito de doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) utilizando o sulfato de amônio marcado com ¹⁵N no sistema milho – braquiária, em um solo com 20% de argila, notaram lixiviação significativa de NO₃⁻ para as doses de 120 e 180 kg ha⁻¹, indicando assim que se deve ter cautela para evitar perdas e contaminar o meio ambiente com excesso de N especialmente nos solos mais arenosos.

Dessa forma, é importante ressaltar que a adequada recomendação da dose de N é fundamental para garantir um maior retorno econômico ao agricultor e reduzir a contaminação ambiental.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido durante o ano de 2015 no município de Monte Carmelo - MG. A área pertence à Universidade Federal de Uberlândia cujas coordenadas geográficas são: latitude de 18° 44' 5"S, longitude de 47° 29' 47"W e altitude média de 890 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013).

Anteriormente a implantação do experimento, esta área permaneceu por três anos sob pastagem (*Brachiaria decumbens*).

Antes da implantação do experimento a caracterização química e argila no solo da área experimental, apresentaram os seguintes resultados:

TABELA 1. Caracterização química e argila no solo da área experimental.

Prof.	pH	P _{mehlich}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	SB	M.O.	V	m	Argila
(cm)	(H ₂ O)	---(mg dm ⁻³)---				(cmolc dm ⁻³)				(dag kg ⁻¹)			-----(%)-----
00-20	5,7	17,9	187	2,1	0,7	0,0	3,6	6,88	3,28	4,2	48	0	54

Prof = profundidade; P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); P disponível (extrator Mehlich⁻¹); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio (EMBRAPA, 2009). M.O. = Método Colorimétrico.

3.2 Dados climatológicos

O clima da região de Monte Carmelo - MG, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger é classificado como Aw, tropical com estação seca de inverno. A região climática do município de Monte Carmelo apresenta a seguinte média dos últimos 4 anos da temperatura e precipitação:

TABELA 2. Média de temperatura (°C) e precipitação (mm) do município de Monte Carmelo – MG.

Mês	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	23,3	316,5
Fevereiro	23,9	176,2
Março	23,4	207,3
Abril	22,5	65,8
Mai	20,3	25,5
Junho	19,5	19,8
Julho	19,4	8,5
Agosto	20,9	3,0
Setembro	23,0	48,8
Outubro	24,1	102,1
Novembro	23,3	181,0
Dezembro	23,5	255,8

Fonte: Cooxupé

Durante o período experimental, as variações das temperaturas média, máxima e mínima, e a precipitação média estão apresentadas na figura 1, e valores de umidade média, máxima e mínima, e a velocidade máxima do vento estão descritas na figura 2. Estes dados foram obtidos no posto meteorológico automatizado, instalado na Cooxupé (Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda), no município de Monte Carmelo - MG.

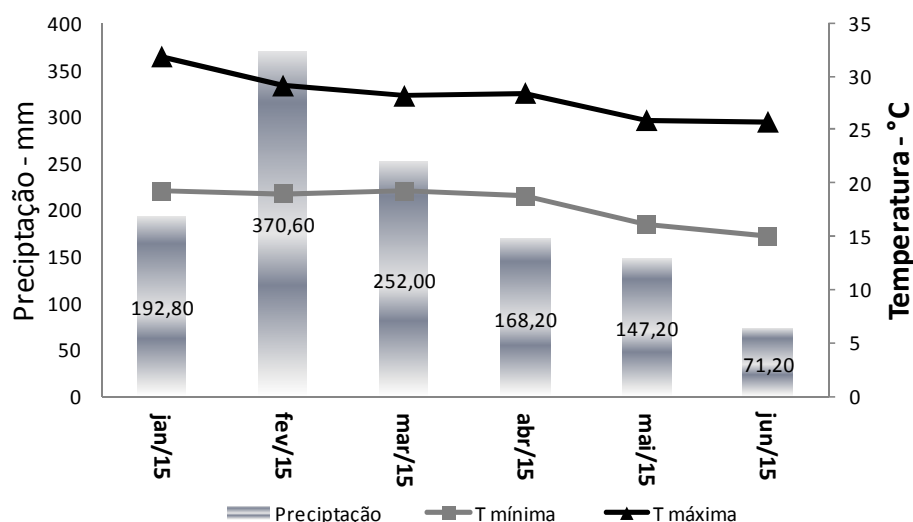


FIGURA 1. Precipitação média (mm) e temperatura média, máxima e mínima (°C), do município de Monte Carmelo – MG.

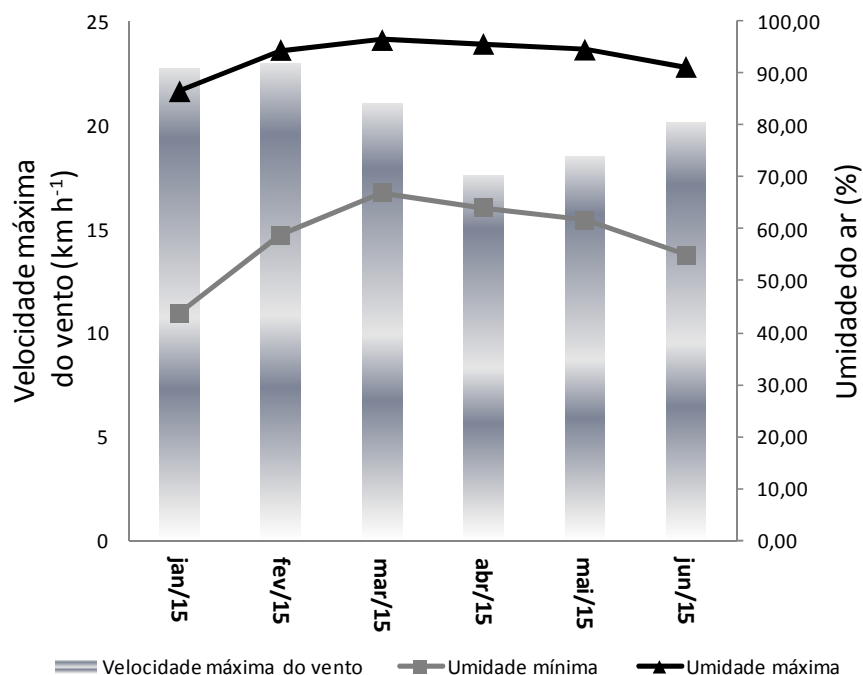


FIGURA 2. Velocidade máxima do vento (km h⁻¹) e umidade média, máxima e mínima, do município de Monte Carmelo – MG.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi implantado adotando-se delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 5 x 5 + 1 testemunha. O primeiro fator constituiu-se de cinco fontes nitrogenadas (ureia convencional, ureia polimerizada, ureia com NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida ou N-n-butiltriamida do ácido tiofosfórico), organomineral sem NBPT e organomineral com NBPT) e o segundo fator constituiu-se de cinco doses de nitrogênio em cobertura (40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹). Todas as ureias utilizadas possuíam 45% N e os dois organominerais utilizados eram a base de torta de filtro e tinham a formulação NPK 26-00-00. Para a testemunha não houve aplicação de nitrogênio em cobertura.

A adubação de cobertura foi realizada em uma única parcela 34 dias após o plantio, quando as plantas estavam no estágio V4, sendo os tratamentos aplicados sobre a superfície do solo ao lado das linhas de plantas, de acordo com as respectivas fontes e doses. No dia 07/03/2015, portanto, 30 dias após a adubação de cobertura, registrou-se precipitação pluvial acumulada de 24,2 mm.

Cada parcela foi composta por quatro linhas de 5,5 m de comprimento, espaçadas entre si em 0,9 m, sendo consideradas parcelas úteis as duas linhas centrais, descartando-se 0,25 m em cada extremidade, totalizando 9 m² de área útil.

3.4 Instalação e condução do experimento

A dessecação das plantas foi realizada cerca de 30 dias antes da semeadura, por meio da utilização do herbicida a base de glifosato (620 g L⁻¹), na dose de 4 L ha⁻¹.

O milho utilizado foi o híbrido 30F53YH e a semeadura foi realizada no dia 31/01/2015, densidade de semeadura visando a obtenção de uma população final de 65.000 plantas ha⁻¹.

A adubação de base foi realizada no dia da semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses aplicadas foram baseadas na análise da fertilidade do solo e de acordo com as registradas nas Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação para a cultura do milho (ALVES et al., 1999). A fonte de P utilizada foi a mono - amônio fosfato (49% P₂O₅ e 10% N), na dose de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e a de K foi o cloreto de potássio (60% K₂O), na dose de 60 kg ha⁻¹ de K₂O. Para o N foi utilizado como fertilizante a ureia convencional (45% N) e a mono – amônio fosfato (49% P₂O₅ e 10% N), sendo a dose total de 20 kg ha⁻¹ de N. Os fertilizantes foram distribuídos superficialmente nas linhas de cultivo, paralelamente à operação de semeadura. A adubação de cobertura foi realizada no dia 06/03/2015 aplicando-se os fertilizantes nitrogenados, a 8 cm ao lado das linhas de milho, de acordo com as doses e fontes definidas para cada tratamento.

Para o controle de plantas infestantes em pré-emergência, foram utilizados 4 L ha⁻¹ do herbicida à base de atrazina (400 g L⁻¹) e, para o controle em pós-emergência, foram aplicados 3,5 L ha⁻¹ do herbicida à base de atrazina (400 g L⁻¹) e 1,5 L ha⁻¹ do herbicida à base de nicossulfuron (40 g L⁻¹).

Para o controle de insetos, foram realizadas três aplicações, utilizando os inseticidas à base de clorpirifós (480 g L⁻¹) na dose de 0,5 L ha⁻¹, teflubenzurom (150 g L⁻¹) na dose de 0,08 L ha⁻¹ e clorfenapir (250 g L⁻¹) na dose de 0,8 L ha⁻¹, sendo as aplicações realizadas de acordo com a manifestação da infestação.

3.5 Colheita

A colheita dos grãos foi realizada manualmente no dia 29/06/2015. Portanto, 5 meses após a semeadura, quando os grãos apresentaram entre 18 e 22% de umidade. Foram coletadas as espigas de todas as plantas na área útil de cada parcela. Após isso, foi coletada a parte aérea de 5 plantas por parcela para análise da massa seca. As espigas e a parte aérea foram identificadas e ensacadas separadamente e em seguida foram encaminhadas para o laboratório de Fitotecnia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Monte Carmelo para as diversas avaliações.

3.6 Características fitotécnicas avaliadas

3.6.1 Altura de inserção da espiga principal (AIE)

A altura de inserção da espiga de cinco plantas da área útil de cada parcela foi determinada no dia 05/05/2015, portanto, quando as plantas tinham 94 dias. Utilizou-se uma trena graduada em centímetros, medindo-se desde o nível do solo até o ponto de inserção da primeira espiga.

3.6.2 Altura da planta (AP)

A altura de cinco plantas da área útil de cada parcela foi medida no dia 05/05/2015, 94 dias após semeadura, utilizando-se de trena graduada em centímetros, medindo-se desde o nível do solo até à extremidade do pendão.

3.6.3 Diâmetro do colmo (DC)

O diâmetro do colmo de cinco plantas da área útil de cada parcela foi determinado no dia 05/05/2015, 94 dias após semeadura, utilizando-se um paquímetro graduado em milímetros. Cabe ressaltar que a avaliação do diâmetro do colmo foi feita a vinte centímetros de altura e em seu maior diâmetro.

3.6.4 Número de fileiras por espiga (FE)

A determinação consistiu da contagem de fileiras de grãos no sentido transversal da espiga. O procedimento foi repetido para cinco espigas de cada parcela, retiradas ao acaso da área útil.

3.6.5 Número de grãos por fileira (GF)

Foi determinado com a contagem do número de grãos por fileira de cinco espigas por parcela, retiradas ao acaso dentro da área útil.

3.6.6 Comprimento de espiga (CE)

O comprimento médio das espigas foi obtido através da medição do comprimento de todas as espigas colhidas dentro da área útil de cada parcela, dividindo-se pelo número total de espigas. A mensuração foi feita através do uso de uma trena (escala graduada).

3.6.7 Diâmetro de espiga (DE)

A mensuração foi realizada na parte mediana de todas as espigas colhidas dentro da área útil de cada parcela sem a palha, dividindo-se pelo número total de espigas. A mensuração foi feita utilizando-se uma trena (escala graduada).

3.6.8 Prolificidade (EP)

A prolificidade foi determinada por meio da razão do número total de espigas e número total de plantas da área útil de cada parcela, obtendo-se assim o número médio de espigas por planta.

3.6.9 Massa de 1.000 grãos (MMG)

Após a colheita, as espigas foram debulhadas e pesadas à massa de mil grãos, de acordo com as Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009). Para determinar a umidade dos grãos produzidos foi utilizado o medidor de umidade de grãos portátil modelo G650 da empresa Gehaka. Após isso, a massa de grãos produzida foi corrigida para 13% de umidade.

3.6.10 Índice de clorofila foliar (ICF)

A medição do teor de clorofila foi realizada com o auxílio de um clorofilômetro digital modelo CFL 1030 Falker (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, Brasil), sendo as determinações realizadas no terço central da folha, em cinco plantas da área útil de cada parcela e em cinco épocas. Nos estádios vegetativos, as leituras foram feitas na última folha totalmente expandida. Nos estádios reprodutivos, as leituras foram feitas na folha índice (primeira abaixo da espiga).

Para o índice de clorofila foliar, foi calculada a área abaixo da curva de progressão (AACP) da clorofila para todo o período experimental e para cada período isoladamente, isto é, para cada período de avaliação após a aplicação dos tratamentos.

O uso da AACP é um procedimento que sumariza em um valor (área) um determinado conjunto de dados e possibilita a comparação de tratamentos durante um determinado período. A AACP permite deste modo, identificar uma tendência de resposta e é calculada pelo método da integração trapezoidal segundo a expressão descrita por Campbell; Madden (1990):

$$AACP = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Onde: n = número de avaliações; y_i e y_{i+1} = valores da variável analisada observados em duas avaliações consecutivas; $(t_{i+1} - t_i)$ = intervalo entre duas avaliações (dias).

3.6.11 Teor de nutrientes foliares (diagnose nutricional)

Para a análise foliar de macronutrientes foram coletadas no dia 10/04/2015, portanto, 69 dias após a semeadura, doze folhas de seis plantas por parcela, no estádio de crescimento da planta anterior ao pendoamento. As folhas utilizadas foram aquelas opostas e abaixo da primeira espiga (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; RAIJ, 1991). No Laboratório de Fitotecnia (LAFIT), essas amostras foram cortadas, utilizando-se apenas o terço médio da folha, e imediatamente as mesmas foram lavadas com água corrente e com uma solução de detergente neutro diluído a 0,1% (1 ml de detergente em 1 L de água destilada). E em seguida enxaguadas diversas vezes em água destilada. Após a lavagem, foram acondicionadas em sacos de papel identificados e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C.

Posteriormente foram moídas para serem feitas análises de macronutrientes pelos métodos descritos pela EMBRAPA (2009).

3.6.12 Massa seca na parte aérea da planta (MS)

Para a determinação da massa seca da parte aérea das plantas, foram coletadas cinco plantas aleatórias da área útil por parcela, após a colheita. As amostras, devidamente identificadas, foram levadas à estufa, com circulação de ar forçada, permanecendo por 72 horas a 60°C até obtenção de massa constante, para posterior pesagem, obtendo a massa seca da parte aérea do milho, de acordo com o descrito em EMBRAPA (2009).

3.6.13 Produtividade (PG)

Após a colheita e as avaliações descritas anteriormente, as espigas colhidas foram secas a pleno sol e após a secagem, as mesmas foram debulhadas utilizando-se um debulhador. Em seguida, determinou-se a massa dos grãos colhidos na área útil de cada parcela, sendo em seguidas extrapolados os valores para kg ha^{-1} e devidamente corrigida para 13% de umidade.

3.7 Análise Estatística

Inicialmente, realizaram-se os testes de: homogeneidade das variâncias (teste de Levene, $P \leq 0,01$), normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk, $P \leq 0,01$) e aditividade (teste de Tukey para não-aditividade, $P \leq 0,01$), utilizando o software SPSS 16.0. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância ($P \leq 0,05$).

As médias dos tratamentos que receberam adubação foram comparadas à média do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$), utilizando o programa Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2009). Em seguida, realizou-se o teste de Tukey ($P \leq 0,05$), para o fator fonte e para o fator dose os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial quando o modelo foi significativo e o coeficiente de determinação (R^2) foi maior que 70%, caso contrário, o fator dose foi avaliado qualitativamente pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Estas análises foram realizadas utilizando o software Sisvar versão 4.0, desenvolvido por Ferreira (2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias do DC, AP, AIE, EP, CE, DE, FE, GF e MMG são apresentados na tabela 3, na qual a testemunha é comparada com os demais tratamentos por Dunnett ($P \leq 0,05$).

TABELA 3. Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), prolificidade (EP), comprimento de espigas (CE), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras por espiga (FE), número de grãos por fileira (GF) e massa de 1000 grãos (MMG) em função das fontes e doses de nitrogênio.

FORTE	DOSE (kg ha ⁻¹)	DC (cm)	AP (m)	AIE (m)	EP	CE (cm)	DE (cm)	FE	GF	MMG (g)
UREIA COMUM	40	2,01	1,58	0,71	0,73	12,52	3,72	14,50	30,05	211,29
	80	1,98	1,70	0,77	0,66	11,98	3,67	14,10	31,05	230,76
	120	2,04	1,54	0,67	0,73	13,05	3,80	14,50	32,15	255,36
	160	1,96	1,62	0,71	0,73	13,18	3,86	14,50	34,25	226,45
	200	2,07	1,70	0,79*	0,77	13,38	4,03	14,40	33,20	250,30
UREIA POLIMERIZADA	40	2,03	1,63	0,74	0,69	13,06	3,78	14,70	28,35	238,81
	80	2,10	1,69	0,77	0,65	12,71	3,89	14,40	32,00	230,32
	120	2,03	1,68	0,76	0,78	13,56	3,90	15,10	33,25	246,08
	160	2,19*	1,58	0,67	0,73	13,20	3,88	14,10	29,75	246,13
	200	2,04	1,69	0,73	0,71	13,30	3,99	14,90	32,15	254,31
UREIA C/ NBPT	40	1,86	1,57	0,70	0,71	12,63	3,74	14,80	31,55	248,61
	80	2,06	1,64	0,75	0,99*	12,69	3,74	14,30	30,45	268,92
	120	2,13*	1,62	0,75	0,89	13,13	3,86	13,90	33,10	245,58
	160	2,06	1,64	0,74	0,72	14,13	4,20	15,00	34,30	248,19
	200	2,09	1,63	0,70	0,84	12,88	3,78	14,20	30,90	268,52
O.M. S/ NBPT	40	2,12*	1,67	0,72	0,73	13,27	3,82	14,30	34,65	251,85
	80	2,18*	1,67	0,77	0,77	13,15	3,89	14,90	32,30	253,55
	120	2,11	1,63	0,73	0,73	13,13	3,96	15,30	32,65	236,19
	160	2,13*	1,62	0,76	0,78	13,38	3,88	14,30	32,85	270,45
	200	2,15*	1,68	0,77	0,72	13,91	4,06	14,40	30,00	266,05
O.M. C/ NBPT	40	2,24*	1,65	0,74	0,80	13,27	3,84	14,10	34,75	227,87
	80	2,09	1,65	0,74	0,85	12,89	3,85	14,20	31,10	238,43
	120	2,11	1,56	0,70	0,63	12,74	3,80	14,50	31,70	218,60
	160	2,04	1,64	0,75	0,79	13,44	3,94	14,10	34,70	258,47
	200	2,24*	1,60	0,75	0,74	12,71	3,78	14,80	31,90	261,67
TESTEMUNHA	0	1,84	1,55	0,65	0,70	12,87	3,83	14,60	31,80	245,25
MÉDIA		2,04	1,62	0,72	0,75	13,05	3,86	14,51	32,07	245,97
CV (%)		6,26	5,43	7,59	16,90	6,01	6,05	4,94	8,54	15,46

Médias seguidas por asterisco (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

O DC foi a característica fitotécnica que mais se destacou em relação à testemunha sem N em cobertura. Os tratamentos ureia polimerizada a 160 kg ha⁻¹, ureia com NBPT a 120 kg ha⁻¹ e organomineral com NBPT a 40 e 200 kg ha⁻¹ diferiram da testemunha. A fonte organomineral sem NBPT foi a mais responsiva ao diâmetro de colmo, sendo em média 17%

superior à testemunha. O desenvolvimento superior do DC constitui um importante aspecto fisiológico, uma vez que o colmo também funciona como estrutura de armazenamento de carboidratos que serão posteriormente empregados na produção dos grãos (CARMO et al., 2012).

Para a AIE, apenas a fonte ureia comum na dose de 200 kg ha⁻¹ diferiu da testemunha. Outra diferença significativa observada em relação à testemunha foi para a prolificidade na fonte ureia com NBPT a 80 kg ha⁻¹. As variáveis, altura de planta, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, fileira por espiga; grãos por fileira e massa de mil grãos não diferiram os tratamentos com a aplicação de nitrogênio em cobertura com a testemunha (0 kg ha⁻¹ N).

Em avaliação dos híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins, Carvalho et al. (2011), observaram que características como DC, massa de 100 grãos e massa hectolétrica não diferiram para os diferentes níveis de nitrogênio.

Os resultados de DC, AP, AIE, EP, CE, DE, FE, GF e MMG do milho para fontes de ureia e organomineral são apresentadas na tabela 4.

TABELA 4. Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), prolificidade (PF), comprimento de espigas (CE), diâmetro de espiga (DE), fileiras por espiga (FE), grãos por fileira (GF) e massa de 1000 grãos (MG) para as diferentes fontes de ureia e organomineral.

FONTE	DC (cm)	AP (m)	AIE (m)	EP	CE (cm)	DE (cm)	FE	GF	MMG (g)
UREIA COMUM	1,99 b	1,61	0,72	0,72	12,83	3,82	14,43	32,08	236,57
UREIA POLIMERIZADA	2,04 ab	1,64	0,72	0,71	13,12	3,88	14,63	31,21	243,48
UREIA C/ NBPT	2,01 ab	1,61	0,72	0,81	13,06	3,86	14,46	32,01	254,18
O.M. S/ NBPT	2,09 a	1,64	0,73	0,74	13,28	3,91	14,63	32,37	253,89
O.M. C/ NBPT	2,09 a	1,61	0,72	0,75	12,99	3,84	14,38	32,65	241,71
MÉDIA	2,04	1,62	0,72	0,75	13,05	3,86	14,51	32,07	245,97
CV (%)	6,37	5,15	7,27	16,39	5,89	5,69	5,06	8,78	14,55

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Entre as fontes avaliadas somente o DC diferiu significativamente para as características fitotécnicas do milho. Para o DC as fontes organominerais diferiram da ureia comum, que foi em média 5% superior com o organomineral. Esse resultado possivelmente ocorreu, devido os nutrientes estarem presentes na forma orgânica e mineral, uma vez que são grandes os efeitos benéficos sobre as propriedades químicas, físicas, físico-químicas e biológicas dos solos adubados com fertilizantes orgânicos ou organominerais (OURIVES et al. 2010). Santos et al. (2010) verificaram que a produtividade de colmos e o perfilhamento da

cana-de-açúcar foram influenciados pelas doses de uma mistura organomineral, podendo afirmar que este condicionador orgânico interferiu positivamente nas características químicas do solo. Para as demais características, qualquer das fontes de N utilizadas produziram as mesmas respostas biométricas.

A ação da adubação organomineral em relação ao aumento da disponibilidade de nutrientes ocorre em função de sua interação com as argilas, formando o complexo argilo-húmico, responsável pela melhoria da capacidade de troca catiônica, especialmente na ação sobre a disponibilidade do fósforo e pela ação estabilizante sobre variações ambientais no solo (KIEHL 1985, LOPES; THEODORO 1998). De acordo com Santos et al. (2011), fontes orgânicas podem substituir parte, ou até mesmo todo o fósforo requerido pelas plantas, alterando significativamente os atributos químicos do solo, elevando a disponibilidade de cálcio, nitrogênio, fósforo, além dos teores de carbono orgânico.

A ausência de diferença significativa de respostas da ureia comum para a ureia polimerizada e ureia com NBPT, pode ser devido à precipitação de 24,2 mm que ocorreu um dia após a aplicação dos tratamentos (adubação de cobertura), ocasionando a incorporação da ureia pela água da chuva. Bouwmeester et al. (1985) afirmaram que uma precipitação de 24 mm após a aplicação de ureia é suficiente para evitar perdas por volatilização.

Em trabalho realizado por Ros; Aita; Giacomini (2005), em que os autores estudaram volatilização da amônia em sistemas com e sem palhada, observou-se que não houve efeito da palhada sobre a volatilização quando ocorreu chuva no dia posterior à aplicação da ureia. A alta mobilidade da ureia no solo possibilita sua fácil incorporação pela precipitação, que ocorre por esta ser uma molécula sem carga e, portanto, pouco adsorvida em pontos de carga da matéria orgânica ou mineral (DAWAR et al., 2011).

O número de grãos por fileira, grãos por espiga e a massa de 100 grãos também não diferiram entre as fontes ou doses avaliadas por Goes et al. (2012). No entanto, Sichocki et al. (2014) encontram diferenças para a massa de 1000 grãos e grãos por fileira, e não detectaram diferenças para o número de fileira por espigas.

Os resultados de AP, AIE, EP, CE, DE, FE, GF e MMG do milho para doses de nitrogênio são apresentadas na tabela 5.

TABELA 5. Altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), prolificidade (EP), comprimento de espigas (CE), diâmetro de espiga (DE), fileiras por espiga (FE), grãos por fileira (GF), massa de 1000 grãos (MMG) para as diferentes doses de nitrogênio.

DOSE (kg ha ⁻¹)	AP (m)	AIE (m)	PF	CE (cm)	DE (cm)	FE	GF	MMG (g)
40	1,62ab	0,72	0,73	12,95ab	3,78	14,48	31,87	260,17
80	1,67a	0,76	0,79	12,68b	3,81	14,38	31,38	249,94
120	1,61b	0,72	0,75	13,12ab	3,86	14,66	32,57	240,36
160	1,62ab	0,73	0,75	13,47a	3,95	14,40	33,17	244,40
200	1,66a	0,75	0,75	13,23ab	3,93	14,54	31,63	235,69
MÉDIA	1,62	0,72	0,75	13,05	3,86	14,51	32,07	245,97
CV (%)	5,15	7,27	16,39	5,89	5,69	5,06	8,78	14,55

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Apenas a AP e o CE apresentaram diferenças significativas entre as doses avaliadas. Para a AP ocorreu uma diferença entre as doses de N 120 e 200 kg ha⁻¹, sendo cerca de 3,1% superior na maior dose. A dose de 80 kg ha⁻¹ apresentou resultados similares à dose de 200 kg ha⁻¹. Silva et al. (2005) verificaram que o incremento da dose de N aplicada proporcionou aumento na altura da planta e no comprimento da espiga, atingindo os pontos de máximo, com as doses de 171 e 158 kg ha⁻¹, respectivamente.

Para o CE a diferença mais acentuada foi entre as doses de nitrogênio 80 e 160 kg ha⁻¹, sendo cerca de 6,2% superior na maior dose. Goes et al. (2012), avaliaram doses de N de 0 a 160 kg ha⁻¹, não identificaram diferenças para o comprimento de espiga, no entanto corroboraram com os resultados encontrados para diâmetro de espiga e fileiras por espiga. A aplicação de doses que variaram de 0 a 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio também não afetaram o comprimento de espiga, o diâmetro de espiga e sabugo, e a massa seca por planta como relatado por Heinrichs et al. (2003).

Por sua vez, Soares (2003) observou que a aplicação de N na dose de 120 kg ha⁻¹ favoreceu o aumento do diâmetro do colmo, comprimento da espiga, massa seca de espiga e prolificidade, sendo que a aplicação do dobro da dose (240 kg ha⁻¹) não sucedeu em acréscimo significativo nos valores obtidos.

Para a maioria das características avaliadas, a ausência de resposta pode ser justificada pela baixa resposta a adubação nitrogenada no primeiro ano de plantio após pastagens (RAIJ et al., 1997). De acordo com Durães (1999), em milho, a prolificidade útil (produção de 1 espiga principal e outras 1-2 espigas subapicais produtivas, por planta), especialmente visando a melhoria produtiva de genótipos está associada com níveis de nitrogênio e densidade populacional.

Para Santos et al. (2013), a prolificidade não foi influenciada pelas doses de N no cultivo em SPD. No entanto, no cultivo em Sistema de Plantio Convencional do Solo, a prolificidade do milho apresentou aumento linear em função das doses de N aplicadas na cultura. Segundo Gott et al. (2014), apesar de ser um componente de produção importante na cultura do milho, o aumento da prolificidade não necessariamente implica no incremento da produtividade. A segunda espiga da planta pode ter comprimento reduzido, menor número de grãos e apresentar-se deformada, sobretudo quando se trata de milho de segunda safra.

Na figura 3 é apresentada a regressão para o DC para o milho, a única características fitotécnica que apresentou elevado coeficiente de determinação do modelo ajustado ($R^2 > 70\%$), e coeficiente da equação significativo pelo teste de t ($p < 0,05$). O cultivo do milho sem adubação de cobertura ($0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) produziu plantas com colmos de cerca de 1,88 centímetros de diâmetro. O diâmetro máximo obtido foi de 2,14 centímetros na dose de 145 kg ha^{-1} de nitrogênio. Andrade et al. (2014), estudando doses similares de nitrogênio, encontraram regressão significativa ($R^2 = 0,95$) para o diâmetro de colmo, com um diâmetro máximo de 2,2 cm na dose de 134 kg ha^{-1} de nitrogênio.

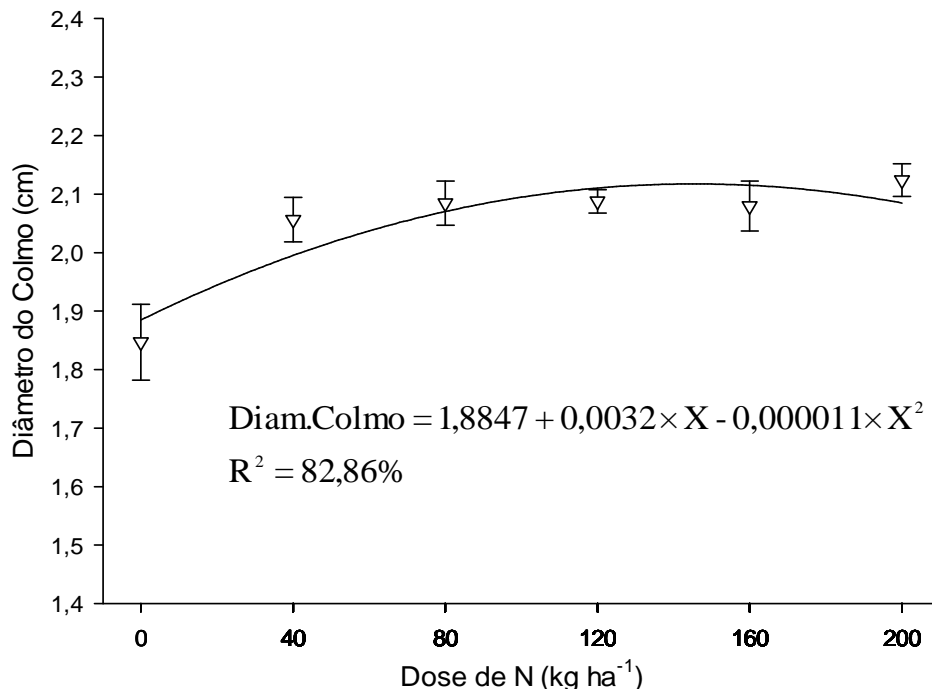


FIGURA 3. Diâmetro de colmo de milho para doses de nitrogênio.

Os macronutrientes foliares, a proteína bruta, a massa seca da parte aérea e a produtividade são apresentados na tabela 6, na qual a testemunha (sem a aplicação de

fertilizante nitrogenado em cobertura) é comparado com os demais tratamentos pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

TABELA 6. Macronutrientes na folha (N, P, K, Ca, Mg, S), proteína bruta (PB), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade (PG) da testemunha (sem fonte suplementar de nitrogênio) em relação às fontes de nitrogênio e doses.

FORTE	DOSE (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	PB	MS	PG
		-----g kg ⁻¹ -----							kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
UREIA COMUM	40	29,15	3,40*	25,00	3,45	1,52	0,97	182,18	4315,18	5.292,89
	80	30,30	3,30*	21,00	4,60	1,50	1,15	189,37	4838,92*	5.688,88
	120	31,07	3,50	15,87	6,00	1,67	1,32	194,22	4491,09	6.605,47
	160	26,10	3,30*	20,25	4,47	1,35	0,82	163,12	4266,43	6.470,13
	200	33,62	3,02*	24,87	3,62	1,40	0,97	210,15	5712,11*	6.756,16
UREIA POLIMERIZADA	40	32,47	3,57	20,50	4,67	1,57	1,05	202,96	4746,46*	5.037,81
	80	31,35	3,05*	21,12	4,72	1,55	1,15	195,94	3963,21	5.124,93
	120	33,10	3,52	24,62	3,55	1,30	0,97	206,87	4237,91	5.755,86
	160	31,50	2,95*	29,62	2,10	0,97	0,65	196,87	3838,65	5.206,22
	200	33,60	3,45	20,25	4,75	1,57	1,22	210,00	4962,66*	6.600,72
UREIA C/ NBPT	40	28,55	3,00*	28,87	2,20	1,10	0,97	178,43	3991,40	5.443,81
	80	31,20	2,75*	29,75	2,15	0,92	0,65	195,00	2892,09	5.189,63
	120	29,32	3,32*	15,87	5,95	1,67	1,05	183,28	5594,87*	6.658,61
	160	32,20	2,47*	18,62	2,92	1,05	0,72	201,25	5646,71*	6.902,04
	200	33,00	3,72	10,87	7,12	1,82	1,27	206,25	5566,43*	4.810,49
O.M. S/ NBPT	40	22,05	3,17*	12,62	4,15	1,35	0,82	137,81	4768,64*	5.408,16
	80	28,87	3,80	25,50	3,47	1,37	0,90	180,46	5001,58*	6.222,19
	120	29,95	2,87*	24,62	3,55	1,25	0,85	187,18	4289,18	6.203,98
	160	31,25	3,32*	21,00	4,65	1,50	1,07	195,31	4747,51*	5.582,29
	200	32,92	2,75*	29,87	2,40	1,05	0,72	205,78	5439,03*	6.112,49
O.M. C/ NBPT	40	27,92	3,37*	25,75	3,27	1,37	0,95	174,53	4666,91	6.179,05
	80	23,02	3,77	20,62	4,67	1,47	1,17	143,90	4086,95	5.639,51
	120	30,90	3,80	15,75	5,65	1,60	1,27	193,12	4815,76*	5.317,15
	160	32,47	3,00*	29,12	2,30	1,07	0,92	202,96	3763,01	6.896,99
	200	31,52	3,60	16,25	6,00	1,70	1,25	197,03	4697,06*	5.507,95
TESTEMUNHA	0	26,52	5,05	24,87	3,22	1,75	1,00	165,78	3338,64	5.143,28
MÉDIA		29,66	3,56	22,42	3,95	1,45	0,99	185,43	4401,10	5.744,33
CV (%)		16,03	23,36	39,17	56,02	34,55	38,99	16,03	14,10	21,11

Médias seguidas por asterisco (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

A aplicação de nitrogênio para qualquer das fontes reduziu significativamente a quantidade de P nas folhas. As fontes ureia comum a 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, ureia polimerizada a 40, 120 e 200 kg ha⁻¹, ureia com NBPT a 200 kg ha⁻¹, organomineral sem NBPT a 80 kg ha⁻¹, e organomineral com NBPT a 80, 120 e 200 kg ha⁻¹, não diferiram o teor de fósforo da testemunha. A redução do teor de fósforo observada em todas as fontes e na maioria das doses é provavelmente uma consequência do efeito de diluição, pois o aporte extra de nitrogênio resulta em estímulo ao crescimento de planta e dispersão dos demais

nutrientes na massa vegetal. Semelhante fenômeno de diluição dos nutrientes também foi observado para o fósforo no capim-elefante (MARTUSCELLO et al., 2009).

Para os demais macronutrientes (N, K Ca, Mg e S) e proteína bruta não foram observadas diferenças estatísticas para os tratamentos com a aplicação de nitrogênio em cobertura com a testemunha (0 kg ha⁻¹ N). O efeito não significativo dos tratamentos em relação à testemunha, para o teor foliar do nitrogênio, justifica-se devido à época de semeadura do milho safrinha ter ocorrido em plena decomposição da resteva de brachiaria, uma vez que esta cultura apresenta alta relação C/N, ocorrendo a imobilização temporária do N pelos microrganismos.

As doses de nitrogênio também tiveram um efeito positivo sobre a massa seca da parte aérea. Todas as fontes para alguma dose diferiram da testemunha sem N em cobertura. A dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio para qualquer das fontes resultou em uma massa seca da parte aérea superior à testemunha. Villela (1999), trabalhando com duas doses de nitrogênio e quatro fontes, encontrou menor massa seca para o tratamento testemunha, evidenciando o efeito positivo da adubação nitrogenada em relação à massa seca.

Para a produtividade não houve diferença estatística dos tratamentos em relação à testemunha. Segundo Raij et al., (1997) em relação as classes de respostas do nitrogênio, a baixa resposta da adubação nitrogenada é esperada para solo em pousio por dois ou mais anos, ou após pastagens; cultivo intenso de leguminosas ou plantios de adubo verde procedendo a cultura a ser adubada.

As quantidades de macronutrientes foliares e proteína bruta para as diferentes fontes são apresentados na tabela 7.

TABELA 7. Macronutrientes na folha e proteína bruta (PB), g kg⁻¹, para as diferentes fontes de ureia e organomineral.

FONTE	N	P	K	Ca	Mg	S	PB
UREIA COMUM	29,46 ^{ns}	3,59 ^{ns}	21,97 ^{ns}	4,22 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,04 ^{ns}	184,14 ^{ns}
UREIA POLIMERIZADA	31,42	3,60	23,50	3,83	1,45	1,00	196,40
UREIA C/ NBPT	30,13	3,38	21,47	3,92	1,38	0,94	188,33
O.M. S/ NBPT	28,59	3,49	23,08	3,57	1,37	0,89	178,72
O.M. C/ NBPT	28,72	3,76	22,06	4,18	1,49	1,09	179,55
MÉDIA	29,66	3,56	22,42	3,95	1,45	0,99	185,43
CV (%)	15,25	22,94	39,05	58,14	32,79	37,93	15,25

ns: diferenças não significativas entre as fontes pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Entre as fontes avaliadas nenhuma se destacou para acréscimos aos macronutrientes foliares e proteína bruta do milho, demonstrando que o uso de fontes organominerais em cobertura apresenta o mesmo desempenho que as fontes minerais na absorção de

macronutrientes e composição da proteína bruta. Em estudo com milho safrinha, Tiritan; Santos (2012) também identificaram respostas à adubação organomineral similares ao tratamento exclusivamente com fontes minerais.

A concentração de macronutrientes foliares, potássio, cálcio, magnésio e enxofre para as diferentes doses de nitrogênio são apresentados na tabela 8.

TABELA 8. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), g kg⁻¹, na folha para as diferentes doses de nitrogênio.

DOSE (kg ha ⁻¹)	K	Ca	Mg	S
40	22,55	3,55	1,38ab	0,95
80	23,60	3,92	1,36ab	1,00
120	19,35	4,94	1,50a	1,09
160	23,72	3,29	1,19b	0,84
200	20,42	4,78	1,51a	1,09
MÉDIA	22,42	3,95	1,45	0,99
CV (%)	39,05	58,14	32,79	37,93

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os teores foliares dos macronutrientes potássio, cálcio e enxofre não diferiram entre as doses avaliadas de nitrogênio. Para o magnésio as doses de 120 e 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio foram cerca de 26,5% superior à dose de 160 kg ha⁻¹. As doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ não diferiram o teor de magnésio das folhas em relação às doses superiores. O nitrogênio apresenta uma relação sinérgica com o magnésio, o que pode ser observado na dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio que apresentou uma quantidade de magnésio foliar superior.

A seguir foram apresentadas as regressões para o nitrogênio e fósforo foliar no milho (Figura 4) - elevado coeficiente de determinação do modelo ajustado (R²>70%) e coeficiente da equação significativo pelo teste de *t* (p<0,05).

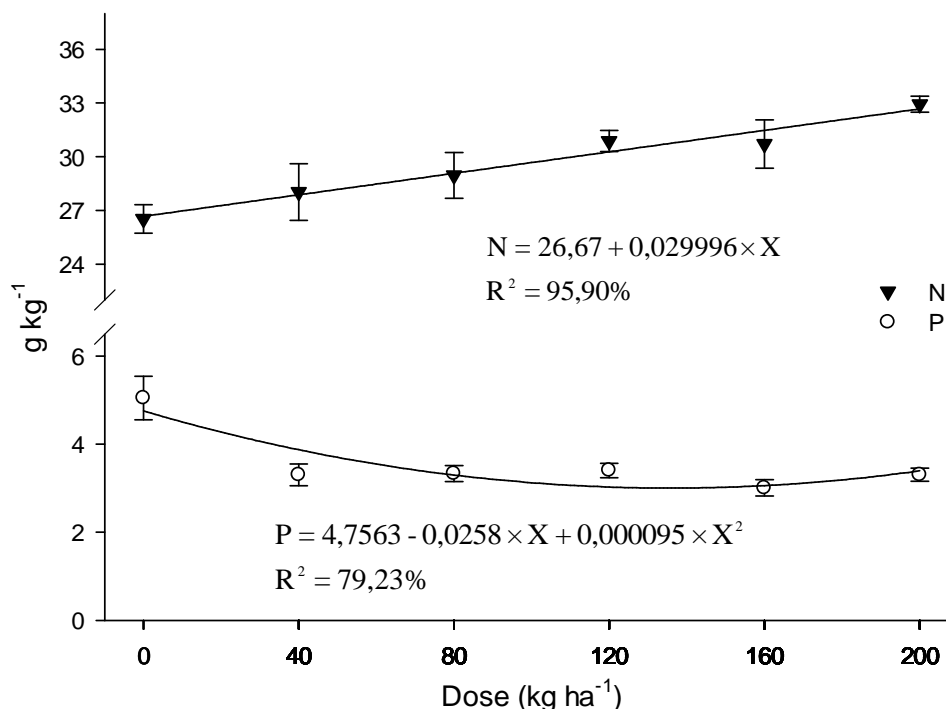


FIGURA 4. Nitrogênio e fósforo foliar no milho para doses de nitrogênio.

A quantidade de nitrogênio foliar aumenta cerca de $0,03 \text{ g kg}^{-1}$ para cada 1 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicado utilizando qualquer das fontes avaliadas. Sem a aplicação de nitrogênio em cobertura a quantidade de nitrogênio foliar é de $26,67 \text{ g kg}^{-1}$.

Para qualquer das fontes aplicadas haverá sempre um acréscimo do nitrogênio foliar com o aumento da dose de nitrogênio aplicado, indicando a equivalência entre as fontes minerais e organominerais. Estes resultados indicam que fertilizantes organominerais podem ser utilizados em cobertura do milho com equivalência aos resultados obtidos com os fertilizantes minerais.

Para Santos e Pereira (1994), plantas com maior teor de N proporcionaram maior crescimento e desenvolvimento e, conseqüentemente maior índice de área foliar, conferindo maior síntese de carboidratos pela fotossíntese. Assim, a planta torna-se mais apta para alocar carboidratos para o sistema radicular, tornando-o mais abrangente e capaz de melhor aproveitar o N disponível, seja o N proveniente do solo ou do fertilizante.

A quantidade de fósforo foliar sem a aplicação de nitrogênio em cobertura foi cerca de $4,76 \text{ g kg}^{-1}$. A aplicação de nitrogênio reduziu o fósforo foliar ao mínimo 3 g kg^{-1} com uma dose de 136 kg ha^{-1} . Essa redução do fósforo foliar com o aumento das doses de nitrogênio

pode estar relacionada com o efeito de diluição do fósforo no tecido vegetal, causada pelo aumento das doses de nitrogênio.

A seguir é apresentado o resultado da regressão para proteína bruta foliar para o milho (Figura 5) - elevado coeficiente de determinação do modelo ajustado ($R^2 > 70\%$) e coeficiente da equação significativo pelo teste de t ($p < 0,05$).

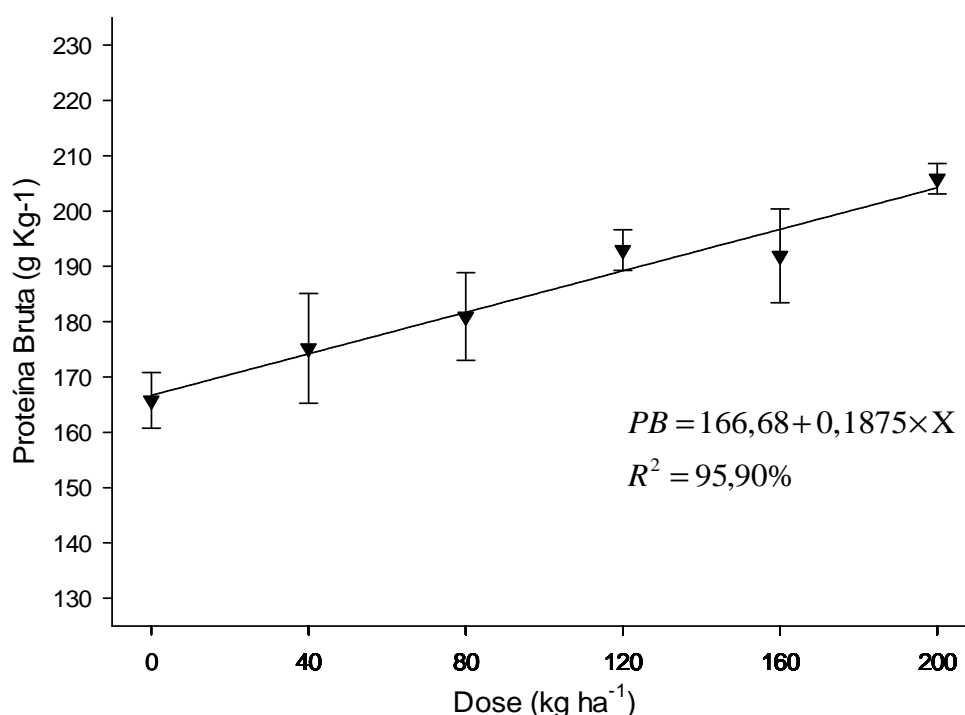


FIGURA 5. Proteína bruta de milho para doses de nitrogênio.

O cultivo do milho sem adubação de cobertura (0 kg ha⁻¹ N) teve uma resposta de aproximadamente 166,68 g kg⁻¹ de proteína bruta. A proteína bruta aumentou cerca de 0,1875 g kg⁻¹, a cada kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado utilizando qualquer das fontes avaliadas. Carneis Filho et al. (2012) e Deuner et al. (2008) encontraram respostas similares para os teores de proteína bruta nas folhas do milho. Menezes et al. (2013), avaliando doses similares encontraram diferenças significativas e estimaram ($R^2 = 0,99$) que a maior quantidade de proteína bruta foi alcançada para a dose de 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

As clorofilas a e b, e a+b para a cultura do milho são apresentados na tabela 12, onde o tratamento testemunha (sem a aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura) é comparado com os demais tratamentos por Dunnett ($p < 0,05$).

TABELA 9. Clorofilas A, B e total (A+B) da testemunha (sem fonte suplementar de nitrogênio) em relação às fontes de nitrogênio e doses.

FONTE	DOSE (kg ha ⁻¹)	AACP clorofilas (ICF)		
		A	B	A+B
UREIA COMUM	40	2.719,01	831,89	3.550,90
	80	2.658,96	818,88	3.477,84
	120	2.709,05	864,08	3.573,13
	160	2.693,91	842,67	3.536,59
	200	2.977,14*	1007,55*	3.984,70*
UREIA POLIMERIZADA	40	2.716,59	855,88	3.572,47
	80	2.756,23*	881,64*	3.637,88*
	120	2.701,81	820,27	3.562,08
	160	2.697,57	836,84	3.534,42
	200	2.710,69	847,22	3.557,91
UREIA C/ NBPT	40	2.704,56	826,43	3.530,99
	80	2.697,66	825,75	3.523,42
	120	2.832,01*	918,12*	3.750,13*
	160	2.744,57*	863,46	3.608,04*
	200	2.792,01*	888,24*	3.680,25*
O.M. S/ NBPT	40	2.765,51*	829,98	3.595,50
	80	2.638,14	827,72	3.465,87
	120	2.707,34	854,92	3.562,27
	160	2.738,96	843,67	3.582,63
	200	2.864,82*	930,01*	3.794,83*
O.M. C/ NBPT	40	2.542,89	783,98	3.326,87
	80	2.582,33	766,52	3.348,85
	120	2.632,77	800,42	3.433,19
	160	2.756,72*	866,36	3.623,09*
	200	2.742,96*	916,86*	3.659,82*
TESTEMUNHA	0	2.459,65	697,70	3.157,36
MÉDIA		2.679,41	829,26	3.508,68
CV (%)		4,94	9,46	5,88

Médias seguidas por asterisco (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

A dose 200 kg ha⁻¹ de N aumentou consideravelmente as áreas abaixo da curva de progressão (AACP) das clorofilas a, b e a+b, exceto para a fonte de ureia polimerizada. As AACP das clorofilas a e a+b aumentaram significativamente para as doses superiores a 80 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio para as fontes ureia com NBPT e organomineral com NBPT, respectivamente. Para a fonte ureia polimerizada, a dose de 80 kg ha⁻¹ foi superior à testemunha.

As clorofilas a, b, e a+b para as diferentes fontes de nitrogênio são apresentadas na tabela 13 e não foram detectadas diferenças significativas entre as quantidades de clorofilas a, b e a+b para as fontes avaliadas.

TABELA 10. Clorofilas A, B e total (A+B).

FONTE	AACP clorofilas (ICF)		
	A	B	A+B
UREIA COMUM	2.702,95 ^{ns}	843,79 ^{ns}	3.546,75 ^{ns}
UREIA POLIMERIZADA	2.673,76	829,93	3.503,69
UREIA C/ NBPT	2.705,08	836,61	3.541,70
O.M. S/ NBPT	2.695,73	830,67	3.526,41
O.M. C/ NBPT	2.619,55	805,31	3.424,86
MÉDIA	2.679,41	829,26	3.508,68
CV (%)	4,72	9,17	5,63

ns: diferenças não significativas entre as fontes pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Na figura 8 são apresentadas as equações de regressões para as clorofilas a, b e a+b - elevado coeficiente de determinação do modelo ajustado ($R^2 > 70\%$) e coeficiente da equação significativo pelo teste de t ($p < 0,05$).

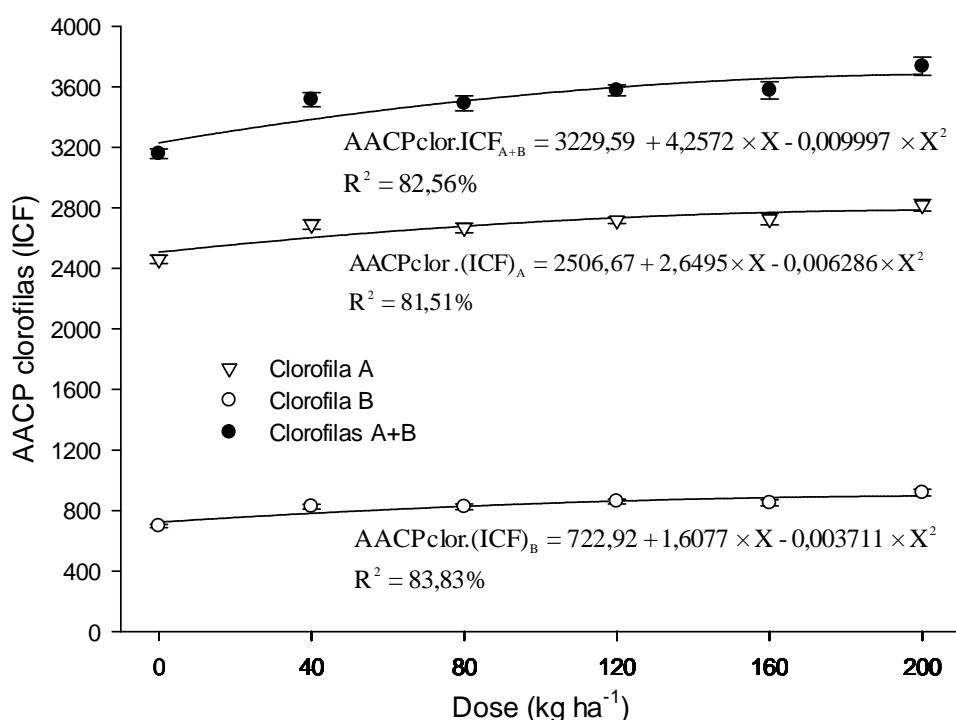


FIGURA 6. Área abaixo da curva de progressão de clorofilas A, B e A+B em diferentes doses de nitrogênio.

As AACP das clorofilas a, b e a+b seguiram o modelo quadrático de resposta em relação às doses avaliadas. Os maiores valores para área abaixo da curva de progressão das clorofilas a, b e a+b, segundo as regressões são 2.785,86, 897,04 e 3.682,82, respectivamente para as doses 211, 217 e 213 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A não aplicação de nitrogênio em

cobertura resultará em AACP de clorofila de 2.506,67, 722,92 e 3.229,59 para as clorofilas a, b e a+b, respectivamente.

Alguns pesquisadores evidenciaram relação entre leitura do clorofilômetro e teor de clorofila na folha (YADAVA, 1986; MARQUARD; TIPTON, 1987; DWYER et al., 1995; ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001) e entre teor de clorofila na folha e teor de N na planta (SMEAL; ZHANG, 1994; ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001). O nitrogênio participa da composição das clorofilas, inclusive a avaliação da necessidade de nitrogênio pela planta pode ser determinada pela mensuração indireta do teor de clorofila (SHADCHINA; DMITRIEVA, 1995; MALAVOLTA et al., 1997; DEBAEKE; ROUET; JUSTES, 2006). Os resultados encontrados para as clorofilas em resposta à aplicação de nitrogênio foram positivos, atingindo um máximo de clorofilas em doses superiores a 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio; respostas similares foram encontrados por Teixeira Filho et al. (2009) no trigo.

A massa seca da parte aérea produzida para as diferentes fontes de nitrogênio está apresentada na tabela 14.

TABELA 11. Massa seca de parte aérea, kg ha⁻¹, para diferentes fontes e doses.

FONTE	DOSE (kg ha ⁻¹)				
	40	80	120	160	200
UREIA COMUM	4.315,18Ab	4.838,92Aab	4.491,09ABab	4.266,43Bb	5.712,11Aa
UREIA POLIMERIZADA	4.746,46Aa	3.963,21ABa	4.237,91Bb	3.838,65Ba	4.962,66Aa
UREIA C/ NBPT	3.991,40Ab	2.892,09Bb	5.594,87Aa	5.646,71Aa	5.566,43Aa
O.M. S/ NBPT	4.768,64Aa	5.001,58Aa	4.289,18Bab	4.747,51ABa	5.439,03Aa
O.M. C/ NBPT	4.666,91Aa	4.086,95ABab	4.815,76ABa	3.763,01Bab	4.697,06Aa
CV (%)	13,91				

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas entre as fontes na coluna e minúsculas entre as doses na linha, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A dose de 200 kg ha⁻¹ não diferiu entre as fontes avaliadas e apresentou elevadas quantidades de massa seca para todas as fontes. De acordo com Faria (2014), a maior quantidade de massa seca tem grande importância no ciclo produtivo, manejo e conservação do solo, já que, após a colheita dos grãos, todo corpo da planta fica no campo e o acréscimo da massa seca acarreta proteção do solo, diminuindo a erosão e evaporação da água, aumentando o teor de água disponível, favorecendo a microbiota do solo, a reciclagem e a difusão dos nutrientes, principalmente os imóveis (P e Zn). A maior difusão dos nutrientes

ocasionara uma maior absorção do fósforo, maior crescimento radicular e consequentemente, maior reciclagem dos nutrientes. A maior reciclagem dos nutrientes além de aumentar a produção, favorece a manutenção do SPD e reduz o impacto ambiental, garantindo uma produção de forma sustentável.

A prática de incorporação dos restos culturais pode representar a restituição de aproximadamente 42% do nitrogênio, 45% do fósforo e 81% do potássio pela cultura do milho (MUZILLI; OLIVEIRA, 1982), dependendo da taxa de mineralização, que para a matéria orgânica chega a ser cinco vezes maior na região do Cerrado que em regiões de clima temperado (SANCHES; LOGAN, 1992).

A persistência dos resíduos durante as épocas críticas do ano no Cerrado, como a estação seca, depois das primeiras chuvas e durante o início do desenvolvimento da cultura comercial, atenuará a radiação solar direta e a ação de agentes erosivos, como o impacto das gotas de chuva, comuns nesses períodos (SODRÉ FILHO et al., 2004).

Usualmente, há aumento da produção de massa seca com o aumento da adubação nitrogenada, assim como relatado por diversos autores (FRANÇA et al., 2011; FERNANDES; LIBARDI, 2012; RIMSKI-KORSAKOV; RUBIO; LAVADO, 2012). Contudo, para as demais doses e fontes as respostas foram inconsistentes. Respostas inconsistentes, ou com baixo coeficiente de correlação (R^2), são observadas na literatura (HEINRICHS et al., 2003; GOES et al., 2012; MENEZES et al., 2013; ARAÚJO et al., 2016), e segundo Raij et al. (1997), baixas respostas a adubação nitrogenada podem ocorrer, especialmente em áreas que eram precedidas com pastagem.

Para a produtividade de grãos, não foi observada diferença entre as fontes utilizadas, variando entre 5.478 a 5.992 kg ha⁻¹. Fontoura; Bayer (2010) também não encontraram diferenças na produtividade de milho adubado com a ureia e fontes estabilizadas e de liberação controlada.

Trabalhos sobre a eficiência dos fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e fertilizantes estabilizados, em comparação com formas mais solúveis (ureia e sulfato de amônio) foram feitos por vários autores (SILVA et al., 2012, SCHIAVINATTI et al., 2011; SOUZA et al., 2011) e em geral, havendo condições satisfatórias de umidade do solo, não tem sido encontradas diferenças na eficiência destas fontes sob condições de campo, por exemplo, na produtividade de milho (CARDOSO et al., 2011, MEIRA et al., 2009, SORATTO et al., 2011, SORATTO et al., 2010; KAPPES et al., 2009), e de trigo (TEIXEIRA FILHO et al., 2010).

A equação de regressão da produtividade de grãos de milho é apresentada na figura 9 - elevado coeficiente de determinação do modelo ajustado ($R^2 > 70\%$) e coeficiente da equação significativo pelo teste de t ($p < 0,05$).

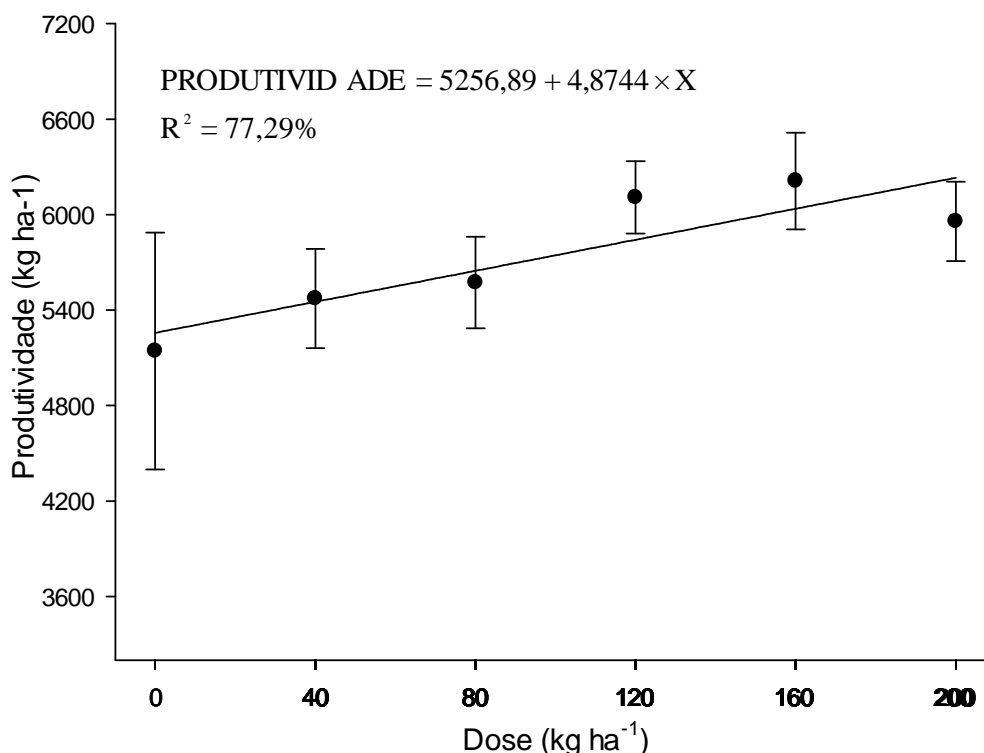


FIGURA 7. Produtividade de grãos de milho em diferentes doses de nitrogênio.

A produtividade de grãos de milho, sem a aplicação de nitrogênio em cobertura foi cerca de 5.257 kg ha⁻¹ e para cada quilograma de nitrogênio aplicado por hectare, para qualquer das fontes avaliadas, eleva a produtividade de grãos em cerca de 4,87 kg ha⁻¹.

A baixa resposta da produtividade com a adubação nitrogenada causada pela imobilização do nitrogênio provavelmente afetou o potencial produtivo da planta e, conseqüentemente, a produtividade obtida no presente trabalho.

Andrade et al. (2014), Soratto et al. (2010) e Kappes et al. (2009) também obtiveram respostas significativas na produtividade do milho, independente da fonte de nitrogênio utilizada, com a aplicação até a dose de 134, 120 e 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente. Respostas lineares da produtividade de grãos de milho também foram observadas nos estudos de Gava et al. (2010), Sichocki et al. (2014) e Valderrama et al. (2014).

5 CONCLUSÕES

Com exceção do diâmetro do colmo, não houve diferença significativa e estatística para as diferentes fontes de nitrogênio, indicando que a fonte organomineral é tão eficiente quanto a fonte mineral.

A adição de fertilizantes nitrogenados em doses crescentes, independente da fonte utilizada, promoveu maior desenvolvimento das plantas de milho, incrementou os teores de clorofila, diâmetro do colmo, teor foliar de nitrogênio, proteína bruta e produtividade.

Para a maioria das características fitotécnicas, não houve diferença estatística dos tratamentos em relação a testemunha.

REFERÊNCIAS

- ABU-RAYYAN, A. M.; SHATAT, F. A.; ABU-IRMAILEH, B. E. Response of fruit trees to composting of animal manures in the tree line. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, 2011. v. 9, p. 3–6. July/Oct.
- AGROTAIN. **Agrotain**: product information guidebook. Saint Louis. 2001. 55 p.
- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R. & DALMOLIN, R. S. D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem**: ênfase em plantio direto. Santa Maria, RS, UFSM/Departamento de Solos, 1997. p.76-111.
- AITA, et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2001. v. 25, n. 01, p. 157-165.
- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 1991. v. 55, p.1761-1766.
- ALVA, A. K. et al. Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses. **Journal of Crop Improvement**, v. 15, n. 2, p. 369-420. 2005. Disponível em:< http://dx.doi.org/10.1300/J411v15n02_11> Acesso em: 12 jan. 2016.
- ALVES V. M. C. et al. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- AMADO, T. J. C.; MILENICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.] 2000. v.24, p.179-189.
- 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**, Viçosa, 2002.v. 26, p. 241-248.
- AMARAL FILHO et al. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2005.v. 29, p. 467-473.
- ANDRADE, F. R. et al. Desempenho agrônômico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.] 2014. v. 57, n. 4, p. 358-366.
- ANJOS, J. T.; TEDESCO, M. J. Perdas de nitrogênio, por volatilização de amônia, proveniente de ureia aplicada em solos cultivados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14. Santa Maria, 1973. **Anais...** Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p.232-241.

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2004. v. 39, p. 771-777.

ARAÚJO, É. O. et al. Doses de nitrogênio e inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho em condições de solo fértil. **Acta Agronômica**, [S.l.] 2016. v. 65 (1) p 16-23.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da e BORTOLINI, C. G. Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ciência Rural**, 2001. v.31(3): 715-722.

ARGENTA, G. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2003. v. 27, p. 109-119.

BAHR, A. A.; ZEIDAN, M. S.; HOZAYN, M. Yield and Quality of Maize (*Zea mays L.*) As Affected by Slow-Release Nitrogen in Newly Reclaimed Sandy Soil. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science**, Punjab, 2006. v. 1, n. 3, p. 239-242.

BARATI, V. et al. Responses of two lowland: Rice cultivars to the different sources and levels of nitrogen. **Agrochimica**, Pisa, 2006. v. 50, n. 3/4, p. 158-164.

BARTZ, H. R. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: FRIES, M. R. (Ed.). **Plantio Direto em solos arenosos**: alternativas para a sustentabilidade agropecuária. Santa Maria: Ed. Pallotti, 1998. p. 52-81.

BASTOS, E. A. et al. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, [S. l.], 2008. v. 39, n. 02, p. 275-280.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, 1997. v.21, p.105-112.

BAYER et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2004.v. 39, p. 677-683.

BELOW, F. E. **Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho**. Piracicaba: Potafós, 2002. p. 7-12. (Informações Agrônômicas, 99).

BENDER, R.R. et al. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, 2013a. v. 105, p. 161-170.

BENDER, R.R. et al. Transgenic corn rootworm protection enhances uptake and post-flowering mineral nutrient accumulation. **Agronomy Journal**, Madison, 2013b. v. 105, p. 1626-1634.

BERTOLINI, C. G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura de milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000. 48 p.

BEUTLER et al. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2001.v. 25, n. 01, p. 129-136.

BLACK, A.; WARING, S. Nitrate leaching and adsorption in a krasnozem from redland bay. II - Soil factors influencing adsorption. **Australian Journal of Soil Research**. Australia, 1976. v. 14, n. 2, p. 181-188.

BLOOM et al. Root growth as a function of ammonium and nitrate in the root zone. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, 2003. v. 16, n.2, p. 199-206.

BOBATO, A. **Índice nutricional do nitrogênio**: uma ferramenta para o diagnostico do estado nutricional da cultura do milho. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 76p

BOMAN, B. J.; BATTIKHI, A. M. Growth, evapotranspiration, and nitrogen leaching from young lysimeter-grown orange trees. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, 2007. v. 133, n. 4, p. 350-358, 2007.

BONO, J. A. M. et al. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Agrarian**, Dourados, 2008. v.1, n.2, p.91-102.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 13. ed. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall , 2002. 960 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1993. p. 63-145.

BOUWMEESTER, R.J.B. et al. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 1985. v.49, p.376-381.

BURGER, M.; JACKSON, L. E. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, 2003. v.35, n. 1, p. 29–36.

BURTON, S. A. Q.; PROSSER, J. I. Autotrophic ammonia oxidation at low pH through urea hydrolysis. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, 2001. v. 67, n. 7, p. 2952-2957.

CAHILL, S.; OSMOND, D.; WEISZ, R.; HEINIGER, R. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. **Agronomy Journal**, [S. l.] 2010. v. 102, n. 4, p. 1226-1236.

CAMARGO, P. B. et al. 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.

CAMARGO, F. A. O. et al. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 117-138.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. 1990. 532 p.

CANTARELLA, H. Perdas de nitrogênio por volatilização podem comprometer a adubação. **Petrofértil Rural**, 1992. v.13.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H.(Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.148-196.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: SBCS, 2007a. p. 375-471.

CANTARELLA, H. Uso de inibidor da urease para aumentar a eficiência da ureia. In: **Informações Agronômicas**. IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. Piracicaba, SP. nº 117, março/2007b.

CANTARELLA, H. et al. 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: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7. 1999. Londrina. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H. et al. Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) thiophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions. **Technical report**. Campinas, Instituto Agronômico e Fundag, 2002.

CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilisation from uréase inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, 2008. v. 65, p. 397- 401.

CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilization and yield of maize with urea treated with urease inhibitor. In: **16th Nitrogen Workshop**. Turin (Italy), June, 28th - July, 1st. 2009. p. 129-130.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A. L. (ed). **Milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 36-55.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. v. 2, p. 1-65.

CARDOSO, S. M. et al. Fontes e parcelamento do nitrogênio em cobertura, na cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 2011. v. 6, n. 1, p. 23-28.

CARDOSO et al. Produtividade de batata, cv Ágata, submetida a diferentes doses de fertilizante organomineral. In: CBCS 2013. Ciência do Solo: Para que e para quem? Programa & Resumos. Florianópolis, 2013. **Anais...** Epagri e SBCS, ISBN: 978-85-85014-71-1, Florianópolis, 2013.

CARMEIS FILHO, A. C. A.; JARDIM, C. A. et al. Características Fitométricas , Teor de Proteína e Produtividade do Milho Sob Influência de Sistemas de Cultivo e da Aplicação Parcelada de Nitrogênio no Cultivo Antecessor. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29. **Anais...** Águas de Lindóia, Agosto de 2012.

CARMO, S. M. et al. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura do milho doce (*Zea mays* convar. *Saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**. 2012. v. 28, Supplement 1, p. 223-231.

CARMONA G., CHRISTIANSON C.B., BYRNES B.H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-n-butyl thiophosphoric triamide (NBPT) on ammonia volatilization from urea. **Soil Biology & Biochemistry**, 1990. v. 7, p. 933-937.

CARVALHO, E. V. et al. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**. 2011. v.27, n.3, p.392-403.

CARVALHO, R. P. et al. Organomineral fertilization on the chemical characteristics of Quartzarenic Neosol cultivated with olive tree. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, July, 2014. v. 176, p. 120–126.

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

CHENG, W. et al. N₂O and NO emissions from a field of Chinese cabbage as influenced by band application of urea or controlled-release urea fertilizers. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, 2002. v. 63, n. 2, p. 231–238.

CHRISTIANSON, C.B. et al. Microsite reactions of urea-nbtpt fertilizer on the soil surface. **Soil Biology & Biochemistry**, 1993.v. 25, p. 1107-1117.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 2011. v.41, n.1, p. 52-59.

COELHO, A. M. et al. Balanço de nitrogênio (15N) em um latossolo vermelho escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas (SP), 1991. v. 15, p. 187-193.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: Potafós, 1995. p. 01-09. (Informações Agronômicas).

COELHO, A. M. et al. **Cultivo do milho**: diagnose foliar do estado nutricional da planta. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 5 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 45).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Terceiro levantamento de avaliação da safra** 2015/16 – Dezembro/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_11_11_02_58_boletim_graos_dezembro_2015.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2015.

COOPER, J.R. et al. Distribution of nitrogenous compounds in a Rhodic Paleudult following heavy manure application. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 1984. v. 13, n. 2, p. 189-193, Apr./June.

CORDEIRO, L. A. M.; HOEK, J. B. V. D. Nitrogênio na cultura do milho sob sistema plantio direto. **Revista Factuciência**, Unaí, 2007.v. 13, p. 27-54.

COSTA, A.; MIYAZAWA, M.; TISKI, I.; **Respostas da cultura do milho à adubação nitrogenada com ureia revestida com policote**. Resumo expandido. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXXII. Uberlândia – MG. 2011.

CRAWFORD, T. W. et al. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize (*zea mays* L.). **Plant Physiology**, Lancaster, 1982. v.70;1.654-60.

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

DANCER, W.S.; PETERSON, L.A.; CHESTERS, G. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. **Soil Science Society of America**. Proceedings. Madison, 1973.v.37, n.1, p.67-69.

DAWAR, K. et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, Feb. 2011.v. 47, n. 2, p. 139–146.

DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to Durum Wheat. **Journal of Plant Nutrition**. [S. l.], 2006. v.29, p.75-92.

DENMEAD, O.T. et al. Emissions of methane and nitrous oxide from Australian sugarcane soils. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 2010.v. 150, p. 748-756.

DEUNER, S. et al. Adubação foliar e via solo de nitrogênio em plantas de milho em fase inicial de desenvolvimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, set./out., 2008. v. 32, n. 5, p. 1359-1365.

DUETE, R. R. C. et al. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2008. v. 32, p. 161-171.

DUETE, R. R. C. et al. Acumulo de nitrogênio (^{15}N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo vermelho. **Bragantia**, Campinas, 2009. v. 68, n. 2, p. 463-472.

DURÃES, F. O. M. Prolificidade em milho. **Cultivar**, Pelotas, 1999. v.10, p. 36-37.

DWYER, L. M. et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**. 1995. 75:179-182.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes. **Embrapa informações tecnológicas**. 2 ed. rev. e ampl. Brasília, DF, 2009. 627p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 392p.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages: Grafel, 2003. 76p.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C. & BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], 2001. v.25:939-946.

ERNANI, P. R. et al. A forma de aplicação da ureia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**. 2005. v.35, n.2.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: Paulo Ernani, 2008. 230 p.

FAN, X. et al. Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter whet. **Journal of Plant Nutrition**, New York, 2004.v. 27, n. 5, p. 853-865.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Editora agropecuária, 2000. 360p.

FANCELLI, A. L. Milho. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas**. Piracicaba: INPI-Brasil, 2010. v. 3, p. 43-93.

FARIA, M. V. **Proteção e nutrição foliar na produção de massa seca, acúmulo, extração e exportação de macro e micronutrientes em híbridos de milho**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2014.

FARNHAM, D. E.; BENSON, G. O.; PEARCE, R. B. Corn perspective and culture. In: WHITE, P. J.; JOHNSON, L. A. (Ed.). **Corn: Chemistry and Technology**. 2nd ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 2003. p. 1–30.

FERNANDES, F. C. S. et al. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2005. v. 04, p. 195-204.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um Latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, 2009. v. 33 p. 1163-1173.

FERNANDES, F. C. da S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do Nitrogênio do Sulfato de Amônio (15N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, jun./2012. v. 36, n. 3, p. 885–894.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para o Windows versão 4.0 In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL BIOMETRIA. **Anais...**, São Paulo: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, 2001. v. 58, n. 01, p. 131-138.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava – PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. 218 p.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, Oct./2010. v. 34, n. 5, p. 1677–1684.

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

FRANÇA, S. et al. Nitrogênio disponível ao milho: crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, nov. 2011.v. 15, n. 11, p. 1143–1151.

FRENEY, J.R. et al. Ammonia loss following urea addition to sugar cane trash blankets. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, [S.l.], 1994 .p. 114-121.

GANS, W.; HERBST, F.; MERBACH, W. Nitrogen balance in the system plant – soil after urea fertilization combined with urease inhibitors. **Plant, Soil Environment**, [S.l.], 2006. v. 52, p. 36-38.

GAVA, G. J. C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta no ciclo da cultura do milho**. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. 125 f

GAVA G. J. C. et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15N-ureia. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, 2010. v. 31, n. 4, p. 851-862.

GIOACCHINI, P. et al. Effect of N-(n-butyl) thisphosporic triamide added to peat and leather in ureabased fertilizers on urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S.l.], 2000. v. 31, p. 3177-3191.

GOES, R.J. et al. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.l.], 2012. v.11(2):169-177.

GOOSSENS A. et al. Two-year field study on the emission of N₂O from coarse and middle-textured Belgian soils with different land use. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. Dordrecht, 2001. v. 60, n. 1, p. 23-34.

GOTT, R. M. et al. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, jan./abr. 2014. v. 13, n. 1, p. 24-34.

HAEGELE, J.W. et al. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids releases in different decades. **Crop Science**, Madison, 2013.v. 53, p. 1256-1268.

HAVLIN, J.L. et al. **Soil fertility and fertilizers**. 6.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499 p.

HAYATSU, M.; KOSUGE, N. Effects of urea fertilization and liming on nitrification in Cerrados soils (Brazil). **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, 1993. v.39, p.367-371.

HAYNES, R.J. Nitrification. In: (Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Madison : Academic, 1986. p.127-164.

HEINRICHS, R. et al. Doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. **Revista Científica Eletrônica Agronomia**, Garça, 2003. Ano II. n.4. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Reges_Heinrichs/publication/242621404_DOSES_DE_NITROGENIO_EM_COBERTURA_NA_CULTURA_DO_MILHO/links/561e63cd08aef097132c3eca.pdf>. Acesso em: 30 Dez. 2015.

HEINRICHS, R.; OTOBONI, J. L. M.; GAMBA, J. R.; CRUZ, M. C.; SILVA, C. Doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. **Revista Científica Eletrônica Agronomia**. Ano ii, 4 ed. [S.l.] Dez./2003.

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

HENDRICKSON, L.L.; DOUGLASS, E.A. Metabolism of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) in soils. **Soil Biology & Biochemistry**. [s.l.] 1993. v. 25, p. 1613-1618.

HOWARTH, R. W.; MARINO, R. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. **American Society of Limnology and Oceanography**. [S.l.] 2006. v. 51, p. 364-376.

KANEKO, F. H. et al. Fontes e modos de aplicação de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 28. Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

KAPPES, C. et al. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, 2009. v. 39, n. 3, p. 251-259.

KARLEN, J. R. et al. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, 1988. v. 80, p. 232-242.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 2. ed. Piracicaba, Degaspari, 2008. 160 p.

KINJO, T.; KIEHL, E. J.; PRATT, P. F. Movimento do nitrato em colunas de terra de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 1978. v. 2, n. 2, p. 106-109.

KOŁODZIEJ, A.F. **The chemistry of nickel-containing enzymes**. Progress in inorganic chemistry, [S.l.], 1994. v. 41, p. 493-598.

KREUTZER, K. Effects of forest liming on soil processes. **Plant and Soil**, Dordrecht, 1995. v.168/169, p.447- 470.

LAGREID, M.; BOCKMAN, O. C.; KAARSTAD, O. **Agriculture, fertilizers and the environment**. Wallingford: CABI Publishing, 1999.

LARA CABEZAS, W. A. R. Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de Cerrado. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO. **Resumos...** Rio Verde: Aldeia Norte Editora, 1998. p. 78-92. 96p.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H. ; MOTTA, S.A. Volatilização de NNH_3 na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **R. Bras. Ciência do Solo**, [S.l.], 1997. v. 21, p.489- 496.

LARA CABEZAS, W. A. R.; COUTO, P.A. Imobilização de nitrogênio da ureia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura do milho, no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2007. v. 31, n. 4, p. 739-752.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2000. v. 24, p. 363-376.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Utilização de ureia em misturas com sulfato de amônio ou com gesso na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa-MG, 2008. v. 32, n. 6, p. 2343-2353.

LARA CABEZAS, W. A. R.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade do milho em resposta a aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, 2008. v. 32, n. 6, p. 2331-2342.

- LEAL, A. J. F. et al. Fontes e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS – FERTIBIO, 2010. **Anais...** Guarapari: SBCS, 2010. 1 CD-ROM.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F.N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. (Ed.) – **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin, Springer, 1997. p. 3-43.
- LEVRERO, C. R. **Fertilizante organomineral**: a serviço do mundo. In: FÓRUM ABISOLO, 2009.
- LIMA, C. L. R. et al. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2003. v. 27, p. 199-205.
- LOPES, J. F. P.; THEODORO, V. C. A. **Apostila de criação de minhocas e criação de húmus**. Lavras: UFLa/Faepe, 1998.
- LUND, L.J.; ADRIANO, D.C.; PRATT, P.F. Nitrate concentration in deep soil cores as related to soil profile characteristics. **Journal Environmental Quality**. Madison, 1974. v. 3, n. 1, p. 78-82.
- MAIA, C. E.; CANTARUTTI, R. B. Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela adubação orgânica e mineral continua na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 2004. v. 8, n. 1, p. 39-44.
- MALAVOLTA, E. **Nutrientes e nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MAR, G. D. et al. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**. Campinas, 2003. v. 62, n. 02, p.267-274.
- MARCONDES, A. L. P. **Volatilização de amônia de adubos nitrogenados aplicados em superfície na cultura do milho em ambientes distintos**. Tese (Mestrado) – Campus de Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Marechal Cândido Rondon, 2007.
- MARQUARD, R. D.; TIPTON, J. L. Relationship between extractable chlorophyll and an *in situ* method to estimate leaf greenness. **HortScience**, [S.l.], 1987.
- MARSCHNER, B.; WILCZYNSKI, A.W. The effect of liming on quantity and chemical composition of organic matter in pine forest in Berlin, Germany. **Plant and Soil**. The Hague, Nov./1991. v.137, n.2, p.229-236.

MARTUSCELLO, J. A. et al. Níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea no estabelecimento de capim- elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2009, v. 38, n. 10, p. 1878-1885. ISSN 1806-9290.

MCKENZIE, R. H. et al. Evaluation of polymer-coated urea and urease inhibitor for winter wheat in Southern Alberta. **Agronomy Journal**. 2010. v. 102, n. 4, p. 1210-1216.

MEIRA, F. A. et al. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**. 2009. v. 30, n. 2, p. 275-284.

MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. **Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales**. Buenos Aires: Instituto Nacional de tecnologia agropecuária, 1999. cap.1, p. 13-25: Nitrogenados.

MELO, F.A.F. **Ureia fertilizante**. Campinas : Fundação Cargill, 1987. 192p.

MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um latossolo argiloso sob cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, Maio/Ago.1994. v.18, n.3, p.295-303.

MENEZES, L. F. G. et al. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, 2013. v. 34, p. 1353-1362.

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

MIKKELSEN, R.L.; WILLIAMS, H.M.; BEHEL, A.D. Jr. Nitrogen leaching and plant uptake from controlled-release fertilizers. **Fertilizer Research**. The Haugue, v. 37, n. 1, p. 43–50, 1994.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – **MAPA**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>> Acesso em: 30 de Dez. 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p.

MORESCHI. et al. Avaliação de doses e fontes de adubação de semeadura na cultura do feijoeiro. In: CBCS 2013. Ciência do Solo: Para que e para quem? Programa & Resumos. Florianópolis, 2013. **Anais...** Epagri e SBCS, Florianópolis, 2013.

MUNDSTOCK, C.M; SILVA, P. R. F. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 51 p.

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

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E.L. Nutrição e adubação. In. **O Milho no Paraná**. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1982. (IAPAR – Circular,29).

NOELLSCH, A. J. et al. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. **Agronomy Journal**. 2009. v. 101, n. 3, p. 607-614.

NELSON, K. A.; PANIAGUA, S. M.; MOTAVALLI, P. P. Effect of polymer coated urea, irrigation, and drainage on nitrogen utilization and yield of corn in a claypan soil. **Agronomy Journal**. 2009. v. 101, n. 3, p. 681-687.

NUMMER FILHO, I.; HENTSCHKE, C. Nitrogênio força para o milho. **Revista Cultivar**. Pelotas, 2002. n. 43, p. 1-10.

NYBORG, M.; HOYT, P.B. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. **Canadian Journal of Soil Science**. Ottawa, 1978. v. 58, p. 331-338.

OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal of Botany**. 1994. v. 72, p. 739-750.

OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio aplicado em cobertura nas culturas de trigo, milho e algodão. In: OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. **Resultados de pesquisa, 1/95**. Cascavel: OCEPAR, 1995. 48 p.

OLIVEIRA, F. A. et al. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 2009. v.4, n.3, p.238-244.

OLIVEIRA, A. P. et al. Yield of sweet potato fertilized with cattle manure and biofertilizer. **Revista Horticultura Brasileira**. Brasília, July/Sept. 2010. v. 28, p. 277-281.

OURIVES, O. E. A. et al. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, 2010. v. 40, n. 2, p. 126-132.

PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1980. vol. único 650 p.

PEREIRA, H. S. et al. Ammonia volatilization of urea in the the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2009. v. 33, n. 6, p. 1685-1694.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: UFRRJ, 1998. 158 p.

PIOVESAN, R.P. et al. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2009. v. 33, n. 4, p. 757-766.

POLETTO, N.; GROHS, D.; MUNDSTOCK, C. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2008. v. 32, p. 1619-1626.

PRADO, R. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: FUNEP, 2008. 500 p.

QUEIROZ, A. M. et al. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays L.*). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, 2011. v. 10, n. 3, p. 257-266.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres : Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. VAN et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**. Madison, 1999. v. 91, p. 357-363.

RAWLUK, C.D.L.; GRANT, C.A.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**. 2001. v. 81, p. 239-246.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2 ed. Barueri: Manole, 2012. 524 p.

RIMSKI-KORSAKOV, H.; RUBIO, G.; LAVADO, R. S. Fate of the nitrogen from fertilizers in field-grown maize. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, Jul. 2012.v. 93, n. 3, p. 253–263.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a Corn Plant Develops, Special Report no 48, **Iowa State University of Science and Technology**. Ames, Iowa, 1993.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações Agronômicas**. Potafós: Arquivo do Agrônomo, n. 15, 2003. 20 p.

ROBERTSON, P.G. Nitrogen use efficiency in row-crop agriculture: crop nitrogen use and soil nitrogen loss. In: JACKSON, L.E. (Ed.) **Ecology in Agriculture**. San Diego: Academic Press, 1997.p. 347-365.

ROBERTSON, G. P. Denitrification in maize under no-tillage. In: SUMMER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 181-190.

ROBERTSON, G.P.; GROFFMAN, P. Nitrogen transformations. In: Paul, E.A.. **Soil Microbiology, Biochemistry, and Ecology**. New York: Springer, 2007. p. 341-364.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após o emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de ciência do Solo**. Viçosa, 1986. v. 10, n. 1, p. 37-43.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de ciência do Solo**. Viçosa, 1992. v. 16, p. 403-408.

ROGERI, D. A. **Suprimento e perdas de N no solo decorrentes da adição da cama de aves**. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages: UDESC. 2010.

ROS, C. O. DA; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, Ago. 2005. v. 35, n. 4, p. 799–805.

ROZAS, H. S. et al. No-till maize nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. **Agronomy Journal**. Madison, 1999. v. 91, n. 6, p. 950-955.

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

SÁ, Jr. et al. Interação da adubação organo-mineral nos atributos químicos do solo na cultura do melão em Mossoró-RN-Brazil. **Revista Verde**. Pombal, Jul/Set.2010. v. 5, p. 89- 100.

SAINZ ROZAS, H. R. et al. Evaluation of the presidress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. **Agronomy Journal**. Madison, 2000. v. 92, p. 1176-1183.

SANCHES, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R.; Sanches, P.A. (Ed) **Myths and science of soil of the tropics**. Madison: SSSA/ASA, 1992. p. 35-46. (Special Publication, 29)

SANGOY, L. et al. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da ureia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**. Santa Maria, 2003. v. 33, n.1, p. 65-70.

SANTOS, H. P.; PEREIRA, L. R. Efeito de sistemas de sucessão de cultura de inverno sobre algumas características agrônômicas de milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 1994. v. 29, n. 4, p. 1691-1694.

SANTOS, D. H. et al. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, 2010. v. 40, n. 4, p. 454-461.

SANTOS, D. H. et al. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 2011. v. 15, n. 5, p. 443-449.

SANTOS, L. P. D. et al. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, 2013. v. 12, n. 3, p. 270-279.

SARAHWAT, K. L. Factor affecting nitrification in soils. **Communications in Soils Science and Plant Analysis**. New York, 2008. v. 39, p. 1436-1446.

SCHARLAU, A. V. et al. Volatilização de amônia em solo com ureia, super N e nitrato de amônio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007. **Anais...** Gramado, 2007. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.

SCHIAVINATTI, A. F. et al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**. 2011. v. 70, n. 4, p. 295-230.

SCHREIBER, H.A.; STANBERRY, C.O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row number at various growth stages. **Science**. New York, 1998. v. 135, n. 3509, p. 135-136.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biologic Fertility Soils**. Berlin, 1998. v. 26, p. 01-15.

SEXTON, B. T. et al. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil. **Journal of Environmental Quality**, Madson, 1996. v. 25, p. 983-992.

SHOJI, S.; DELGADO, J.; MOSIER, A.; MIURA, Y. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to coandwater quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 7, p. 1051-1070, 2001.

SICHOCKI, D. et al. Resposta do milho safrinha à doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. 2014. v. 13, n. 1, 2014.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V.. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, C. A.; VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, set./dez. 1994. v. 18, n. 3, p. 471-476.

SILVA, A. J. da et al. Perdas de amônia por volatilização proveniente da ureia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 1995. v. 19, p. 141-144.

SILVA, E.C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2005. v. 29, n. 3, p. 353-362.

SILVA, D. R. G. et al. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, Jun. 2011. v. 35, n. 3, p. 516-523.

SILVA, A. A. et al. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**. Uberlândia, 2012. v. 28, Supplement 1, p. 104-111.

- SHADCHINA, T.M.; DMITRIEVA, V.V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**. 1995. v. 18, p. 1427-1437
- SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**. San Diego, 2001. v. 71, p. 1-49.
- SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. 13 p.
- SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 1994. 25:1495-1503.
- SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho**. 2003. 92 p Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.
- SODRÉ FILHO, J. et al. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 2004. v. 39, n. 4, p. 327-334.
- SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão a soja. **Revista Ciência Agronômica**. 2010. v. 41, n. 4, p. 511-518.
- SORATTO, R. P. et al. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência Agrotécnica**. 2011. v. 35, n. 1, p. 62-70.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p. 129-146.
- SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Eds) **Tecnologia de produção do milho**. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, v. 1, p. 13-53.
- SOUZA, R. S.; FERNANDES M. S.; Nitrogênio In: FERNANDES M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos. 2006. p. 216.
- SOUZA, J. A. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**. 2011. v. 70, n. 2, p. 447-454.
- SUHET, A. R.; PERES, J. R. R.; VARGAS, M. A. T. Nitrogênio. In: GOEDERT, W. L. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa, 1986. p. 119-144.

STEEGE, M.W.; STULEN, I.; MARY, B. Nitrogen in the environment. In: GAUDRY-MOROT, J.F.; LEA, P.J. (Ed.). **Plant nitrogen**. Berlin: Springer-Verlag, 2001.

STIPP, S.R.; PROCHNOW, L.I. **Maximização da eficiência e minimização dos impactos ambientais da adubação nitrogenada**. Piracicaba: Potafós, 2008. p. 01-07. (Informações Agronômicas, n. 124).

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 720 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TEIXEIRA, W. G. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia, 2013. 99 p.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Response of Irrigated Wheat Cultivars to Different Nitrogen Rates and Sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2009. v. 33, p. 1303-1310.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2010. v. 45, n. 8, p. 797-804.

TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J. L. Effects of Application of Two Organomineral Fertilizers on Nutrient Leaching Losses and Wheat Crop. **Agronomy Journal**. Madison, 2005. v. 97, p. 960-967.

TIRITAN, C. S. et al. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquim Agrariae**. Presidente Prudente, 2010. v. 6, p. 8-14.

TIRITAN, C.S.; SANTOS, D.H. Resposta do milho safrinha à adubação organomineral no município de Maracaju-MS. UNOESTE. **Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Presidente Prudente: 22 a 25 Out. 2012.

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

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. New York : Macmillan, 1984. 753 p.

TRENKEL, M.E. **Improving fertilizer use efficiency**: Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris, International Fertilizer Industry Association, 1997. 151 p.

TRENKEL, M. E. **Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers**: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

TRIVELIN, P. C. O. et al. Perdas de nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de- açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2002. v. 37, n. 2, p. 193-201.

UHART, A. S; ANDRADE, F. H. Nitrogen deficiency in maize: I - Effects on crop, growth, development, dry matter partitioning and kernel sets. **Crop Science**. Madison, 1995. v. 35. p. 1376-1383.

ULLOA, A. M. C.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 66 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/wasde/wasde-02-09-2016.pdf>>, Acesso em: 30 jan. 2016.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, 2009.v. 39, n. 3, p. 52-54.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, 2011. v. 41, n. 2, p. 254-263.

VALDERRAMA, M. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, 2014. v. 35, n. 2, p. 659-670.

VARSA, E.C. et al. Nitrogen placement in no-till corn. In:PROCEEDINGS OF NORTH CENTRAL EXTENSIONINDUSTRYSOIL FERTILITY CONFERENCE, 1995,St.Louis. **Proceedings...** St. Louis : Potash & Phosphate Institute, 1995. p. 69-74.

VASCONCELLOS, C. A. et al. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período de inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Goiânia, 1998. V. 33, n. 11, p. 1835-45.

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo e Negócios**. Uberlândia, 2004. v. 41, n. 3, p. 4-8.

VILLAS BOAS, R. L. et al. Recuperação do nitrogênio da mistura de ureia e sulfato de amônio por plantas de milho. **Bragantia**. Campinas, 2005. v. 64, n. 2, p. 263-272.

VILLELA, F.C. **Efeito de fontes e doses de nitrogênio na produtividade de milho (Zea mays L.) cultivado em solo de várzea. Botucatu**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 1999. 63 p.

VITTI, G. C. et al. Influencia da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2002. v. 26, n. 3, p. 663-671.

VITTORI, L. et al. Effects of the urease inhibitor NBPT in low concentrations on ammonia volatilization and evolution of mineral nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**. 1996. v. 22, p. 196-201.

VON PINHO, R. G. et al. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, MG, 2009. v. 8, n. 2, p. 157-173.

WATSON, C.J. Urease activity and inhibition – Principles and practice. **The International Fertilizer Society Meeting**. London, Nov/2000. The International Fertilizer Society. Proceedings No. 454. 39 p.

WATSON, C.J.; POLAND, P.; ALLEN, M.B.D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) for impruve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperature grassland. **Grass and forage science**. 1998. v. 53, p. 137-145.

WATSON, C. J. et al. Rate and mode of application of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Use and Management**. 2008. v. 24, p. 246-253.

WILSON, M. L. et al. Potato response to polymer-coated urea on an irrigated, coarse textured soil. **Agronomy Journal**. 2009. v. 101, n. 4, p. 897-905.

WORTMANN, C. **Agricultural nitrogen management for water quality protection in the midwest**. Lincoln: Heartland regional water coordination initiative, 2006. 32 p.

YADAVA, U.L. A rapid and nondestrutive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**. 1986. 21:1449-1450.

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 2000. 5 p. (Informações Agronômicas, 91).

YAMADA, T. et al. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI - International Plant Nutrit. Institute, 2007. 722 p.

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, D. C, 2000. v. 39, n. 3, p. 367–371.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. **Eficiência agronômica do revestimento da ureia com polímero aplicada em cobertura na cultura do milho**. Resumo expandido. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32. Uberlândia – MG. 2011.

ZHANG, M. et al. Localized root growth in soil induced by controlled-release urea granule and barley nitrogen uptake', **Journal of Plant Nutrition**. New York, 2000. v. 23, n. 3, p. 413-422.