**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Balanço de ^{15}N em sistemas de produção de milho para adoção do
plantio direto no Oeste baiano**

Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2008**

Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida
Engenheiro Agrônomo

**Balanço de ^{15}N em sistemas de produção de milho para adoção do plantio direto
no Oeste baiano**

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Fitotecnia

Piracicaba
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Almeida, Rodrigo Estevam Munhoz de

Balanço de ^{15}N em sistemas de produção de milho para adoção do plantio direto no Oeste
baiano / Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida. - - Piracicaba, 2008.
85 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Brachiaria 2. Fertilizantes nitrogenados 3. Isótopos estáveis 4. Milho 5. Palhada 6. Plantio
Direto I. Título

CDD 633.15
M966b

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À Deus razão de tudo

Ofereço

Ao meu pai José Luiz Motta de Almeida
A Minha mãe Cibele Helena Ferrero Munhoz
A minha irmã Tainá Iara Munhoz de Almeida

Dedico

AGRADECIMENTOS

Nosso mais profundo reconhecimento a todos aqueles que, direta ou indiretamente, tornaram possível a realização deste trabalho. Seus nomes serão mencionados, mas a extensão e o significado de suas colaborações e lealdade são impossíveis de expressar:

Ao Prof. Dr. José Laércio Favarin, o Mestre, o amigo, cuja orientação segura, liberalmente oferecida, jamais poderá ser recompensada. Meu reconhecimento pela sua participação fundamental na minha formação.

Ao Sr. Wilson Hideki Horita pelo empreendedorismo e visão futurística, e seus irmãos Ricardo Lhossuke Horita e Walter Yukio Horita pelo estímulo constante ao prosseguimento deste estudo.

À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro em parte do projeto.

Aos Eng^o Agr^o Rafael Otto, Henrique Coutinho Junqueira Franco e Carlos Eduardo Faroni, exemplos de ética e amizade, pelo apoio técnico e científico dedicado a este trabalho.

Aos Prof. Dr Paulo César Ocheuze Trivelin e José Albertino Bendassolli pelas sugestões em relação à metodologia e análises laboratoriais, e os técnicos do CENA-USP nas pessoas de José Aurélio Bonassi, Clelber Vieira Prestes e Bento Moçambique de Moraes Neto.

Ao Eng^o. Agr^o Leonardo Shigeyuki Sugimoto pela atenção e dedicação no Oeste baiano e aos Eng^o Agr^o José Cláudio de Oliveira, Cícero Carlos de Lima Silva, Tahishi Nitta e Domingos Correia de Lacerda Filho, os quais colocaram à disposição todas condições possíveis para que nossos objetivos fossem alcançados.

A todos amigos da Fazenda Acalanto que colaboraram na viabilização deste projeto, em especial Daniella Cristina de Almeida, Valdinei Luiz Cardoso, Claudimar Camilo

de Lima, Rosimeiry Alves de Oliveira Cardoso, Nilva Pereira dos Santos, Nayson Silva dos Santos e Jundy Markson de Teixeira.

A Charles Louis Peeters, Fausto Motta de Carvalho, Rogério Augusto Bortolan, Ruy Fachini Neto e Samuel Ferreira Balieiro. Quando todas as palavras forem insuficientes para expressar nossa gratidão, basta dizer simplesmente: amigos.

Aos Profs. Dr. Godofredo César Vitti e Dr Pedro Henrique de Cerqueira Luz e ao GAPE (Grupo de Apoio a Pesquisa e Extensão), exemplos de pesquisadores e educadores, a quem devo grande parte de minha formação técnica e humana.

À República Copacabana pelas amizades e lições de vida.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
Referências.....	12
2 PRODUTIVIDADE DE MILHO E DE RESÍDUOS EM RAZÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA DOSE DE NITROGÊNIO.....	13
Resumo	13
Abstract	14
2.1 Introdução.....	14
2.2 Materiais e métodos	18
2.3 Resultados e discussão	28
2.5 Conclusões.....	39
Referências.....	40
3 BALANÇO DE NITROGÊNIO (^{15}N) EM SISTEMAS DE CULTIVO DE MILHO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA.....	45
Resumo	45
Abstract	45
3.1 Introdução	46
3.2 Material e métodos	51
3.3 Resultados e discussão	60
3.3.1 Recuperação pela parte aérea do ^{15}N aplicado na semeadura do milho em cultivo solteiro e consorciado com braquiária.....	60
3.3.2 Recuperação pelas raízes do ^{15}N aplicado na semeadura do milho em cultivo solteiro e consorciado com braquiária	67
3.3.3 Recuperação no solo do ^{15}N aplicado na semeadura do milho em cultivo solteiro e consorciado com braquiária	70
3.4 Balanço do nitrogênio no sistema solo-planta em cultivo de milho solteiro e conSORCIADO COM BRAQUIÁRIA.....	75
3.5 Conclusões.....	79
Referências.....	79

RESUMO

Balanço de ^{15}N em sistemas de produção de milho para adoção do plantio direto no Oeste baiano

No Cerrado do Oeste baiano o clima dificulta a formação de palhada para o plantio direto. O consórcio de culturas é uma alternativa à limitação do clima, por produzir biomassa ao sistema. Os cotonicultores dessa região utilizam o milho para rotação e, em alguns casos, para formação de palha, com adubação exclusiva na semeadura em solos arenosos, baixo teor de matéria orgânica e precipitação média de 1.500 mm. Realizaram-se duas pesquisas: (i) produtividade de milho e de resíduos em razão do sistema de produção e da dose de nitrogênio e (ii) balanço de nitrogênio (^{15}N) em sistemas de cultivo de milho solteiro e consorciado com braquiária. O objetivo da primeira foi avaliar o uso de doses de N na semeadura, em milho solteiro e consorciado com braquiária, em São Desidério, BA; para implantar o plantio direto. Adotou-se o delineamento de blocos ao acaso, com dez tratamentos e quatro repetições; T1: milho sem nitrogênio; T2: milho-braquiária sem N; T3: milho com 50 kg ha⁻¹ N; T4: milho-braquiária com 50 kg ha⁻¹ N; T5: milho com 100 kg ha⁻¹ N; T6: milho-braquiária com 100 kg ha⁻¹ N; T7: milho com 150 kg ha⁻¹ N; T8: milho-braquiária com 150 kg ha⁻¹ N; T9: milho com 200 kg ha⁻¹ N; T10: milho-braquiária com 200 kg ha⁻¹ N. Avaliou-se produtividade, extração e exportação de nitrogênio, produção de biomassa e extração de N pela forrageira e a correlação entre a quantidade determinada e estimada de N nos grãos. O consórcio foi eficiente para a formação de palhada (5.056 kg ha⁻¹) para adoção do plantio direto; o milho respondeu ao uso de 50 kg ha⁻¹ nitrogênio, independentemente do sistema de cultivo e a braquiária não respondeu a adubação; a extração de nitrogênio nos sistemas de cultivo foi prejudicada apenas na ausência do nutriente, enquanto a exportação reduziu no cultivo consorciado, somente sem N; a estimativa de exportação de N pode ser obtida pela expressão: $\text{NGE} = \text{PG} \times 0,09 \times 0,16$. A segunda pesquisa objetivou avaliar a dinâmica do N com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de ^{15}N -uréia na semeadura do milho solteiro e consorciado com braquiária no mesmo local. Adotou-se o delineamento de blocos ao acaso, com dois tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram; T1: milho solteiro e T2: milho-braquiária, com 150 kg ha⁻¹ de ^{15}N - uréia na semeadura. Avaliou-se o acúmulo de ^{15}N na parte aérea e raízes; a EUFN pelo milho e braquiária e a quantidade residual no solo proveniente do fertilizante. A braquiária em consórcio com o milho não restringiu a disponibilidade de N. A EUFN variou entre 60,4% no consórcio e 64,8% no milho solteiro. A braquiária recuperou 1,4% do ^{15}N aplicado. A RFNS foi de 18% e 25% para milho solteiro e consorciado. O ^{15}N não recuperado foi de 25,5 kg ha⁻¹ de N no milho solteiro e 19,5 kg ha⁻¹ no consórcio com braquiária.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; *Brachiaria ruziziensis*; Adubação de semeadura; Milho solteiro e consorciado com braquiária; Eficiência de uso do fertilizante nitrogenado; Acúmulo de biomassa de braquiária; Produtividade e proteína no grão

ABSTRACT

¹⁵N balance in maize production systems for no-till in the west State of Bahia

In Cerrado of the west of Bahia state the climate difficulties the formation of vegetable residue for no-tillage. Intercropping cultures is an alternative for climate limitation, for producing biomass to the system. Cotton producers from this region use maize culture for rotation and, in some cases, for formation of straw, with fertilization done exclusively during sowing in sandy soils, with low level of organic matter and an average precipitation of 1500 mm. Two researches were performed: (i) maize productivity and remaining residues due to production system and nitrogen dosage and (ii) nitrogen (¹⁵N) balance in maize single crop systems and intercropped with *Brachiaria ruziziensis*. The objective of the first research was to evaluate the use N doses, in sowing, in maize single crop and intercropped at São Desidério, BA; to establish no-till. It was adopted the randomized block design, with 10 treatments and four repetitions: T1 – maize without nitrogen; T2 – maize-brachiaria without N; T3 – maize with 50 kg ha⁻¹ of N; T4 – maize- brachiaria with 50 kg ha⁻¹ of N; T5 – maize with 100 kg ha⁻¹ of N; T6 – maize- brachiaria with 100 kg ha⁻¹ of N; T7 – maize with 150 kg ha⁻¹ of N; T8 – maize-brachiaria with 150 kg ha⁻¹ of N; T9 – maize with 200 kg ha⁻¹ of N; T10 – maize-brachiaria with 200 kg ha⁻¹ of N. Productivity was evaluated, nitrogen extraction and exportation, biomass production and N extraction by the brachiaria and the correlation between determined and estimated N grain quantity. Intercropping was efficient for formation of straw (5.056 kg ha⁻¹) intending to adopt of no-till; maize responded to 50 kg ha⁻¹ of nitrogen, independently of cropping system and brachiaria did not respond to fertilization; nitrogen extraction in the cropping systems was harmed only in the absence of N; while the exportation was reduced in the intercropped system, only in the absence of nitrogen; the estimative of N exportation can be obtained by the expression: NGE = PG x 0,09 x 0,16. The second research had objective of evaluate dynamics of N with 150 kg ha⁻¹ of ¹⁵N-urea application in the sowing of maize single crop and intercropped with brachiaria in the same place. The randomized blocks design was adopted, with two treatments and four repetitions. Treatments were: T1 – single crop maize and T2 – maize- brachiaria, with 150 kg ha⁻¹ of ¹⁵N – urea at sowing. It was evaluated the accumulation of ¹⁵N by aboveground and roots; the EUFN by maize crop and brachiaria and the residual amount in the soil derived from the fertilizer. The brachiaria intercropped with maize did not restrict N availability. The EUFN varied between 60,4 % for intercropped and 64,8 % for single crop. Brachiaria recovered 1,4 % of the ¹⁵N applied. The RFNS were of 18% and 25% for single crop and intercropped maize. The ¹⁵N not recovered from urea was 25,5 kg ha⁻¹ of N in the maize single crop and 19,5 kg ha⁻¹ in the intercropped maize.

Keywords: *Zea mays* L.; *Brachiaria ruziziensis*; Sowing fertilization; Intercropped cultures; Efficient use of nitrogen fertilizer; Biomass accumulation; Productivity and protein in grain

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado ocupa 25% do território brasileiro, com 207 milhões de hectares distribuídos em 15 Estados, que poderão ser incorporado, pela aplicação de tecnologia, até 127 milhões de hectares deste bioma à produção agrícola e ainda preservar 38% como reserva natural (VARGAS; HUNGRIA, 1997; SOUZA; LOBATO, 2004).

O clima predominante no Cerrado é semelhante à maioria das Savanas do mundo, classificado como tropical sazonal de inverno seco megatérmico e precipitação média de 900 a 1800 mm por ano. Em geral, 80% das chuvas estão concentradas na primavera-verão (outubro a março), seguido de uma estação seca no outono-inverno (abril a setembro) e temperaturas médias anuais de 22°C ao Sul e 27°C ao Norte (VARGAS; HUNGRIA, 1997).

Neste bioma predominam os solos classificados como Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, em que os Latossolos ocupam cerca de 46% da área e possuem como atributos: minerais de baixa atividade, devido ao elevado grau de intemperização do material de origem, teor de argila entre 150 a 900 g kg⁻¹ e drenagem superior a 150 mm por hora, são profundos e possuem água disponível entre a capacidade de campo (-0,03 MPa) e ponto de murcha permanente (-1,5 MPa) até dois metros de profundidade. Os Neossolos Quartzarênicos contêm, no máximo, 150 g kg⁻¹ de argila, baixa capacidade de retenção de cátions (CTC) e são bem drenados como os Latossolos. Tanto os Latossolos quanto os Neossolos Quartzarênicos são caracterizados pela baixa fertilidade natural, pH ácido, elevado teor de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes. Porém, estas limitações podem ser corrigidas com a aplicação de calcário, gesso e fertilizantes, e pela adoção do sistema plantio direto que preserva e, em determinadas condições, aumenta o teor de matéria orgânica (KLUTHCOUSKI et al., 2003).

O plantio direto é um sistema de produção conservacionista, em que a semeadura é realizada em solo não revolvido, protegido por resíduos vegetais de culturas anteriores e de plantas nativas, com base num programa de rotação de culturas. A utilização da rotação e a inclusão de plantas de cobertura deve considerar o aspecto econômico e a capacidade produtiva do solo, com a finalidade de preservar a

sustentabilidade do sistema agrícola (SÁ, 1998; BRADFORD; PETERSON, 2000; OLIVEIRA et al., 2002)

A estacionalidade da precipitação é uma das principais limitações para a adoção do plantio direto no Cerrado baiano, pois as chuvas são concentradas na primavera-verão e possui uma estação seca prolongada no outono-inverno. Nestas condições, o estabelecimento de cultivos na entressafra é comprometido, assim como o acúmulo de resíduos, situação diferente daquela que ocorre na região subtropical, em razão da distribuição da precipitação durante o ano.

O Oeste baiano apresenta elevado potencial para a produção de algodão, soja, milho e feijão, as quais são cultivadas em plantio convencional ou em plantio direto, com os solos expostos pela falta de resíduos. Em geral, os produtores da região cultivam algodão em plantio convencional e utilizam o milho como opção de rotação de culturas, com a adubação nitrogenada realizada unicamente na semeadura. Este procedimento tem por finalidade evitar o deslocamento de máquinas e serviços do algodoeiro, em geral, a cultura principal no sistema de produção da região.

O plantio direto nesta região não tem sido adotado em larga escala, em razão da dificuldade de formação e de acúmulo de resíduos vegetais. O milheto é muito utilizado como cultura para produção de palha, e como se trata de planta de verão e ciclo anual, o crescimento é limitado, pois a semeadura é feita no final ou início da estação chuvosa. Quando plantado no final das chuvas a planta encerra o ciclo na época seca, enquanto no plantio no início das águas, essa cultura vegeta por volta de dois meses até a dessecação para implantação da cultura principal.

Na semeadura tardia do milheto, no final do ciclo da cultura principal, ocorre degrana natural das sementes na estação seca, e parte das mesmas são dispersas durante a colheita. Assim, as sementes germinam com as primeiras chuvas e vegetam até quando é realizada a dessecação para a implantação da cultura principal. Nestas condições, o plantio direto é feito em quantidade insuficiente de resteva, inferior a $3,0 \text{ t.ha}^{-1}$, proveniente do milheto e das plantas nativas que reinfestaram a área, aquém da necessidade para a cobertura do solo, da ordem de 8.000 kg ha^{-1} .

A cultura do milho é comum no sistema de rotação de culturas dos produtores de algodão, a qual contribui com mais de 6.000 kg ha^{-1} de biomassa seca com relação C/N

da ordem de 70:1. No entanto, devido à ausência de plantas de cobertura e pela entressafra longa (7 a 8 meses), associado à elevada taxa de decomposição, reduz a quantidade de resteva desta cultura.

Uma alternativa provável para a região seria a adoção do consórcio pelo plantio de milho com braquiária, semeada simultaneamente ou em pós-emergência da cultura. Dessa maneira, além dos resíduos produzidos pelo milho seria agregada ao sistema a resteva da forrageira, em quantidade superior ao milheto, pois a braquiária iniciaria a vegetação depois da semeadura do milho e continuaria a formação de biomassa com a retomada das chuvas, na próxima estação. Este fato é possível em razão da fisiologia da braquiária, planta perene que persiste durante a estação seca e depende apenas do estabelecimento na área.

Os problemas observados no Oeste baiano estão relacionados às características edafoclimáticas e pela dificuldade de formação e acúmulo de resíduos, além do desconhecimento do desempenho do milho em consórcio e em relação à eficiência de uma única aplicação de nitrogênio, ao redor de 150 kg ha^{-1} feita unicamente na semeadura do milho, em solos com baixo teor de argila, em geral, de 200 g kg^{-1} .

Com base nos problemas identificados foram formuladas as seguintes hipóteses:

(1ª) em regiões de outono-inverno quente e seco, com cinco a seis meses de déficit hídrico, o consórcio de culturas pode ser uma alternativa para a formação e acúmulo de resíduos vegetais em quantidade suficiente para a cobertura do solo e a implantação do sistema plantio direto;

(2ª) A braquiária em consórcio, nestas condições de clima e solo, aumentaria a quantidade de resíduos em razão do estabelecimento na estação chuvosa persistência no período seco, e retomada do acúmulo de biomassa no início das chuvas da safra seguinte;

(3ª) a adubação nitrogenada feita somente na semeadura do milho, utilizado para rotação e formação de palha ao cultivo do algodoeiro, com a finalidade de evitar o

deslocamento de horas-máquina e serviços da cultura principal, pode proporcionar maior perda de nitrogênio por lixiviação, em relação ao consórcio milho-braquiária;

(4ª) O aumento da dose de nitrogênio, aplicado unicamente na semeadura, poderá aumentar a produtividade do milho solteiro e em consórcio com braquiária, assim como a produção de biomassa da braquiária no sistema consorciado;

(5ª) a extração e exportação de nitrogênio serão maiores com o incremento da dose de nitrogênio no milho solteiro, em relação ao consórcio milho com braquiária, pela ausência de competição pelo nutriente por parte da forrageira;

(6ª) para uma mesma dose de nitrogênio aplicada unicamente na semeadura, o aproveitamento do nitrogênio proveniente do fertilizante, provavelmente será maior no milho solteiro em relação ao milho-braquiária, em razão da competição da forrageira pelo nutriente.

Referências

BRADFORD, J.M.; PETERSON, G.A. Conservation tillage. In: SUMMER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 2000. chap. G, p. 247-270.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura pecuária**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2003. 570 p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; CANTARUTTI, V.R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; de MELLO, J.W.V.; da COSTA, L.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2002. v. 2, p. 393-486.

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

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1997. 524 p.

2 PRODUTIVIDADE DE MILHO E DE RESÍDUOS EM RAZÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA DOSE DE NITROGÊNIO

Resumo

No Cerrado do Oeste baiano o clima quente e seco do inverno dificulta a formação e o acúmulo de resíduos vegetais, indispensável para o plantio direto. O consórcio de culturas com braquiária é uma alternativa para contornar a limitação do clima, pois têm capacidade de produzir biomassa para adoção deste sistema. Os cotonicultores do Oeste baiano, em geral, utilizam a cultura de milho para rotação e, em alguns casos, na formação de palhada para o plantio direto. Para não limitar horas-máquina e serviços no algodoeiro a adubação do milho, nesta situação, é feita exclusivamente na semeadura, com dose entre 130 a 175 kg ha⁻¹ de N em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica e precipitação média de 1.500 mm entre outubro a abril. Esta pesquisa foi realizada para avaliar o uso de diferentes doses de nitrogênio, exclusivamente na semeadura, em dois sistemas de cultivo: milho solteiro e milho consorciado com braquiária *ruziziensis*, no município de São Desidério, BA; na fase de implantação do sistema plantio direto. Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com dez tratamentos e quatro repetições: T1 - milho sem nitrogênio; T2 - milho-braquiária sem N; T3 - milho com 50 kg ha⁻¹ N; T4 - milho-braquiária com 50 kg ha⁻¹ N; T5 - milho com 100 kg ha⁻¹ N; T6 - milho-braquiária com 100 kg ha⁻¹ N; T7 - milho com 150 kg ha⁻¹ N; T8 - milho-braquiária com 150 kg ha⁻¹ N; T9 - milho com 200 kg ha⁻¹ N; T10 - milho-braquiária com 200 kg ha⁻¹ N. Avaliou-se a produtividade de grãos, extração e exportação de nitrogênio, produção de biomassa e extração de N pela forrageira e a correlação ente a quantidade determinada de N nos grãos e a estimativa com base na produtividade, teor de proteína no grão e de N na proteína. O consórcio foi eficiente para a formação de palhada (5.056 kg ha⁻¹) para fins de adoção plantio direto; o milho respondeu ao uso de 50 kg ha⁻¹ nitrogênio, independentemente do sistema de cultivo e a braquiária não variou com o fornecimento de N; a extração de nitrogênio nos dois sistemas de cultivo foi prejudicada apenas na ausência do nutriente, enquanto a exportação pelos grãos foi menor no cultivo consorciado, somente na ausência da adubação nitrogenada; a estimativa de exportação de N pelos grãos, por hectare, pode ser obtida pela expressão: NG = PM x 0,09 x 0,16.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; *Brachiaria ruziziensis*; Milho solteiro e consorciado; Adubação exclusiva de semeadura; Plantio direto; Produtividade e proteína no grão

2 MAIZE PRODUCTIVITY AND RESIDUES DUE TO PRODUCTION SYSTEM AND NITROGEN DOSE

Abstract

In Cerrado of the west of Bahia state, a hot and dry climate in the winter season raises difficulties to the formation and accumulation of vegetable residue, indispensable for no-tillage. Intercropping maize culture with *Brachiaria ruziziensis* is an alternative for skirting climate limitation, due to its capacity of producing biomass to the feasibility of no-tillage system. In general, cotton producers in the west of Bahia use maize culture for rotation and, in some cases, for formation of straw in no-till system. To avoid machine-hour and services at the cotton plant limitations, maize fertilization is done exclusively during sowing in sandy soils with low level of organic matter and an average precipitation of 1500 mm between october to april. This research was carried out with the objective of evaluating the use of different N doses, exclusively in sowing, in two systems of culture: maize single crop x intercropped at São Desidério city, BA; at establishment phase of no-till. It was adopted the randomized block design, with 10 treatments and four repetitions: T1 – maize without nitrogen; T2 – maize-*Brachiaria ruziziensis* without N; T3 – maize with 50 kg ha⁻¹ of N; T4 – maize-*Brachiaria ruziziensis* with 50 kg ha⁻¹ of N; T5 – maize with 100 kg ha⁻¹ of N; T6 – maize-*Brachiaria ruziziensis* with 100 kg ha⁻¹ of N; T7 – maize with 150 kg ha⁻¹ of N; T8 – maize-*Brachiaria ruziziensis* with 150 kg ha⁻¹ of N; T9 – maize with 200 kg ha⁻¹ of N; T10 – maize-*Brachiaria ruziziensis* with 200 kg ha⁻¹ of N. The following parameters were evaluated: grain productivity, nitrogen extraction and exportation, biomass production and N extraction by the forage and the correlation between determined N grain quantity and estimation based on productivity, protein level in the grain and N in the protein. Intercropping was efficient for formation and accumulation of straw (5.056 kg ha⁻¹) intending to adopt of no-till. Maize responded to 50 kg ha⁻¹ of nitrogen dose, independently of cropping system; *Brachiaria ruziziensis* did not vary with N supply. Nitrogen extraction in the two cropping systems was prejudiced only in the absence of the nutrient; while exportation by the grain was lesser in the intercropped system. Only in the absence of nitrogen fertilization; the N exportation by grains estimative per hectare, can be obtained by the expression: $NGE = PG \times 0,09 \times 0,16$.

Keywords: *Zea mays* L.; *Brachiaria ruziziensis*; Sowing fertilization; Intercropped cultures; Exclusive sowing fertilization; No-till; Productivity and protein in grain

2.1 Introdução

A formação da cobertura vegetal, ausência de revolvimento de solo e rotação de culturas são as condições necessárias para a adoção do sistema plantio direto. Vários fatores influenciam a formação da cobertura, como: solo, clima e a cultura que será

utilizada com esta finalidade. Entre as vantagens da cobertura na superfície do solo, destacam-se: o aumento da infiltração de água, redução das perdas por evaporação, conservação da umidade e menor variação da temperatura do solo, controle de plantas daninhas e aumento da ciclagem de nutrientes (VOSS; SIDIRAS, 1985; WUTKE, 1993; FIORIN, 1999; HAAS, 1999; HERNANI et al., 1999).

Os resíduos vegetais favorecem a atividade biológica, modificam a dinâmica dos nutrientes, com acúmulo superficial e mantém e/ou aumentam o teor de matéria orgânica nos primeiros 5 a 10 cm de solo, além de contribuir para a agregação das partículas (CAMPBELL, 1989).

As plantas recuperadoras da fertilidade do solo, de maneira geral são espécies vegetais agressivas e rústicas, as quais possuem, normalmente, sistema radicular profundo e ramificado, eficientes na absorção de nutrientes das camadas subsuperficiais, liberando-os, gradualmente, na superfície durante a decomposição (FIORIN, 1999).

O sucesso do plantio direto está diretamente relacionado com as alterações observadas na dinâmica da decomposição dos resíduos (FRANCHINI et al., 1999). O efeito positivo da palhada é aumentado conforme o tempo de permanência sobre o solo. Este tempo depende do tipo de resíduo, do tamanho das suas partículas, quantidade, composição química, relação C/N e da área de contato (FIORIN, 1999).

As plantas de cobertura, principalmente as gramíneas, integradas de forma planejada no sistema de rotação de culturas, tem potencial para a produção de fitomassa com elevada relação C/N, suficiente para garantir a cobertura do solo (FIORIN, 1999).

Em regiões tropicais e subtropicais as condições de temperatura e umidade favorecem a decomposição da fitomassa depositada no solo. Por esta razão, resíduos com maior relação C/N, tanto de culturas comerciais como de plantas de cobertura, deverão ser, preferencialmente, utilizadas no sistema plantio direto, devido a menor velocidade de decomposição (CALEGARI et al., 1993; SANTOS; SIQUEIRA, 1996).

A ausência de revolvimento do solo e a manutenção de resíduos vegetais na superfície propiciam aumento da ordem de 10 g kg^{-1} de matéria orgânica nos primeiros 5 a 10 cm de solo, depois de 8 a 10 anos de plantio direto (SIDIRAS; PAVAN, 1985;

VALPASSOS et al., 2001), de fósforo (MUZILLI, 1983; SIDIRAS; PAVAN, 1985; VALPASSOS et al., 2001), de potássio (MUZILLI, 1983; VALPASSOS et al., 2001) e de cálcio e magnésio (SANTOS; REIS, 1989; VALPASSOS et al., 2001). Também foram observados maiores valores de pH (SIDIRAS; PAVAN, 1985; SANTOS; REIS, 1989; MIYAZAWA, 1993; VALPASSOS et al., 2001), da CTC efetiva (SIDIRAS; PAVAN, 1985; VALPASSOS et al., 2001) e do teor de micronutrientes (CASTRO et al., 1992), assim como a diminuição do alumínio trocável (SIDIRAS; PAVAN, 1985; SANTOS; REIS, 1989; VALPASSOS et al., 2001).

No Cerrado do Oeste baiano o clima quente e seco do inverno dificulta a formação e o acúmulo de resíduos vegetais, indispensável para o sucesso do plantio direto. Por isso, em muitas regiões não se tem obtido êxito na adoção deste sistema.

Para contornar o problema imposto pelo clima, o consórcio de culturas é uma alternativa que merece ser estudado, em particular com braquiária, pois tem capacidade de produzir, em média, 4.000 kg ha⁻¹ de biomassa, sem comprometer a cultura consorciada. A vantagem dessa gramínea está na sua capacidade de persistir durante o inverno quente e seco da região e retomar o crescimento nas primeiras chuvas da primavera, com acúmulo de resíduos em quantidade para a implantação de culturas em plantio direto.

O consórcio de culturas com forrageiras tropicais é possível porque estas plantas acumulam biomassa lentamente nos primeiros 50 dias da sua emergência, época que a maioria das culturas anuais é afetada por competição. No caso do cultivo consorciado, a competitividade pode ser amenizada atrasando o acúmulo de biomassa da forrageira, por meio de práticas culturais como o arranjo espacial de plantas (OLIVEIRA et al., 1996) e o uso de subdose de herbicida (JAKELAITIS et al., 2004).

Em experimentos com 18 híbridos de milho, em diferentes condições edafoclimáticas, consorciado com braquiárias, Kluthcouski e Aidar (2003) observaram redução significativa da produtividade de milho em apenas três situações. Na maioria dos locais verificaram tendência de aumento do rendimento do sistema consorciado, provavelmente por não ser aplicado herbicida em pós-emergência. O uso de defensivo afeta a produtividade do milho pela toxidez à cultura. Observou-se ainda, maiores populações finais nas parcelas consorciadas em relação ao monocultivo. Da mesma

forma, os autores evidenciaram aumento da fertilidade do solo, com desenvolvimento superior do milho, em relação ao cultivo solteiro.

O aumento da taxa de acúmulo de biomassa seca da *Brachiaria brizantha* ocorre a partir de 45 dias após a emergência, enquanto o crescimento do milho, nas mesmas condições, é superior ao da forrageira, principalmente quando se faz adubação nitrogenada em cobertura, por reduzir o risco de competição entre as espécies (COBUCCI, 2003).

A *Brachiaria brizantha* em ambiente sombreado têm maior área foliar específica e menor ponto de compensação luminoso, o que favorece a obtenção de balanço positivo de carbono para a manutenção do crescimento (DIAS FILHO, 2002). Na consorciação de gramíneas forrageiras com culturas anuais são utilizadas espécies tolerantes ao sombreamento, condição necessária para obter as vantagens deste sistema.

Com a adoção do consórcio de plantas têm-se como vantagens a redução do uso e aplicação de herbicidas, mas quando necessário aplica-se uma subdose para evitar a competição; a supressão da emergência de plantas daninhas, pela agressividade das espécies forrageiras e, também, porque o consórcio diminui os problemas de pragas e doenças, comuns na monocultura.

O milho é uma das culturas que respondem significativamente a aplicação de nitrogênio por aumentar proporcionalmente o teor de clorofila e da rubisco, enzima que representa 25% do total de proteína foliar solúvel, assim como da PEPcase que corresponde a 10% da proteína foliar solúvel (MAJEROWICZ, 2004).

Na pesquisa com doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) em cobertura, em dois espaçamentos e com três diferentes populações de milho, Amaral Filho et al. (2005) obtiveram resposta linear ao fornecimento do nutriente. Fernandes et al. (1999) verificaram aumento quadrático para a produção de palhada e de grãos em função da dose de nitrogênio, assim como Collier et al. (2006) também evidenciaram resposta crescente à aplicação deste nutriente (0 a 250 kg ha⁻¹) em plantio direto sobre resíduos de feijão de porco. Para Ferreira et al. (2001), em trabalho com dose de N (0 a 210 kg ha⁻¹), os autores constataram resposta em produtividade e também para o número de espigas por planta, massa das espigas com e sem palha e massa de mil grãos.

Esta pesquisa foi realizada com base nas seguintes hipóteses:

- (I) há grande potencial para produzir e acumular palha para a implantação do sistema de plantio direto no cultivo de milho em consórcio com a braquiária, comparativamente ao cultivo de milho solteiro;
- (ii) a braquiária pode ser uma alternativa viável para a produção de palha, pela possibilidade de estabelecimento na estação chuvosa, persistir durante o período seco e retomar o acúmulo de biomassa, no início das chuvas da safra seguinte;
- (iii) O incremento da dose de nitrogênio, aplicado unicamente na semeadura, poderá aumentar a produtividade do milho solteiro e do consórcio com braquiária, assim como da produção de biomassa da forrageira;
- (iv) a extração e exportação de nitrogênio serão maiores com o aumento da dose de nitrogênio no milho solteiro em relação ao consórcio milho-braquiária, devido à ausência de competição pelo nutriente por parte da forrageira.

2.2 Materiais e métodos

O experimento foi conduzido na safra agrícola 2006/07 na Fazenda Acalanto do Grupo Horita, no município de São Desidério, no Oeste da Bahia (Figura 1).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999). Na área experimental, o teor de argila é igual a 140 g kg^{-1} no horizonte A, 210 g kg^{-1} na profundidade de 20 a 40 cm e 200, 210 e 220 g kg^{-1} nas profundidades de 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 100 cm, respectivamente (Figura 2).

Figura 1 – Entrada da fazenda Acalanto, Grupo Horita, onde foi instalado o experimento

A fertilidade vem sendo corrigida ao longo dos anos de cultivo, como indica a saturação por bases superior a 50% até 50 cm de profundidade, em que a capacidade de troca de cátions (CTC), nos primeiros 20 cm é da ordem $34 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

A amostragem do solo foi feita em setembro de 2006, antes da instalação do experimento e as análises químicas realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001), cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Figura 2 – Detalhe do solo da área experimental em que foi semeado algodão na safra 2005/06

Tabela 1 – Resultados da análise química de solo em razão da profundidade

Profundidade	pH	M.O	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c .dm ⁻³				%
0 a 10	6,2	15	19	2,2	19	6	8	-	35,2	77,3
10 a 20	6,3	14	8	1,8	17	6	8	-	32,8	75,6
20 a 30	6,2	10	6	0,9	15	5	9	-	29,9	69,9
30 a 40	6,0	9	3	0,8	8	4	10	-	22,8	56,4
40 a 50	5,8	9	3	0,6	7	3	10	-	20,6	51,5
50 a 60	5,6	7	3	0,5	6	3	11	-	20,5	46,3
60 a 70	4,4	9	2	0,4	4	2	15	2	21,4	29,9
70 a 80	4,4	9	2	0,4	4	2	15	1	21,4	29,9
80 a 90	4,6	7	3	0,5	5	2	14	-	21,5	34,9
90 a 100	4,6	7	2	0,4	5	2	14	-	21,4	34,6

Tabela 2 – Resultados da análise química do solo em razão da profundidade

Profundidade	m	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
cm	%	mg dm ⁻³					
0 a 10	0	8,9	1,0	34,0	1,0	2,0	0,3
10 a 20	0	8,6	1,0	42,5	1,0	2,0	0,5
20 a 30	0	8,1	0,4	60,0	0,5	0,7	0,4
30 a 40	0	8,4	0,1	66,5	0,3	0,4	0,4
40 a 50	0	9,2	0,1	49,5	0,2	0,6	0,3
50 a 60	0	11,8	0,1	37,0	0,2	0,7	0,3
60 a 70	9,3	15,1	0,1	26,0	0,2	0,4	0,2
70 a 80	4,7	44,0	0,1	21,5	0,1	0,6	0,2
80 a 90	0	37,0	0,1	25,5	0,2	0,5	0,3
90 a 100	0	25,0	0,1	17,5	0,2	0,5	0,3

A área foi cultivada na safra anterior (2005/06) com algodão, variedade Destak implantado em dezembro de 2005, em que foram fornecidos 300 kg ha⁻¹ de KCl e 1,0 kg ha⁻¹ de boro, ambos aplicados a lanço em área total sete dias antes da semeadura. Na semeadura do algodoeiro foi aplicado ainda no sulco de semeadura, 450 kg ha⁻¹ de 08:24:12 + 0,35% Zn + 0,14% B + 0,2% Cu + 0,5% Mn, com uma única cobertura de 300 kg ha⁻¹ de uréia (Figura 2).

O clima regional é classificado como Aw, segundo Köppen, quente e úmido na estação chuvosa e uma estação seca no inverno. Esta condição climática predomina em todo interior do Estado baiano, com exceção da parte setentrional e do vale do São Francisco. A área experimental está localizada a 840 m de altitude, temperatura média anual de 20 °C e precipitação pluvial média de 1.500 mm anuais (AIBA, 2008).

Os dados mensais referentes à precipitação durante a condução da pesquisa, coletados em pluviômetro instalado na área experimental, estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Dados da precipitação pluvial mensal na área experimental durante a condução da pesquisa, entre os meses de setembro de 2006 a novembro de 2007

O experimento foi instalado em novembro de 2006 e antes da implantação do milho foram aplicados 600 kg ha^{-1} de gesso, 37 dias antes da semeadura e 1.000 kg ha^{-1} de 00-10-20, sete dias antes da semeadura, que correspondem a 90 kg ha^{-1} de S, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 200 kg ha^{-1} de K_2O .

A semeadura do milho foi realizada no espaçamento de 0,76 m entre linhas com 5,0 plantas por metro, com a finalidade de obter uma população final de 60.000 plantas por hectare.

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com dez tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1 - milho sem nitrogênio; T2 – milho-braquiária sem N; T3 – milho com 50 kg ha^{-1} N; T4 – milho-braquiária com 50 kg ha^{-1} N; T5 – milho com 100 kg ha^{-1} N; T6 – milho-braquiária com 100 kg ha^{-1} N; T7 – milho com 150 kg ha^{-1} N; T8 – milho-braquiária com 150 kg ha^{-1} N; T9 – milho com 200 kg ha^{-1} N; T10 – milho-braquiária com 200 kg ha^{-1} N.

Para o fornecimento do nitrogênio foi utilizada uréia, aplicada manualmente e unicamente na semeadura da cultura, em sulco lateral a 10,0 cm das linhas de milho e a 8,0 cm de profundidade (Figura 4).

As parcelas experimentais foram constituídas por 6 linhas de milho espaçadas em 0,76 m por 10 m de comprimento totalizando 45,6 m². Para as avaliações foram consideradas as 4 linhas centrais, das quais 2,5 m das extremidades de cada linha e as duas linhas externas constituíram a bordadura (Figura 4).

Figura 4 – Detalhe da aplicação das diferentes doses de nitrogênio

No experimento foi utilizado o híbrido Impacto (*Zea mays* L.) e a forrageira (*Brachiaria ruziziensis*), semeada manualmente no mesmo dia do milho, no centro das entrelinhas desta cultura, no tratamento em consórcio (T2, T4, T6, T8 e T10). Na época do perfilhamento da braquiária foi aplicada uma subdose de nicosulfuron (6 g.ha⁻¹), para diminuir o crescimento da braquiária e evitar a competição com o milho (Figura 5).

Figura 5 – Ilustração do consórcio milho-braquiária, em plantio simultâneo, sem fornecimento de N, sete dias após a aplicação da subdose (6 g.ha^{-1}) do graminicida nicosulfuron

A colheita do milho foi feita manualmente em maio de 2007 recolhendo as espigas de todas as plantas de cada parcela, nas quais efetuou-se a debulha e determinou-se a massa de grãos. De cada parcela foi retirada uma amostra para a determinação do teor de água e correção a 130 g kg^{-1} de umidade (Figura 6).

Em cada parcela foram coletadas quatro plantas de milho para determinação da parte aérea, das quais se retirou uma subamostra para a análise de tecidos vegetais, conforme metodologia descrita por (SARRUGE; HAAG, 1974). A análise química da quantidade de nitrogênio nos grãos foi feita de acordo com a mesma metodologia.

Figura 6 – Ilustração da colheita das parcelas experimentais

Para a determinação de extração (ET) e exportação (EP) de nitrogênio pelas partes das plantas foi feita com base na massa de matéria seca de cada parte da planta (kg ha^{-1}) e pelo respectivo teor do nutriente (g kg^{-1}), conforme expressão 1:

$$\text{ET e EP} = (\text{MMS} \times \text{TN})/1000 \quad (1)$$

em que: ET e EP correspondem a extração e exportação de nitrogênio (kg ha^{-1}), respectivamente; MMS é a massa de matéria seca (kg ha^{-1}) de cada parte da planta; TN significa teor de nitrogênio (g kg^{-1}) nas respectivas partes da planta; e o fator 1.000 foi utilizado para transformação dos dados de g.ha^{-1} para kg ha^{-1} .

Para a relação entre kg de N nos grãos e kg de N na planta toda (parte aérea + grãos) (RNG) foi utilizada a expressão 2:

$$\text{RNG} = (\text{NG}/\text{NPT}) \times 100 \quad (2)$$

em que, RNG corresponde ao teor de nitrogênio nos grãos em relação ao teor de N na planta toda (%); NG significa nitrogênio total nos grãos (kg ha^{-1}); NPT corresponde a quantidade de nitrogênio total na planta toda (kg ha^{-1}); e o fator 100 foi utilizado para obtenção dos resultados em porcentagem.

Para a obtenção da relação entre kg de N nos grãos e a produtividade de grãos (NRP) foi utilizada a expressão 3:

$$\text{NRP} = \text{NG}/(\text{PG}/1000) \quad (3)$$

em que, NRP corresponde a relação entre o teor de N nos grãos e a produtividade de grãos (kg t^{-1}); NG significa nitrogênio total nos grãos (kg ha^{-1}); PG corresponde a produtividade de grãos de milho, base em matéria seca (kg ha^{-1}); e o fator 1.000 foi utilizado para a transformação de PG (kg ha^{-1}) em t ha^{-1} .

A partir dos dados de produtividade do milho foi estimada a quantidade de nitrogênio nos grãos, conforme expressão 4:

$$\text{NGE} = \text{PG} \times 0,09 \times 0,16 \quad (4)$$

em que, NGE significa a quantidade de nitrogênio estimada nos grãos (kg ha^{-1}); PG a produtividade de grãos de milho, base em matéria seca, de cada parcela (kg ha^{-1}); 0,09 corresponde ao teor médio de proteína nos grãos de milho ($0,09 \text{ kg kg}^{-1}$ de grãos) (BEWLEY; BLACK, 1985); e 0,16 à quantidade de nitrogênio presente na proteína ($0,16 \text{ kg kg}^{-1}$ proteína) (PASSOS, 1996).

Com base na determinação de N nos grãos pelo método químico (SARRUGE; HAAG, 1974) e a estimativa feita de acordo com a expressão 4 foi determinada a correlação, em que os valores de Y correspondem aos dados determinados pela análise química e os valores de X aos dados da estimativa (expressão 4) (NGE). A obtenção desta correlação teve como objetivo servir de base para a estimação da quantidade de nitrogênio exportada pelos grãos de milho, importante ferramenta para auxiliar a adubação de manutenção da fertilidade do solo.

Nos tratamentos em consórcio foi feita, no mesmo dia, a primeira amostragem de braquiária coletando-se todo o material vegetal de uma área de 0,5 x 1,52 m (0,76 m²), o qual foi submetido à determinação da massa total de matéria fresca. Desta amostra foi retirada uma subamostra para determinar a massa de matéria fresca e de matéria seca, após secagem em estufa a 70° C durante 72 horas.

Figura 7 – Amostragem de biomassa de braquiária em julho de 2007

Da colheita do milho em maio de 2007 até a dessecação da braquiária em novembro de 2007 foram realizadas, ao todo, quatro amostragens de resíduos de braquiária, em: 10 de maio (colheita do milho), 11 de junho, 25 de julho e 13 de novembro de 2007 (dessecação da braquiária), conforme procedimento descrito anteriormente (Figura 7).

Foi realizada análise de variância e quando o F foi significativo, procedeu-se análise de regressão para os fatores quantitativos (doses de N) e teste Tukey para os fatores qualitativos (com ou sem braquiária). Quando houve mais de dois fatores envolvidos, procedeu-se análise fatorial, considerando fator nº 1 o tipo de manejo e o fator nº 2 as doses de N ou épocas de avaliação de biomassa de braquiária.

2.3 Resultados e discussão

De acordo com os resultados não houve diferença na produtividade entre sistemas de cultivo (milho solteiro e milho-braquiária), independentemente da dose de N (Tabela 3). esta observação indica que o consórcio é viável como sistema de produção de milho e também para a formação e acúmulo de resíduos de braquiária, com vistas à implantação do sistema plantio direto. Tal afirmação pode ser comprovada pela semelhança de produtividade para milho solteiro (8.190 kg ha^{-1}) e milho em consórcio (6.799 kg ha^{-1}), mesmo na ausência de N (Tabela 3). Trabalhos realizados sobre este assunto também evidenciaram que o sistema (consórcio milho-braquiária) pode ser utilizado para a formação de palhada ao plantio direto, sem prejudicar a produtividade do milho (MATEUS et al., 2004; AGNES et al., 2004; CAPOBIANCO et al., 2004; KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003; TSUMANUMA et al., 2004; FREITAS et al., 2005).

Ressalta-se que sem fornecimento de N há tendência de redução de 1.391 kg ha^{-1} no milho em consórcio, que corresponde a 17% em relação ao cultivo solteiro (8.190 kg ha^{-1}) (Tabela 3). A explicação para esta tendência pode ser dada pelo menor crescimento inicial do milho, sem adubação nitrogenada, o que possibilitou a entrada de maior luminosidade na entre linha da cultura, e com isso favoreceu o crescimento da forrageira, apesar de ser lento no estágio inicial, mesmo em plantio solteiro (KLUTHCLOUSKI et al., 2003). Esta explicação pode ser depreendida da tendência de

maior produção de biomassa da braquiária (3.411 kg ha⁻¹) (Tabela 4), fato que se confirma com a maior extração de N nos grãos no cultivo de milho solteiro, em relação ao consórcio (Tabela 5).

Tabela 3 – Produtividade de milho (kg ha⁻¹) de acordo com o sistema de cultivo e em função da dose de nitrogênio

Dose N – kg ha ⁻¹	Sistemas de cultivo – kg ha ⁻¹		C.V.
	Milho solteiro	Milho-braquiária	%
0	8.190aB	6.799aB	10,12
50	10.299aA	9.608aA	7,31
100	10.100aA	10.140aA	7,62
150	10.757aA	10.078aA	4,49
200	11.217aA	10.709aA	4,77
C.V. (%)	6,24	5,51	-
R ² -RL	0,7901**	0,7228**	-
R ² -RQ	ns	0,9069**	-

* significativos 5%; ** significativo 1%; ns: não significativo.

Nota: Letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05) e letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,01).

A grande diferença de produtividade pela aplicação de apenas 50 kg ha⁻¹ em relação à ausência de fornecimento de N pode ser devido ao estímulo na taxa de mineralização do N orgânico do solo, processo conhecido como “priming effect” (WESTERMAN; KURTZ, 1973), independentemente do sistema de cultivo de milho (solteiro ou consorciado) (Tabela 3).

O fornecimento de N no sistema, ainda que em pequena dose, promoveu incremento significativo da produtividade, equivalente a 2.109 kg ha⁻¹ no cultivo de milho solteiro e igual a 2.809 kg ha⁻¹ no milho-braquiária. Esta constatação se deve a influência da umidade do solo na taxa de mineralização do N orgânico (PILBEAM; WARREN, 1995), a qual não foi limitante à cultura (Figura 3), como podem ser comprovadas pelas elevadas produtividades obtidas na presente pesquisa (Tabela 3). Outros fatores também explicam o referido comportamento, como ao processo

denominado “priming effect” que resulta da intensificação das reações de mineralização do N orgânico do solo (98%) em nitrogênio mineral disponível à absorção pelas plantas (WESTERMAN; KURTZ, 1973), assim como pela ausência de competição por N pela forrageira (Tabela 5).

A ausência de resposta a partir de 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio pode indicar que, nas condições do experimento, desde que não haja deficiência hídrica, a mineralização do nitrogênio orgânico (WESTERMAN; KURTZ, 1973) estimulada pela adubação deve ter sido suficiente para liberar uma quantidade deste nutriente que atenda a demanda do milho, como pode ser inferido das elevadas produtividades obtidas na presente pesquisa (Tabela 3). Possivelmente, esta observação se deve à quantidade total de N orgânico indisponível (98%) do nitrogênio presente no solo, calculada em 3.402,58 kg ha⁻¹, na média dos sistemas de cultivo, nos primeiros 120 cm de solo (Tabela 5; capítulo 2).

Ressalta-se que a produtividade das plantas de ciclo C4, como o milho, depende, fundamentalmente, da disponibilidade de água, o que não foi limitante na presente pesquisa (Figura 3). Outros fatores que contribuíram para as altas produtividades foram à quantidade de horas de brilho solar, da ordem de 1030 horas luz (AIBA, 2008), possível em baixa latitude, desde que não haja nebulosidade excessiva, características presente no Oeste baiano. Portanto, as produtividades obtidas na presente pesquisa, mesmo na ausência de nitrogênio, se devem as características climáticas da região e à correção do solo em profundidade (Tabela 1 e 2). Da interação solo-clima, mesmo sem N, pode-se afirmar que as altas taxas fotossintéticas, sem excessiva respiração noturna, em razão da altitude da região, por volta de 840 m (AIBA, 2008). Em consequência há saldo de carboidratos suficiente para o crescimento e acúmulo de biomassa total da ordem de 16.380 kg ha⁻¹ para IC = 0,5 em milho solteiro e 13.598 kg ha⁻¹ em milho-braquiária (Tabela 3). Esta afirmação foi feita com base no conhecimento de que, em média, 96% da matéria seca total da planta são constituídas por carboidratos (CH₂O), produto da fotossíntese.

De acordo com a análise de regressão entre a produtividade e doses de nitrogênio para cada sistema de cultivo, verificou-se resposta linear, altamente significativa ($R^2 = 0,79^{**}$), com o aumento das doses de N no cultivo de milho solteiro,

enquanto para o consórcio milho-braquiária a resposta foi quadrática ($R^2 = 0,91^{**}$) (Figura 8). Na literatura é comum resultados que evidenciam a obtenção de produtividades de milho crescentes com a dose de N, como na pesquisa realizada por Amaral Filho et al (2005), em que os autores avaliaram o fornecimento de doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) em cobertura, em dois espaçamentos e três populações de milho, e constataram rendimento crescente com o incremento de nitrogênio. Por sua vez, Fernandes et al. (1999) verificaram aumento quadrático para a produção de palhada e de grãos de milho com a adubação de 0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N. Collier et al. (2006) evidenciaram que a produtividade de grãos de milho aumenta com as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹) sob resíduos de feijão de porco; enquanto Ferreira et al. (2001) observaram maiores produções em resposta às doses crescentes de N (0, 70, 140, 210 kg ha⁻¹), assim como para o número de espigas por planta, massa das espigas com e sem palha e massa de mil grãos.

Figura 8 – Curva de resposta em função da aplicação de nitrogênio em razão do sistema de produção

As produtividades de milho em consórcio com braquiária, embora não difiram para as doses acima de 50 kg ha^{-1} , em razão do ajuste quadrático, pode-se admitir uma tendência de resposta até 100 kg ha^{-1} . No cultivo de milho solteiro, em que aconteceu o mesmo comportamento (ausência de resposta às doses de 100, 150 e 200 kg ha^{-1}), não tem significado agrônomo o ajuste linear, pela ausência de significância estatística.

De acordo com os resultados de produção de fitomassa de braquiária, não houve diferença para as doses de nitrogênio aplicadas no milho em cada época amostrada (Tabela 4).

Tabela 4 – Produção de fitomassa de braquiária a partir da colheita do milho (10 de maio) até a sua dessecação (13 de novembro), em função da dose de nitrogênio

Dose N	Épocas de avaliação			
kg ha^{-1}	10 maio	11 junho	25 julho	13 novembro
0	3.411a	4.484a	4.544a	5.428a
50	2.614a	4.719a	5.377a	5.187a
100	2.087a	3.296a	3.462a	4.653a
150	2.212a	3.867a	4.386a	4.962a
200	2.448a	3.170a	3.267a	5.052a
C.V. (%)	31,78	35,08	40,95	14,00
Média	2.554C	3.907B	4.207AB	5.056A
R^2 -RL	ns	ns	ns	ns
R^2 -RQ	ns	ns	ns	ns

* significativos 5%; ** significativo 1%; ns: não significativo.

Nota: Letras minúsculas diferentes nas colunas e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A ausência de resposta à dose de nitrogênio pode ser explicada pela: (i) eficiência da forrageira tropical em absorver nutrientes e acumular matéria seca, mesmos sem adubação (Tabelas 4 e 5), (ii) menor disponibilidade de luminosidade, em razão do crescimento inicial do milho, que afeta o processo fotossintético da braquiária,

(iii) aplicação de nitrogênio na semeadura do milho, época em que o acúmulo de matéria seca da forrageira é reduzido, em razão do crescimento inicial lento (KLUTHCLOUSKI et al., 2003), agravado pelo sombreamento provocado pelo milho e pela aplicação de subdose do graminicida (nicosulfuron) e (iv) à deficiência hídrica que ocorre na entressafra na região (Figura 3) como pode ser constatado na Tabela 4, nas avaliações feitas entre 11 de junho e 25 julho.

Em relação à produção média de fitomassa por época avaliada observou menor produção de fitomassa (2.554 kg ha^{-1}) no dia da colheita do milho (10 de maio de 2007), em razão do plantio simultâneo à cultura, o que diminuiu a disponibilidade de luz, além do efeito do graminicida que foi aplicado.

Em 11 de junho de 2007 a produção média de fitomassa de braquiária (3.907 kg ha^{-1}) foi superior em relação à primeira avaliação, o que pode ser explicado pela colheita do milho, com exposição da braquiária a luminosidade. Ressalta-se que entre a primeira (10/05/2007) e a segunda avaliação (11/06/2007) não ocorreu precipitação (Figura 3), portanto o acréscimo de fitomassa pode ser explicado por raízes em profundidade na presença de umidade, proveniente das últimas chuvas ocorridas em abril. O crescimento radicular da forrageira em profundidade, provavelmente foi intenso durante a vegetação e frutificação do milho, devido a competição promovida por esta cultura, que reduziu o crescimento da parte aérea da braquiária, que resultou em saldo de carboidratos às raízes.

Na terceira avaliação feita em 25 de julho de 2007, apesar da tendência de maior produção de fitomassa de braquiária, não houve diferença em relação à avaliação feita 43 dias antes, em 11 de junho de 2007. Provavelmente, a combinação entre raízes em profundidade e umidade em quantidade reduzida para obtenção de taxa de crescimento significativa, explicaria esta tendência.

A última avaliação feita no dia da dessecação para a semeadura do algodoeiro (13 de novembro de 2007), a quantidade de fitomassa da forrageira também apresentou tendência de acréscimo, em relação àquela feita em 25 de julho. A provável ausência de resposta em ganho de biomassa entre as duas últimas avaliações, pode estar relacionada com o elevado coeficiente de variação (40,95%) constatado na penúltima amostragem (25 de julho de 2007) e, principalmente, em razão do atraso no início das

chuvas. Esta afirmação pode ser corroborada pelos dados de precipitação durante estas avaliações (Figura 3), pela ausência de precipitação em julho, agosto e setembro. Em outubro choveu apenas 45,4 mm em três dias (20/10 – 37,4 mm, 21/10 – 5 mm e 22/10 – 3 mm); enquanto em novembro, até o dia 13 (última avaliação) choveu apenas 2,5 mm.

A produção de fitomassa de braquiária (Tabela 4), após a colheita do milho em (10 de maio de 2007) produziu, na média das doses de nitrogênio, 2.554 kg ha^{-1} , enquanto Freitas et al. (2005), com o plantio de duas linhas de *Brachiaria brizantha*, no mesmo dia da semeadura do milho obtiveram $2.780,6 \text{ kg ha}^{-1}$ e Portes et al. (2000) determinaram para a mesma espécie 1.701 kg ha^{-1} . Este mesmo autor, aos 50 dias após a colheita do milho, estimou em 4.055 kg ha^{-1} , cuja produção foi semelhante à determinação feita aos 31 dias da colheita na presente pesquisa (3.907 kg ha^{-1}), e um pouco inferior ao que foi obtido aos 75 dias (4.207 kg ha^{-1}) (Tabela 4).

A exportação de nitrogênio (EP) foi diferente entre os sistemas de cultivo de milho, somente no tratamento sem aplicação de nitrogênio, cuja exportação foi igual a 91 kg ha^{-1} de N no cultivo de milho solteiro e 67 kg ha^{-1} no consórcio milho-braquiária (Tabela 5). A menor exportação verificada no milho-braquiária pode ser explicada pela competição exercida pela forrageira, o que pode ser constatado pela tendência de maior extração de N pela braquiária na ausência do nutriente (41 kg ha^{-1}) (Tabela 5).

Em relação à dose no cultivo de milho solteiro a maior exportação (EP) de nitrogênio pelos grãos ocorreu com a dose de 200 kg ha^{-1} de N (145 kg ha^{-1}) e a menor quantidade exportada deste nutriente foi no tratamento sem aplicação de N (91 kg ha^{-1}), devido a resposta linear obtida pela produtividade de grãos (Tabela 3). Para o milho consorciado com braquiária a exportação foi semelhante a partir da aplicação de 50 kg ha^{-1} de N, e a menor igual a 67 kg ha^{-1} sem o fornecimento de N (Tabela 5). Os resultados observados evidenciam que a partir de 50 kg ha^{-1} de N a quantidade do nutriente no solo (N do fertilizante e N do solo) era suficiente para atender a demanda para as duas espécies.

Tabela 5 – Exportação de N pelos grãos (EP) e extração de N pela planta toda (ET) em função da dose de N aplicada na semeadura do milho

Dose de N kg ha ⁻¹	EP – grãos		ET – planta toda		Braquiária
	Solteiro	Consórcio	Solteiro	Consórcio	Consórcio
	kg ha ⁻¹				
0	91aC	67bB	152aB	122aB	41A
50	119aB	113aA	197aA	172aA	32A
100	119aB	116aA	198aA	180aA	26A
150	123aAB	117aA	195aA	202aA	32A
200	145aA	131aA	220aA	210aA	29A
C.V. (%)	8,56	9,20	8,90	12,38	34,61
R ² -RL	0,85**	0,73**	0,72**	0,89**	ns
R ² -RQ	ns	0,86**	ns	ns	ns

* significativos 5%; ** significativo 1%; ns: não significativo.

Nota: Letra minúscula diferentes nas linhas (comparação entre sistema de cultivo) e maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Em relação à extração (ET) de nitrogênio (planta toda) não há diferença entre sistemas de cultivo (milho solteiro e milho-braquiária), independentemente da dose de N (Tabela 5). Considerando que houve diferença entre sistema de cultivo para exportação de N pelos grãos sem aplicação de N a semelhança em extração para planta toda pode ser explicada por uma compensação pela parte aérea por parte do sistema consorciado (planta toda = grãos + parte aérea) uma vez que no cultivo de milho sem a forrageira a participação do N nos grãos em relação à planta toda foi igual a 59,78% enquanto no cultivo de milho-braquiária da ordem de 55,66% (Tabela 6).

O consórcio de milho-braquiária é viável para a produção de grãos e formação de resíduos para o sistema plantio direto. Esta afirmação pode ser comprovada pela semelhança na extração de N pelas plantas de milho em todas as doses avaliadas para milho com e sem braquiária, como também não houve diferença na extração de N pela forrageira (Tabela 5). Os resultados obtidos na presente pesquisa corroboram os dados de Lara Cabezas e Pádua (2007), os quais também não encontraram diferença na

extração de N e determinaram valores semelhantes tanto para nitrogênio nos grãos ($133,3$ e $130,9 \text{ kg ha}^{-1}$) quanto para N na planta toda ($207,07$ e $208,2 \text{ kg ha}^{-1}$) para milho solteiro e em consórcio com braquiária com aplicação de 140 kg ha^{-1} de N. Para os mesmo autores a extração média pela braquiária implantada na segunda cobertura do milho, foi igual a $12,1 \text{ kg ha}^{-1}$ e $15,9 \text{ kg ha}^{-1}$ determinadas na colheita do milho para as duas épocas de aplicação de N avaliadas. Por outro lado os dados obtidos na presente pesquisa são discrepantes em relação àqueles obtidos por Fernandes et al (1999). Para esses autores a extração de N em grãos de milho em sistema convencional foi 35 kg ha^{-1} sem aplicação de N e 46 , 58 e 59 kg ha^{-1} quando forneceu 60 , 120 e 240 kg ha^{-1} de N, respectivamente. A produtividade máxima de milho obtida por estes pesquisadores foi da ordem de 6.000 kg ha^{-1} , enquanto na presente pesquisa a produtividade máxima foi $11.217 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 3).

Para o milho solteiro foi encontrado nos grãos, na média dos tratamentos, $61,99\%$ do nitrogênio total da planta, enquanto para o consórcio milho-braquiária a média foi $61,51\%$, evidenciando que, independentemente do fornecimento de nitrogênio, a redistribuição do N para os grãos, em relação à planta toda, são de mesma grandeza (Tabela 6). Apesar da diferença na exportação e extração de N em relação às doses não foi constatada significância estatística para a relação entre o total de N nos grãos pela quantidade de N na planta toda (RNG). Considerando que houve variação quanto ao sistema de cultivo e a dose de N para cada sistema, pode-se admitir que a constância observada para a referida relação seja uma característica genética. Duete et al. (2008) constatou que essa relação foi igual a 72% do nitrogênio total da planta estavam alocados nos grãos, enquanto Fernandes et al. (2008) verificaram acúmulo de 73% para o N nos grãos em relação ao N total da planta.

Para o milho solteiro foi encontrado na média das doses de N aplicadas $13,53 \text{ kg}$ de N por tonelada de grãos (NRP). No sistema de milho-braquiária só houve diferença para a respectiva relação na ausência de nitrogênio ($11,30 \text{ kg t}$) sem diferir das doses de 100 kg ha^{-1} de N ($13,15 \text{ kg t}$) e 150 kg ha^{-1} de N ($13,37 \text{ kg t}$) (Tabela 6). Apesar dessa diferença, os valores obtidos para esta variável ($\text{kg de N por tonelada de grãos}$) são da mesma ordem de grandeza. Provavelmente esta é uma característica genética sem influência dos fatores ambientais. Este resultado corrobora àquele obtido por

Malavolta et al. (1997), os quais obtiveram relação igual a 13,4 kg de N por tonelada de grãos. A utilização desta relação pode ser uma metodologia eficiente para cálculos de adubação e estimativa de exportação com base na produtividade de matéria seca de grãos obtida.

Tabela 6 – Relação obtida entre teor de N nos grãos pela quantidade de N na planta (parte aérea + grãos) (RNG) e relação entre N nos grãos por tonelada de grãos (NRP) produzida em função da dose de N

Dose de N kg ha ⁻¹	RNG (%)		NRP (kg t ⁻¹)	
	Solteiro	Consortiado	Solteiro	Consortiado
0	59,78a	55,66a	12,80a	11,30b
50	60,15a	65,81a	13,30a	13,50a
100	61,06a	64,70a	13,60a	13,15ab
150	62,98a	58,17a	13,13a	13,37ab
200	65,98a	63,20a	14,83a	14,05a
Média	61,99	61,51	13,53	13,07
C:V. (%)	9,16	9,35	7,57	7,16
R ² – RL	ns	ns	0,62*	0,66**
R ² – RQ	ns	ns	ns	ns

* significativos 5%; ** significativo 1%; ns: não significativo.

Nota: Letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

A correlação entre as variáveis de nitrogênio estimado contido nos grãos de milho (X: NGE, kg ha⁻¹) e o teor total de N determinado nos grãos (Y: ND, kg ha⁻¹) ajustaram-se por meio de modelo linear, cujo coeficiente de determinação R² foi igual a 0,84** (Figura 9). O método de referência (teor de N determinado - ND) e a estimativa obtida (NGE) apresentaram uma concordância razoável, como indica o coeficiente angular do referido modelo (1,18). Apesar das aproximações contidas nas determinações de ND e NGE, em razão de se tratar de amostragem de um número limitado de plantas, dos quais foram obtidos os valores para N total nos grãos

extrapolados para um hectare, além dos erros relacionados com a metodologia e a erros estatísticos não controlados.

Os resultados obtidos indicam que pode ser estimada a quantidade de nitrogênio nos grãos (NGE), a partir das variáveis como produtividade de milho (PG), teor de proteína nos grãos (90 g kg^{-1}) e teor de N na proteína (160 g kg^{-1}). Do exposto, a partir da produtividade obtida pode ser calculada a adubação nitrogenada de manutenção servindo como uma ferramenta auxiliar nos programas de nutrição da cultura de milho. Ressalta-se que esta determinação pelo modelo proposto ($\text{NGE} = \text{PG} \times 0,09 \times 0,16$) é importante para o planejamento da adubação da safra agrícola seguinte, uma vez que a análise de tecidos vegetais só pode ser realizada quando a cultura já foi implantada e adubada, e se encontra em estágio de desenvolvimento em que a aplicação de nitrogênio não é recomendada.

Figura 9 – Correlação entre a estimativa do teor de N nos grãos (NGE) (kg ha^{-1}) e o total determinado de N nos grãos (ND) (kg ha^{-1})

Para o cálculo da adubação de correção (extração e exportação) de nitrogênio deve ser considerada a somatória entre a quantidade de N exportada pelos grãos ($\text{NGE} = \text{PG} \times 0,09 \times 0,16$) e a quantidade de N extraída pela parte aérea. Considerando que

os grãos contêm, em média, 62% de todo nitrogênio da planta (Tabela 6), o cálculo da referida adubação consiste em determinar a demanda para 100%, sem considerar a contribuição do solo que depende da aplicação de N (WESTERMAN; KURTZ, 1973), da umidade do solo (PILBEAM; WARREN, 1995) e do teor de matéria orgânica.

Na presente pesquisa, em função das condições de clima e solo do Oeste baiano, a contribuição do solo foi da ordem de 57% que equivale a 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, quando forneceu 150 kg ha^{-1} de N exclusivamente na semeadura (capítulo 2). Os resultados de pesquisas feitas em campo indicam valores menores para a participação do nitrogênio do fertilizante em relação ao total de N da planta. Para Duete (2000) foi da ordem de 28%; Cantarella et al. (2003) determinaram entre 18 a 28% do N da planta fornecido pelo fertilizante, enquanto Gava et al. (2006) verificaram uma contribuição igual a 27 e 23%, variando com o sistema de cultivo. Os valores da participação do nitrogênio do fertilizante na planta podem ser influenciados pela época de aplicação, com valores entre 8,2 a 12,8% (LANGE et al., 2008); ou pela dose aplicada de acordo com Duete (2008), cujos valores variaram de 18 a 32%.

2.5 Conclusões

O consórcio de milho com braquiária é um sistema de produção eficiente para a formação e acúmulo de palhada (5.056 kg ha^{-1}) para fins de adoção do sistema de plantio direto nas condições do Oeste baiano.

A braquiária é recomendada como planta de cobertura do solo pela capacidade de vegetar, mesmo nas condições adversas da entressafra do Oeste baiano.

O milho respondeu ao uso de 50 kg ha^{-1} nitrogênio, aplicado unicamente na semeadura, independentemente do sistema de cultivo. A braquiária não respondeu às doses de N nas épocas avaliadas.

A extração de nitrogênio nos dois sistemas de cultivo (milho solteiro e milho-braquiária) foi prejudicada apenas na ausência do nutriente. A exportação de nitrogênio pelos grãos de milho foi menor no cultivo de milho com braquiária, quando não foi feita a adubação nitrogenada.

Referências

- AGNES, E.L.; FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R. Situação atual da integração agricultura-pecuária em Minas Gerais e na Zona da Mata mineira. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A.A.; AGNES, E.L. (Ed.). **Manejo da integração agricultura-pecuária**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p. 251-268.
- AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 467-473, 2005.
- ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA. **Região Oeste**. Disponível em: <<http://www.aiba.org.br>>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds**: physiology of development and germination. New York: Plenum Press, 1985. 367 p.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULIZANI, E.A.; COSTA, M.B.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p.1-55.
- CAMPBELL, C.A. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In: SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. **Soil organic matter**. 4th ed. Amsterdam: Elsevier Science, 1989. p. 173-265.
- CANTARELLA, H.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando ¹⁵N-uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.
- CAPOBIANCO, R.; MELLO, K.V.V.S.; MATEUS, G.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E. Produção do milho em consórcio com a *B. brizantha* em função da adubação nitrogenada: II. Produtividade de grãos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., 2004, Lages. **Resumos...** Lages: FERTBIO-SBCS, 2004. 1 CD-ROM
- CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Teores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois latossolos sob plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 1, p. 77-84, 1992.
- COBUCCI, T. Sistema Santa Fé: integração agricultura pecuária. In: DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Feijão irrigado: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2003. p. 30-40.
- COLLIER, L.S.; CASTRO, D.V.; DIAS NETO, J.J.; BRITO, D.R.; AGUIAR RIBEIRO, P.A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1100-1105, jul./ago. 2006.

DIAS FILHO, M.B. Photosynthetic light response of C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *Brachiaria humidicula* under shade. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 65-68, 2002.

DUETE, R.R.C. **Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando ^{15}N** . 2000. 152 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L.; TRIVELIN, P.C.O. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho e utilização do N residual pela sucessão aveia preta-milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1138-1141, jul. 2008.

FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1691-1698, set. 1999.

FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, jan./mar. 2001.

FIORIN, J.E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1999, Cruz Alta. **Resumo...** Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1999. p. 39-55.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 533-542, 1999.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; SANTOS, M.V.; AGNES, E.L.; CARDOSO, A.A.; JAKELAITIS, A. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com o milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2005.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; HEINRICHS, R.; SILVA, M.A. Balanço do nitrogênio da uréia (15n) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 477-486, 2006.

HAAS, F.D. Aspectos básicos sobre fertilidade sob plantio direto. In CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1999, Cruz Alta. **Resumo...** Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1999. p. 19-31.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistema de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.F.; FREITAS, F.C.L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 553-560, 2004.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In. KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 185-223.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570 p.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 123-130, jan. 2008.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; PÁDUA, R.V. Eficiência e distribuição de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de milho consorciada com *brachiaria ruziziensis*, cultivada no sistema santa fé. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 131-140, 2007.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G.B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 114-178.

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

MATEUS, G.P.; BORGHI, E.; CRUSCIOLI, C.; COSTA, C. Produção de forragem de milho com *B. brizantha* em sistema plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: ABMS, 2004. 1 CD-ROM

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 411-16, 1993.

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

OLIVEIRA, I.P. de.; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P.; DUTRA, L.G.; PORTES, T. A.; SILVA, A.E. da; PINHEIRO, B.S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E.M. de; GUIMARÃES, C.M.; GOMIDE, J.C.; BALBINO, L.C. **Sistema Barreirão**: recuperação/renovação de pastagem degradadas em consórcio com culturas anuais. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, APTA, 1996. 90 p. (Documentos, 64).

PASSOS, L.P. **Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal**. Coronel Pacheco: EMBRAPA, CNPGL, 1996. 223 p.

PILBEAM, C.J.; WARREN, G.P. Use of ^{15}N for fertilizer N recovery and mineralization studies in semi-arid Kenya. **Fertilizer Research**., Amsterdam, v. 42, p. 123-128, 1995.

PORTES, T.A.; CARVALHO, S.I.C.; OLIVEIRA, I.F.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, 2000.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

SANTOS, H.P.; REIS, E.M. Rotação de culturas. X. Efeitos de culturas de inverno e de soja na evolução dos níveis de nutrientes e de matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, n. 3, p. 295-302, 1989.

SANTOS, H.P.; SIQUEIRA, O.J.W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeito sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 163-169, 1996.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, Setor de Nutrição Mineral de Plantas, 1974. 55 p.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo de solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, n.3, p. 249-254, 1985.

TSUMANUMA, G.M.; FANCELLI, L.A.; BALDO, M.N.; MARCONDES, L.P. Comportamento do milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: ABMS, 2004. 1 CD-ROM

VALPASSOS, M.A.R.; CAVALCANTE, E.G.S.; CASSIOLATO, A.M.R.; ALVES, M.C. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1539-1545, 2001.

VOSS, M.; SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 75-82, 1985.

WESTERMAN, R.L.; KURTZ, L.T. Priming effect of ^{15}N labelled fertilizers on soil nitrogen in field experiments. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 37, n. 5, p. 725-727, 1973.

WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. (Coord.). CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONÔMICO, 1., 1993. **Resumos...** Campinas: Instituto Agronômico, 1993. p. 17-29. (IAC. Documentos, 35).

3 BALANÇO DE NITROGÊNIO (^{15}N) EM SISTEMAS DE CULTIVO DE MILHO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA

Resumo

Os cotonicultores do Oeste baiano, em geral, utilizam a cultura de milho para rotação e, em alguns casos, na formação de palhada para o sistema plantio direto. Para não limitar horas-máquina e serviços no algodoeiro a adubação do milho, nesta situação, é feita exclusivamente na semeadura, com dose entre 130 a 175 kg ha⁻¹ de N em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica e precipitação média de 1.500 mm entre outubro a abril, condições que podem favorecer a perda deste nutriente no sistema solo-planta. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica do N com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de ^{15}N -uréia na semeadura do milho em cultivo solteiro e em consórcio com braquiária, na fase de implantação do sistema de plantio direto, no município de São Desidério, BA. Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com dois tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistem de dois sistemas de cultivo: T1 - milho solteiro e T2 - milho consorciado com braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), os quais receberam 150 kg ha⁻¹ de ^{15}N - uréia na semeadura. Avaliou-se o acúmulo de ^{15}N pela parte aérea e raízes; o uso de ^{15}N pela cultura do milho e braquiária e a quantidade residual no solo proveniente do fertilizante. A presença da braquiária em consórcio com o milho não restringiu a disponibilidade de N para a cultura principal. A eficiência de uso do fertilizante nitrogenado (EUFN) foi de 60,4% para o consórcio milho e braquiária e 64,8% para o cultivo de milho solteiro. A braquiária recuperou na parte aérea 1,4% do ^{15}N aplicado. A recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (RFNS) foi, respectivamente, em torno de 18% e 25% para milho solteiro e em consórcio. O ^{15}N não recuperado da uréia, aplicado na semeadura do milho solteiro foi de 17% (25,5 kg ha⁻¹ de N), enquanto no consórcio milho com braquiária foi de 13% (19,5 kg ha⁻¹).

Palavras-chave: *Zea mays* L.; *Brachiaria ruziziensis*; Adubação de semeadura; Técnica isotópica ^{15}N ; Implantação do sistema plantio direto

3 NITROGEN BALANCE (^{15}N) IN SYSTEMS OF SINGLE CROP MAIZE AND INTERCROPPED MAIZE WITH BRACHIARIA

Abstract

Cotton producers in the west of Bahia use maize culture for rotation and, in some cases, for formation of straw in no-till system. To avoid machine-hour and services at the cotton plant limitations, maize fertilization is done exclusively during sowing with doses between 130 to 175 kg ha⁻¹ of N in sandy soils with low level of organic matter and an average precipitation of 1500 mm between october to april. This fact would not be a problem if the efficiency of use Nitrogen fertilizer was 100%, which effectively does not

happen. This research was performed to evaluate dynamics of N with 150 kg ha^{-1} of ^{15}N -urea application in the sowing of maize single crop and intercropped with *Brachiaria ruziziensis* in São Desidério city, BA; during no-till establishment. The randomized blocks design was adopted, with two treatments and four repetitions. Treatments consisted of two crop systems: T1 – single crop maize and T2 – maize x *Brachiaria ruziziensis*, which received 150 kg ha^{-1} of ^{15}N – urea at sowing. It was evaluated the accumulation of ^{15}N by aboveground and roots; the use of ^{15}N by maize crop and *Brachiaria ruziziensis* and the residual amount in the soil derived from the fertilizer. The presence of *Brachiaria ruziziensis* intercropped with maize did not restrict N availability for the main crop. The nitrogen fertilizer efficiency (EUFN) varied between 60,4 % for intercropped maize x *Brachiaria ruziziensis* and 64,8 % for single crop maize. *Brachiaria ruziziensis* recovered 1,4 % of the ^{15}N applied aboveground. Nitrogen fertilizer soil recoveries (RFNS) were, respectively, around 18% and 25% for single crop and intercropped maize. The ^{15}N not recovered from urea, applied at sowing of the maize single crop was 17% ($25,5 \text{ kg ha}^{-1}$ of N), while in the intercropped maize and *Brachiaria ruziziensis* was 13% ($19,5 \text{ kg ha}^{-1}$).

Keywords: *Zea mays* L.; *Brachiaria ruziziensis*, sowing fertilization, isotopic ^{15}N technique; no-till system

3.1 Introdução

O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho e também aquele que mais influencia a resposta da cultura em produtividade. Devido ao custo elevado dos fertilizantes é necessário maior entendimento da dinâmica desse nutriente no sistema solo-planta, a qual depende de vários fatores, entre os quais o sistema de produção e as condições edafoclimáticas.

A dinâmica do nitrogênio é complexa pelas múltiplas transformações, caracterizadas por sete estados de oxidação e por sua mobilidade no sistema solo-planta. Os fertilizantes nitrogenados aplicados no solo passam por uma série de processos físicos, químicos e microbiológicos, que podem resultar em perdas por erosão, volatilização, nitrificação, lixiviação, imobilização e mineralização, e desnitrificação.

O N pode ser absorvido pelas plantas como ânion nitrato (NO_3^-) e cátion amônio (NH_4^+), assim como na forma de aminoácidos e uréia (Malavolta et al., 1997) e de gás amônia - NH_3 , em quantidades variáveis com a cultura e as condições do ambiente (FRANCIS et al., 1993).

A complexidade da dinâmica do N no solo dificulta o diagnóstico de sua disponibilidade às plantas com base na análise química. A utilização do teor de matéria

orgânica para recomendação de N não é confiável, uma vez que sua disponibilidade varia com a atividade microbiana que depende dos fatores climáticos, os quais são imprevisíveis. Este raciocínio se aplica também para a decomposição dos resíduos vegetais, de adubos verdes e/ou de plantas daninhas. Na região do Cerrado, esse fato é ainda mais relevante devido à ocorrência de estiagem na época das chuvas – os veranicos. A falta de precipitação no período chuvoso afeta a disponibilidade de N, pois a mineralização depende significativamente do teor de água no solo (PILBEAM; WARREN, 1995) e varia entre os anos agrícolas. Estes autores, em solos com 210 g kg⁻¹ de argila e 10 g dm⁻³ de matéria orgânica nos primeiros 20 cm de solo, verificaram que a taxa de mineralização foi inferior a 0,5 mg kg⁻¹ dia⁻¹ de N quando o teor de água no solo foi inferior a 150 g kg⁻¹ de solo e aumentou para 2,1 mg kg⁻¹ dia⁻¹ quando o teor de água foi de 200 g kg⁻¹.

Uma das maiores limitações para a adoção do sistema plantio direto no Cerrado consiste na estacionalidade da precipitação, com chuvas concentradas na primavera-verão e uma estação seca prolongada que ocorre no outono-inverno. Nestas condições, o estabelecimento de cultivos na entressafra é comprometido, assim como o acúmulo de resíduos, situação diferente daquela que ocorre na região subtropical, em razão da ocorrência de precipitação no outono-inverno. Uma alternativa viável para a formação de palhada consiste na implantação do milho em consórcio com braquiária semeada simultaneamente ou em pós-emergência do milho. Este manejo permite agregar aos resíduos produzidos pela cultura de milho uma quantidade de biomassa, a qual inicia sua formação após a semeadura, persiste na estação seca e continua com a retomada das chuvas na próxima estação. Este fato é possível em razão da fisiologia da braquiária, uma planta perene que não encerra o ciclo no outono-inverno depois de estabelecida na primavera-verão.

Nas condições brasileiras, várias pesquisas demonstraram que, apesar de serem relativamente pequenas as exigências de N na fase inicial de desenvolvimento do milho, há resposta em produtividade pela aplicação do nutriente na semeadura (SÁ, 1996; YAMADA, 1996; SILVA et al., 1997).

As pesquisas sobre aplicação de N no milho em plantio direto e convencional não são conclusivas em relação à época de fornecimento do elemento. Há resultados

demonstrando vantagens com a aplicação em pré-semeadura (SÁ, 1996); enquanto outros indicam que é fundamental o aumento da dose de N na semeadura, para suprir a carência inicial propiciada pela imobilização, assim como pela aplicação de parte do nutriente em cobertura (ARGENTA; SILVA, 1999).

A aplicação de N na semeadura (0, 30 e 60 kg ha⁻¹) combinada a 100% em cobertura aos 35 dias após a semeadura - DAS nas doses de 0, 60 e 120 kg ha⁻¹, bem como pela aplicação de 50% em cobertura aos 35 DAS, complementada com o restante (50%) aos 55 DAS, foi observado que a resposta em produtividade com 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura foi superior à aplicação de 120 kg ha⁻¹ em cobertura (SÁ, 1996).

Em trabalhos que avaliaram adubação nitrogenada exclusivamente na semeadura, não houve diferença para rendimento de grãos quando comparada à aplicação de todo N em pré-semeadura e 100% do N em cobertura (GOMES et al., 2007; CERETTA et al., 2002) também não verificaram diferenças na produtividade do milho quando o N foi aplicado unicamente em pré-semeadura, cobertura e na semeadura; porém, as maiores produções foram obtidas com os parcelamentos de 2/3 antecipado mais 1/3 na cobertura e 1/3 antecipado mais 2/3 na semeadura. Souza et al. (2001) não constataram diferença com aplicação de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura em relação à mesma dose somente em cobertura, cujas produções foram semelhantes às diversas formas de parcelamentos testadas. Casagrande e Fornasieri (2002) obtiveram resultados de produção de milho iguais para todo N aplicado em semeadura e exclusivamente na cobertura; por sua vez Coelho et al. (1991) constataram que a aplicação integral de todo N na semeadura proporcionou maior ganho de matéria seca de milho por kg de N aplicado, comparado à aplicação em cobertura. De acordo com Sangoi et al. (2007), em solo com teor de 52 g kg⁻¹ de argila e alto teor de matéria orgânica (54 g dm⁻³), a adubação exclusiva de semeadura e antecipada reduziu a produtividade do milho em duas de três safras avaliadas. Para Pöttker e Wiethölter (2004) em experimentos entre 1997 e 2002 com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N na semeadura, 100% em cobertura e parcelado na semeadura e em cobertura, os autores obtiveram resultado superior para o parcelamento somente em um ano agrícola (quando a precipitação foi maior que o dobro da média de 30 anos),

enquanto nos outros quatro anos agrícolas os autores concluíram que não há diferença entre as formas de aplicação do nitrogênio.

No estudo de épocas de aplicação de ^{15}N -uréia em plantio direto, aplicado 45 dias antes da semeadura do milho e fornecido no estágio de seis folhas, Lera et al. (2000) observaram que o N fornecido antes da semeadura concentrou, principalmente, nos primeiros 10 cm de solo, na forma de nitrato. Os autores verificaram também que no estágio de seis folhas a maior parte do N permaneceu na camada de 20 cm. Quando o milho apresentava 12 folhas quase todo N aplicado antecipadamente estava abaixo desta profundidade (20 cm), e o aplicado em cobertura concentrado nos primeiros 20 cm. Apesar das diferenças nos teores do elemento no solo, não foi observada variação na produtividade de matéria seca e nos teores de N na parte aérea, raízes e grãos.

O uso de isótopos estáveis como o ^{15}N é um método indicado para determinar o balanço do nitrogênio no sistema solo-planta. Este método possibilita avaliar a quantidade de nitrogênio total na planta proveniente do solo - NPPS e do fertilizante - NPPF, e a partição desse nutriente nos grãos, parte aérea e raízes. Esta técnica também permite estimar a quantidade que permanece no solo, em diferentes profundidades, assim como as possíveis perdas no sistema solo-planta e a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado - EUFN.

Com base na maioria dos trabalhos que avaliaram a EUFN verifica-se que há grande variação nos resultados, cuja explicação está na complexidade da dinâmica do N no sistema solo-planta-clima, e em razão do próprio sistema de produção. Kitur et al. (1984) estimaram eficiência de 46%; Sanches e Backmer (1988) de 36%; Vilas Bôas (1990) constatou 33%; Jokella e Randall (1997) verificaram eficiência de 43%; Lara Cabezas et al. (2000) obtiveram 30%; Silva et al. (2003) contataram aproveitamento de 50%; Lara Cabezas et al. (2004) constataram eficiência de 42% para a sucessão nabo x milho em plantio direto; enquanto Gava et al. (2006) estimaram 43% de EUFN e para Duete et al. (2008) a EUFN foi da ordem de 39%.

Em estudos semelhantes em que foram comparadas doses, Walters e Malzer (1990) determinaram 43% de EUFN com aplicação de 180 kg ha^{-1} de N e 51% pela adubação com 90 kg ha^{-1} de N; por sua vez Liang e Mackenzie (1994) determinaram 27% para a aplicação de 400 kg ha^{-1} .

Trabalhos que avaliaram doses e épocas de aplicação do nitrogênio, como Cantarella et al. (2003) observaram 48% de EUFN para o fornecimento em pré-semeadura e 66% quando a adubação foi feita em cobertura; por outro lado, Lara Cabezas e Pádua (2007) obtiveram 44,9% e 45,1% de EUFN em milho sem braquiária e com braquiária, respectivamente, na primeira cobertura e 52 % e 61 % de EUFN em milho sem braquiária e com braquiária na segunda cobertura; enquanto na pesquisa de Fernandes et al. (2008), com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ na semeadura e 90 kg ha⁻¹ em cobertura, os autores estimaram 48% de EUFN. Quando aumentou a dose na semeadura para 60 kg ha⁻¹ complementada com 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura os mesmos constataram aproveitamento superior, com EUFN de 65%.

Os cotonicultores do Oeste baiano, de maneira geral, utilizam a cultura de milho para fins de rotação e, em alguns casos, também para a formação de palhada para o sistema de plantio direto. Para tanto, reduzem ao máximo as atividades de manejo e tratos culturais na lavoura de milho, para não desviar o uso de horas-máquina e de serviços do algodoeiro – cultura principal. Uma prática feita com essa finalidade é a aplicação de 100% do N na semeadura do milho, procedimento que tem sido realizado em solos com teor de argila de 140 g kg⁻¹ e matéria orgânica ao redor de 15 g dm⁻³ nos primeiros 20 cm, com precipitação média de 1.500 mm anual, e produtividades médias da ordem de 6.5000 kg ha⁻¹ (AIBA 2008), sendo comum em áreas em que a fertilidade foi corrigida, produtividades ao redor de 9.000 kg ha⁻¹ de grãos. Nestas condições, a dose de N para atender a demanda de grãos de milho é, aproximadamente, 144 kg ha⁻¹, aplicada em geral, na semeadura. Um dos fatores para esta produtividade é a correção do solo em profundidade e a predominância de dias sem nuvens, com até 3.000 horas de brilho solar por ano (AIBA, 2008). Considerando que são produzidas, em média, 100 g de proteínas por kg de grãos; em 9.000 kg ha⁻¹ de milho têm-se 900 kg ha⁻¹ de proteínas, em cuja composição há 160 g de N por kg de proteína. Portanto, a demanda de N para a formação de grãos é da ordem de 144 kg ha⁻¹. Este fato não seria problema se a eficiência de aproveitamento for de 100%, o que efetivamente não acontece, como visto anteriormente.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o balanço do N com base na aplicação de 150 kg ha^{-1} de ^{15}N -uréia na semeadura do milho em cultivo solteiro e em consórcio com braquiária (*Brachiaria ruziziensis*).

Esta pesquisa foi realizada com base nas seguintes hipóteses:

(i) a aplicação exclusiva de N na semeadura, nas condições locais, pode potencializar as perdas, com redução na eficiência de uso do fertilizante nitrogenado (EUFN);

(ii) a braquiária, mesmo com os cuidados para evitar mato competição, deverá absorver parte do N do fertilizante, com prejuízo à eficiência no aproveitamento do nutriente pelo milho;

(iii) o cultivo em consórcio de milho com braquiária possivelmente reduzirá as perdas de N do fertilizante, comparativamente ao cultivo de milho solteiro, devido a maior quantidade de raízes no sistema e pela reciclagem do nutriente;

(iv) o aproveitamento do nitrogênio proveniente do fertilizante e a produtividade do milho solteiro, provavelmente serão maiores que no consórcio milho-braquiária, em razão da menor competição proporcionada pela forrageira.

3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido na safra agrícola 2006/07 na Fazenda Acalanto do Grupo Horita, no município de São Desidério, no Oeste da Bahia.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999).

Na área experimental o teor de argila é de 140 g kg^{-1} na profundidade de 0 a 20 cm, 210 g kg^{-1} na profundidade de 20 a 40 cm, e 200, 210 e 220 g kg^{-1} nas profundidades de 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 100 cm, respectivamente.

A fertilidade foi corrigida em vários anos de cultivo anteriores à realização da presente pesquisa, como indica a saturação por bases superior a 50% até 50 cm de profundidade, em que a capacidade de troca de cátions nos primeiros 20 cm é da ordem $34 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A amostragem do solo foi feita em setembro de 2006, antes da instalação do experimento. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001), cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

A área foi cultivada na safra anterior 2005/06 com algodão, variedade Destak implantado em dezembro de 2005, em que foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de KCl e 1,0 kg ha⁻¹ de boro, ambos aplicados a lanço em área total sete dias antes da semeadura. Na semeadura do algodoeiro foi aplicado ainda no sulco de semeadura 450 kg ha⁻¹ de 08:24:12 + 0,35% Zn + 0,14% B + 0,2% Cu + 0,5% Mn e em uma única cobertura 300 kg ha⁻¹ de uréia.

Tabela 1 – Resultados da análise química de solo em razão da profundidade

camada cm	pH CaCl ₂	M.O g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	H+Al	Al	CTC	V %
0 a 10	6,2	15	19	2,2	19	6	8	0	35,2	77,3
10 a 20	6,3	14	8	1,8	17	6	8	0	32,8	75,6
20 a 30	6,2	10	6	0,9	15	5	9	0	29,9	69,9
30 a 40	6,0	9	3	0,8	8	4	10	0	22,8	56,4
40 a 50	5,8	9	3	0,6	7	3	10	0	20,6	51,5
50 a 60	5,6	7	3	0,5	6	3	11	0	20,5	46,3
60 a 70	4,4	9	2	0,4	4	2	15	2	21,4	29,9
70 a 80	4,4	9	2	0,4	4	2	15	1	21,4	29,9
80 a 90	4,6	7	3	0,5	5	2	14	0	21,5	34,9
90 a 100	4,6	7	2	0,4	5	2	14	0	21,4	34,6

O clima regional é classificado como Aw, segundo Köppen, quente e úmido na estação chuvosa e uma estação seca no inverno. Esta condição climática predomina em todo interior da Bahia, com exceção da parte setentrional e do vale do São Francisco. A área experimental está localizada a 840 m de altitude, com temperatura média anual de 20 °C e precipitação pluvial média de 1.500 mm anuais (AIBA, 2008).

Tabela 2 – Resultados da análise química do solo em razão da profundidade

Camada cm	m %	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
mg dm ⁻³							
0 a 10	0	8,9	1,0	34,0	1,0	2,0	0,3
10 a 20	0	8,6	1,0	42,5	1,0	2,0	0,5
20 a 30	0	8,1	0,4	60,0	0,5	0,7	0,4
30 a 40	0	8,4	0,1	66,5	0,3	0,4	0,4
40 a 50	0	9,2	0,1	49,5	0,2	0,6	0,3
50 a 60	0	11,8	0,1	37,0	0,2	0,7	0,3
60 a 70	9,3	15,1	0,1	26,0	0,2	0,4	0,2
70 a 80	4,7	44,0	0,1	21,5	0,1	0,6	0,2
80 a 90	0	37,0	0,1	25,5	0,2	0,5	0,3
90 a 100	0	25,0	0,1	17,5	0,2	0,5	0,3

A precipitação pluvial mensal durante a condução da pesquisa, coletados em pluviômetro instalado na área experimental, estão apresentados na Figura 1. A primeira chuva da safra 2006/07 ocorreu no dia 22 de setembro de 2006, e a última no dia 20 de abril de 2007, totalizando 1.522,6 mm.

O experimento foi instalado em novembro de 2006, e antes da implantação do milho foram aplicados 600 kg ha⁻¹ de gesso (37 dias antes da semeadura) e 1.000 kg ha⁻¹ de 00-10-20 (7 dias antes da semeadura), que correspondem a 90 kg ha⁻¹ de S, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg ha⁻¹ de K₂O.

A semeadura do milho foi realizada no espaçamento de 0,76 m entre linhas com 5,0 plantas por metro, com a finalidade de obter uma população final de 60.000 plantas por hectare.

Figura 1 – Precipitação pluvial mensal da área experimental durante a condução da pesquisa de setembro de 2006 a maio de 2007

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com dois tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1 - cultivo de milho solteiro e T2 - cultivo de milho em consórcio com braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). Nos dois tratamentos aplicou-se 150 kg ha^{-1} de N-uréia em sulco lateral a 10,0 cm da linha de semeadura e a 8,0 cm de profundidade. A aplicação do ^{15}N foi instalada numa microparcela de 1,0 m x 1,52 m, totalizando $1,52 \text{ m}^2$, que receberam a uréia marcada com ^{15}N (2,415 em átomos de ^{15}N). O fertilizante marcado foi coberto manualmente nos sulcos de semeadura (Figura 2). O uso de 150 kg ha^{-1} de N foi adotado com base na dose média do nutriente que tem sido aplicada na região do Oeste baiano.

Figura 2 – Aplicação da Uréia (^{15}N) na dose de 150 kg.ha^{-1} nas microparcels do experimento

No experimento foi utilizado o híbrido Impacto (*Zea mays* L.) e a forrageira (*Brachiaria ruziziensis*), semeada manualmente no mesmo dia que o milho, no centro das entrelinhas desta cultura, no tratamento em consórcio. Na época do perfilhamento da braquiária, foi aplicada uma subdose de nicosulfuron (6 g.ha^{-1}), para diminuir o crescimento da braquiária e evitar a competição.

A colheita da parte aérea das plantas das micro-parcelas com uréia ^{15}N ocorreu em maio de 2007, quando foi colhido manualmente 0,5 metro de linha de milho no centro da microparcelsa e em posições contíguas, nas linhas adjacentes àquelas que receberam o fertilizante marcado. As amostras colhidas tanto das linhas centrais, que receberam o fertilizante, como das linhas adjacentes às mesmas foram separadas em: colmo, folhas, brácteas e sabugo, inflorescência e grãos (Figura 3). De todo material coletado foi obtido a massa total de material vegetal, da qual se retirou uma subamostra

e determinou-se a massa antes de ser colocada em estufa a 65 °C por 36 horas para determinação da massa de matéria seca. As amostras secas foram moídas em moinho tipo Wiley e utilizadas nas determinações de nitrogênio total (expressão 1) e abundância de ^{15}N (% em átomos de ^{15}N) no espectrômetro de massa ANCA/SL, modelo 20/20 da Europa Scientific, Krewe, U.K.

Figura 3 – Separação das partes das plantas em colmos, folhas, brácteas mais sabugo, inflorescência e grãos

$$\text{NT} = \text{NP} \times \text{MMS} \quad (1)$$

em que: NT corresponde à quantidade total de N de cada órgão da planta proveniente do solo e do fertilizante (kg ha^{-1}); NP corresponde ao teor de N dos respectivos órgãos da planta (%) e MMS a massa de matéria seca de cada parte da planta (kg ha^{-1})

Em maio de 2007 foi realizada a amostragem de raízes, coletando-se todo o solo de uma trincheira de 0,20 x 0,76 m, nas profundidades de 00 a 20, 20 a 40, 40 a 60 cm, das quais foram separadas as raízes utilizando uma peneira de malha de 2,0 mm.

As amostras de solo de cada profundidade (00 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80, 80 a 100 e 100 a 120 cm), foram submetidas à pesagem e, posteriormente, separadas subamostras nas quais determinou-se a umidade. Em seguida as mesmas foram colocadas para secar ao ar e homogeneizadas, moídas finamente em moinho de bola e feitas as determinações de nitrogênio total no solo (expressão 2) e abundância de ^{15}N (% em átomos de ^{15}N).

$$\text{NT} = \text{NS} \times \text{MSS} \quad (2)$$

em que: NT corresponde a quantidade total de N proveniente do solo e do fertilizante em cada profundidade (kg ha^{-1}); NS ao teor de N das diferentes camadas de solo (%) e MSS a massa seca de solo das respectivas profundidades (kg ha^{-1}).

Nos tratamentos do milho em consórcio com braquiária, além da trincheira central denominada (B) foram abertas mais duas trincheiras adjacentes, com as mesmas dimensões (A e C) onde foram amostradas, da mesma forma, as raízes e a parte aérea da braquiária (Figura 4), em razão da proximidade da forrageira da zona tratada com o fertilizante marcado.

As raízes foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e depois transferidas para o Laboratório do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, da Universidade de São Paulo - USP em Piracicaba, onde foram lavadas em água corrente e submetidas à secagem em estufa com ventilação corrente a 65°C por 36 horas, ao final do qual se determinou a massa de matéria seca de raízes nas diferentes profundidades. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho do tipo Wiley e utilizadas nas determinações de nitrogênio total (expressão 1) e abundância de ^{15}N (% em átomos de ^{15}N) por espectrometria de massas.

Figura 4 – Coleta da parte aérea da braquiária no dia da colheita do experimento

A Eficiência de uso do fertilizante nitrogenado (EUFN) pela planta foi calculada por meio das expressões 3 e 4:

$$\text{NPPF} = [(A-C)/(B-C)] \times \text{NT} \quad (3)$$

$$\text{EUFN} = (\text{NPPF}/\text{NAF}) \times 100 \quad (4)$$

em que: NPPF corresponde ao N na planta proveniente do ^{15}N -fertilizante, em % na expressão 3 e em kg ha^{-1} na expressão 4; A consiste na abundância de ^{15}N (% de átomos) da planta; B a abundância de ^{15}N (2,415% de átomos) do ^{15}N -fertilizante; C a abundância natural de ^{15}N (0,366% de átomos); NT ao conteúdo de N na planta

(kg ha⁻¹); EUFN a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado na planta e (%); e NAF a dose de N da fonte aplicada (150 kg ha⁻¹).

A Eficiência de uso do fertilizante nitrogenado nas raízes (EUFNR) foi calculada por meio das expressões 5 e 6:

$$\text{NRPF} = [(A-C)/(B-C)] \times \text{NT} \quad (5)$$

$$\text{EUFNR} = (\text{NRPF}/\text{NAF}) \times 100 \quad (6)$$

em que: NRPF corresponde ao N das raízes proveniente do ¹⁵N-fertilizante, em % na expressão 5 e em kg ha⁻¹ na expressão 6; A consiste na abundância de ¹⁵N (% de átomos) presente nas raízes; B a abundância de ¹⁵N (2,415% de átomos) do ¹⁵N-fertilizante; C a abundância natural de ¹⁵N (0,366% de átomos); NT ao conteúdo de N nas raízes (kg ha⁻¹); EUFNR a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado nas raízes (%); e NAF a dose de N da fonte aplicada (150 kg ha⁻¹).

A Recuperação do fertilizante nitrogenado pelo solo (RFNS) foi calculado por meio das expressões 7 e 8:

$$\text{NSPF} = [(A-C)/(B-C)] \times \text{NT} \quad (7)$$

$$\text{RFNS} = (\text{NSPF}/\text{NAF}) \times 100 \quad (8)$$

em que: NSPF corresponde ao N do solo proveniente do ¹⁵N-fertilizante, em % na expressão 7 e kg ha⁻¹ na expressão 8; A consiste na abundância de ¹⁵N (% de átomos) do solo; B a abundância de ¹⁵N (2,415% de átomos) do ¹⁵N-fertilizante; C a abundância natural de ¹⁵N (0,366% de átomos); NT ao conteúdo de N do solo (kg ha⁻¹); RFNS a recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (%); e NAF a dose de N da fonte aplicada (150 kg ha⁻¹).

Para as discussões de perdas por lixiviação no presente trabalho foi considerado como limite de 100 cm de profundidade, assumindo como perda o ¹⁵N determinado abaixo desta profundidade. O nitrogênio determinado até este limite foi considerado

como possível de ser absorvido pelas raízes das plantas (MEIRELLES, 1979; WOLSCHIK et al., 2003; FENILLI, 2006; LUCHESE et al., 2008).

Cada compartimento da planta foi considerado separadamente e os resultados submetidos à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para as raízes foi utilizado esquema fatorial 2 x 3 (sistemas de cultivo e profundidades), assim como para o solo (2 sistemas de cultivos x 6 profundidades), em que as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Recuperação pela parte aérea do ^{15}N aplicado na semeadura do milho em cultivo solteiro e consorciado com braquiária

A quantidade de matéria seca, nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante - NPPF e eficiência de uso do fertilizante nitrogenado - EUFN, nos diversos compartimentos estudados no milho (colmo, folhas, brácteas e sabugos, inflorescências e grãos) estão apresentados na Tabela 3. De acordo com os resultados não houve diferença entre os tratamentos (sistemas de cultivo de milho solteiro e em consórcio com braquiária), para as referidas variáveis.

O índice de colheita - IC foi obtido pela razão entre a massa de matéria seca de grãos e a massa de matéria seca total (grãos mais resíduos da parte aérea). Tanto para o cultivo de milho solteiro como em consórcio com braquiária o IC foi igual a 0,54. De acordo com este resultado pode-se afirmar que, independentemente do sistema de cultivo, a quantidade de palhada é semelhante à produção de grãos (Tabela 3 e Figura 5). Esse resultado corrobora àqueles obtidos por Lara Cabezas et al. (2000), igual a 0,54; enquanto outros obtiveram 0,53 (TIMMONS; BAKER, 1992), de 0,49 para milho em plantio direto e em sistema convencional (GAVA et al., 2006) de 0,47 para milho em consórcio com braquiária e 0,48 para milho solteiro (LARA CABEZAS; PÁDUA, 2007).

Tabela 3 - Matéria seca (kg ha^{-1}), N total acumulado (kg ha^{-1}), N da planta proveniente do fertilizante (NPPF: kg ha^{-1}) e eficiência de uso do fertilizante pelas diferentes partes do milho e na braquiária, nas linhas centrais e adjacentes às plantas tratadas com ^{15}N (EUFN: %), na colheita dos grãos

Partes da planta de milho	Sistemas de cultivo	M. seca kg ha^{-1}	N total kg ha^{-1}	NPPF – kg ha^{-1}			EUFN – %		
				LC	LA	total	LC	LA	total
Colmo	Solteiro	2.461a	13,6a	3,7	2,1	5,8a	2,4	1,4	3,9a
	Consórcio	2.556a	12,9a	4,6	1,2	5,7a	3,0	0,8	3,8a
Folhas	Solteiro	2.903a	44,4a	15,2	8,9	24,1a	10,2	5,9	16,1a
	Consórcio	2.499a	33,6a	13,7	4,6	18,3a	9,1	3,1	12,2a
Brácteas+sabugos	Solteiro	2.835a	11,9a	3,9	1,1	4,9a	2,6	0,7	3,3a
	Consórcio	2.999a	14,4a	5,1	2,3	7,4a	3,4	1,5	4,9a
Inflorescências	Solteiro	106a	1,0a	0,3	0,1	0,5a	0,2	0,1	0,3a
	Consórcio	102a	1,0a	0,4	0,2	0,6a	0,2	0,1	0,3a
Resíduos: parte aérea	Solteiro	8.305a	71a	23,1	12,2	35,3a	15,4	8,1	23,6a
	Consórcio	8.156a	62a	23,6	8,3	31,9a	15,7	5,6	21,3a
Grãos	Solteiro	9.800a	148,1a	37,3	22,2	59,5a	24,9	14,8	39,7a
	Consórcio	9.671a	139,0a	44,7	9,1	53,8a	29,8	6,0	35,9a
Grãos + resíduos	Solteiro	18.105a	219,1a	60,5	34,4	94,8a	40,3	22,9	63,3a
	Consórcio	17.829a	201,0a	68,3	17,4	85,7a	45,5	11,6	57,2a
Braquiária	Consórcio	2.265	31,0	0,2	1,9	2,1	0,1	1,3	1,4

Nota: Médias de quatro repetições. As médias entre tratamentos da mesma parte da planta seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

A braquiária foi implantada no mesmo dia que o milho e produziu 2.265 kg ha^{-1} de massa de matéria seca (Tabela 3), semelhante àquela obtida por Portes et al (2000), em que os autores obtiveram 2.487 kg ha^{-1} em consórcio com forrageiras em plantio simultâneo ao milho, como na presente pesquisa. Freitas et al. (2005) determinaram 2.786 kg ha^{-1} para *Brachiaria brizantha* em plantio simultâneo com duas linhas da forrageira em cada entrelinha de milho, e 1.392 kg ha^{-1} quando a braquiária foi aplicada a lanço no dia da semeadura do milho. Lara Cabezas e Pádua (2007) obtiveram resultado inferior, da ordem 433 kg ha^{-1} , fato atribuído à implantação descontínua do

consórcio, com redução do potencial de acúmulo de massa de matéria seca, em razão do estabelecimento tardio da forrageira, depois da semeadura do milho.

Figura 5 - Partição da matéria seca entre as partes do milho: caule, folhas, brácteas e sabugos, inflorescências, resíduos de parte aérea (soma das anteriores) e grãos

Do total de nitrogênio acumulado no milho em cultivo solteiro ($219,1 \text{ kg ha}^{-1}$) foi carregado para os grãos $148,1 \text{ kg ha}^{-1}$ (67,6%), enquanto no consórcio milho-braquiária acumulou um total de $201,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, dos quais $139,0 \text{ kg ha}^{-1}$ estava nos grãos (69,1%) (Tabela 3). A diferença 32,4 e 30,9% acumulou nas demais partes do compartimento aéreo, no cultivo de milho solteiro e em consórcio com braquiária, nessa ordem.

A presença da braquiária não afetou o acúmulo de N pelo milho, o que pode ser explicado pelo crescimento reduzido da forrageira, com a aplicação de subdose de nicosulfuron (6 g ha^{-1}). Esta afirmação pode ser comprovada pela quantidade de massa de matéria seca acumulada na forrageira durante o ciclo do milho (2.265 kg ha^{-1} ; Tabela 3), comparado ao potencial da braquiária em cultivo solteiro, da ordem de 15.000 a $20.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (PORTES et al., 2000; FREITAS et al., 2005).

O nitrogênio da planta proveniente do fertilizante - NPPF apresentou tendência de distribuição semelhante ao nitrogênio total, uma vez que da quantidade total de nitrogênio absorvido do fertilizante pelo milho em cultivo solteiro ($94,8 \text{ kg ha}^{-1}$) ou 62% estão nos grãos ($59,5 \text{ kg ha}^{-1}$). No consórcio milho-braquiária do total de N proveniente do fertilizante ($85,7 \text{ kg ha}^{-1}$) ou 62,8% encontram-se nos grãos. Portanto, por volta de 37,2% do N do fertilizante estão nas demais partes da planta em ambos os tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por Duete et al. (2008), que constatou 72 % do nitrogênio total da planta estavam alocados nos grãos e 71% do NPPF também estava neste compartimento. Fernandes et al. (2008) verificaram acúmulo de 73 % de N nos grãos em relação ao N total da planta e 72 % do NPPF nos grãos. Esta observação indica que independentemente da fonte de nitrogênio, a partição do nutriente na planta ocorre de forma semelhante, em que a variação, quando ocorre, se deve às características do material genético.

Na presente pesquisa o nitrogênio absorvido do fertilizante pelo milho (NPPF) foi igual a $94,8$ e $85,7 \text{ kg ha}^{-1}$ no milho em cultivo solteiro e em consórcio com braquiária, respectivamente (Tabela 3). Estes valores correspondem a 43,3% do total de nitrogênio acumulado pela planta na parte aérea no cultivo de milho solteiro e 42,6% no consórcio milho-braquiária, os quais foram provenientes do fertilizante. Estes resultados corroboram os dados de Fernandes et al. (2008), que estimaram entre 36 a 40%, e que a maior participação (40%) se deu quando aplicou uma quantidade superior de N na semeadura, em relação à cobertura. Para estes autores o aumento da dose de N na semeadura proporciona maior aproveitamento do N proveniente do fertilizante. Por outro lado Vilas Bôas et al. (2005) obtiveram resultados superiores ao do presente experimento, os quais obtiveram 63 a 71% de N proveniente do fertilizante em relação ao total de nitrogênio determinado no milho. Ressalta-se, porém, que este resultado foi obtido em pesquisa feita em vaso, cuja determinação foi realizada na época do florescimento do milho, diferente do que foi feito no presente estudo, em que as avaliações ocorreram no campo e na colheita do milho.

A maioria dos resultados de pesquisas feitas em campo indica valores menores para a participação do nitrogênio do fertilizante. De acordo com Duete (2000) a participação foi da ordem de 28%; Cantarella et al. (2003) determinaram entre 18 a 28%

do N da planta fornecido pelo fertilizante, enquanto Gava et al. (2006) verificaram que a contribuição foi igual a 27 e 23%, variando com o sistema de cultivo. Os valores de NPPF podem ser influenciados pela época de aplicação, conforme foi observada por Lange et al (2008), com valores entre 8,2 a 12,8%; ou pela dose aplicada de acordo com Duete (2008), cujos valores variaram de 18 a 32%.

A elevada participação do N do fertilizante na composição total de N na planta, da ordem de 43%, como verificado nesta pesquisa, pode ser explicada pelos atributos do solo de Cerrado, com baixo teor de argila (140 g kg^{-1}) e de matéria orgânica (15 g dm^{-3}) nos primeiros 20 cm de solo. Provavelmente, as condições em que foi realizada esta pesquisa, explica porque há maior dependência do N do fertilizante na nutrição do milho, comparativamente a contribuição em outras condições de solo. Ressalta-se, porém, que mesmo nestas condições o solo contribui com a maior fração de N contido no milho, em média, 57%. No cultivo de milho solteiro, do total de N da planta ($219,1 \text{ kg ha}^{-1}$) o solo forneceu $124,3 \text{ kg ha}^{-1}$ (56,7%), enquanto no consórcio milho-braquiária do total de $201,0 \text{ kg ha}^{-1}$ cerca de 57,4% foi proveniente do solo ($115,3 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 3). A contribuição do solo ocorre com a mineralização do nitrogênio orgânico armazenado. Esse processo varia, entre outros, com a umidade do solo (PILBEAM; WARREN, 1995) e pela própria aplicação de N, a qual aumentará a mineralização por intensificar as atividades microbianas na decomposição. O aumento da disponibilidade de N no solo propiciada pela aplicação de fertilizante também conhecido como “priming effect”, que para Westerman e Kurtz (1973) significa um aumento da mineralização do N do solo propiciado pela adição do fertilizante nitrogenado.

A braquiária implantada simultaneamente com a cultura do milho absorveu somente $2,1 \text{ kg ha}^{-1}$ do fertilizante nitrogenado aplicado no milho, o que corresponde a 6,8% do nitrogênio total absorvido pela *Brachiaria ruziziensis* ($31,0 \text{ kg ha}^{-1}$, Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Lara Cabezas e Pádua (2007) com valores da ordem de 5,3; 4,4 e 4,3% para o consórcio implantado com uréia, sulfato de amônio e a mistura de uréia com sulfato de amônio respectivamente. Este resultado indica que o consórcio (milho-braquiária) quando feito criteriosamente não afetará o milho, pela competição da forrageira por N aplicado à cultura. Além disso, o consórcio milho com braquiária pode contribuir para a redução de algumas espécies de nematóides de

galhas (BRITO; FERRAZ, 1987; DIAS-ARIEIRA et al, 2003) e nematóides reniformes (ASMUS; CARGNIN, 2005). Ressalta-se que este sistema (milho e braquiária) é eficiente para a formação e acúmulo de palhada em sistema de plantio direto, principalmente em algumas regiões do Cerrado, com inverno quente e seco, limitante para o cultivo de plantas de cobertura do solo.

A eficiência de uso do fertilizante nitrogenado - EUFN no cultivo de milho solteiro foi igual a 39,7% para grãos e 23,6% para resíduos da parte aérea da planta, totalizando 63,3% (grãos + resíduos). No cultivo de milho em consórcio com braquiária foram obtidas EUFN igual a 35,9% para os grãos e 21,3% para a parte aérea, com total de 57,2% na planta inteira (grãos + resíduos) (Tabela 3). Os valores de EUFN na cultura do milho em pesquisas feitas em várias regiões, com diferentes tipos de solo e clima, submetido a doses variáveis, assim como de fontes, épocas de aplicação e diferentes híbridos, a EUFN varia entre 40 a 50%. Liang e Mackenzie (1994) obtiveram EUFN igual a 40% para a planta inteira de milho, com aplicação de 170 kg ha^{-1} de N, enquanto Scivittaro et al. (2003) determinaram EUFN igual a 43% na média dos tratamentos com diferentes doses de N, junto com o fornecimento de N orgânico proveniente da mucuna preta. Alves et al. (2006) verificaram 48% para a EUFN com a aplicação de 115 kg ha^{-1} de N em dois parcelamentos, e 46% para o fornecimento de 95 kg ha^{-1} no ano agrícola seguinte. Para Gava et al. (2006) os valores de EUFN no cultivo convencional foram iguais a 32,8 e 42,5% para grãos e planta inteira, nessa ordem; e no sistema de plantio direto determinou 33,8% para grãos e 43,4% para a planta inteira. Duete et al. (2008) testaram diferentes doses e número de parcelamentos, e obtiveram EUFN igual a 39%, com valor de 52% para a aplicação de 135 kg ha^{-1} de nitrogênio parcelado em três vezes até a oitava folha. Por sua vez, Silva et al. (2006) evidenciaram, na média dos tratamentos com diferentes tipos de cobertura de solo e épocas de aplicação, 49,7 e 48,9% de EUFN nos anos agrícolas 2001/02 e 2002/03, respectivamente.

A EUFN encontrada nesta pesquisa é ligeiramente superior à maioria dos trabalhos encontrados na literatura, mas semelhante com outros resultados, como àqueles obtidos por Lara Cabezas et al. (2004), em que os autores verificaram eficiência no uso do nitrogênio do fertilizante para sucessão milheto-milho de 57,1% em

sistema de plantio direto. Apesar destes autores observaram valores menores e iguais a 42,1% na sucessão nabo-milho em plantio direto e 46,8 e 46,3% no plantio convencional na sucessão milheto-milho e nabo-milho, respectivamente. Lara Cabezas e Pádua (2007) obtiveram 60,7 e 51,6% para a EUFN na média de três fontes nitrogenadas, em que aplicou 64 kg ha^{-1} de N quando o milho apresentava 5 a 6 folhas, em milho consorciado com braquiária e em cultivo solteiro, nessa ordem. Fernandes et al. (2008) estimaram com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N na semeadura e 90 kg ha^{-1} em cobertura do milho, EUFN igual a 48% e quando aumentou a dose de N na semeadura para 60 kg ha^{-1} associada a uma cobertura de 60 kg ha^{-1} obteve EUFN de 65%. Para estes autores o aumento da dose de N na semeadura proporciona maior aproveitamento do N proveniente do fertilizante.

A elevada EUFN em milho solteiro (63,3%) e em consórcio com braquiária (57,2%), obtida na presente pesquisa, pode ser explicada pela alta dose de N na semeadura, como foi sugerido por Fernandes et al. (2008) e, provavelmente, em razão do clima do Oeste baiano, devido à elevada evapotranspiração, pela predominância de dias ensolarados, com elevada irradiância e temperatura média mensal entre 20 a 25 °C (AIBA, 2008).

A braquiária em consórcio com milho absorveu $2,1 \text{ kg ha}^{-1}$ do nitrogênio proveniente do fertilizante, o que corresponde a uma EUFN de 1,4 % (Tabela 3). Resultado semelhante foi obtido por Lara Cabezas & Pádua (2007) os quais afirmaram que na soma de dois parcelamentos da adubação nitrogenada, na média de três fontes aplicadas, a forrageira recuperou $1,6 \text{ kg ha}^{-1}$ proveniente do fertilizante ou 1,5 % de EUFN.

Do total de ^{15}N do fertilizante (150 kg ha^{-1}) foram determinados $34,4 \text{ kg ha}^{-1}$ (22,9%) nas plantas das linhas adjacentes no milho solteiro. Deste total de N presente nas plantas adjacentes $22,2 \text{ kg ha}^{-1}$ estavam nos grãos (64,5%) e $12,2 \text{ kg ha}^{-1}$ foram determinados nas demais partes da planta (35,5%). No milho em consórcio o NPPF foi de $17,4 \text{ kg ha}^{-1}$ (11,6 % do total aplicado) nas plantas das linhas adjacentes, que se distribuíram de forma semelhante nos grãos $9,1 \text{ kg ha}^{-1}$ (52,2%) e nas demais partes da planta $8,3 \text{ kg ha}^{-1}$ (47,8%). Portanto, na média entre milho solteiro e milho-braquiária 28,3% de todo o ^{15}N do fertilizante absorvido pela planta (NPPF) e 17,3% de todo o

fertilizante aplicado no sulco de semeadura (150 kg ha^{-1}), em lavoura com espaçamento de 0,76 m, são absorvidos pelas plantas das linhas adjacentes (Tabela 3).

O cultivo da *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com o milho não reduziu a massa de matéria seca de grãos, em que foram obtidos 9.800 kg ha^{-1} no cultivo de milho solteiro e 9.671 kg ha^{-1} no consórcio milho-braquiária (Tabela 3). Da mesma forma não houve diferença no aproveitamento do N do fertilizante pelas plantas. Resultado semelhante foi constatado por Lara Cabezas e Pádua (2007).

A adoção do consórcio milho e braquiária, desde que adote medidas para evitar competição entre as espécies, não prejudica a produtividade de milho e contribui para formação e acúmulo de palhada em quantidade superior a $8,0 \text{ t ha}^{-1}$. Outros trabalhos também evidenciaram a importância desse sistema para o plantio direto e integração lavoura e pecuária, sem prejuízo a produtividade do milho (MATEUS et al., 2004; AGNES et al., 2004; CAPOBIANCO et al., 2004; KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003; TSUMANUMA et al., 2004; FREITAS et al., 2005).

3.3.2 Recuperação pelas raízes do ^{15}N aplicado na semeadura do milho em cultivo solteiro e consorciado com braquiária

De acordo com os resultados foi constatada diferença entre o cultivo de milho solteiro e milho em consórcio com braquiária nos primeiros 20 cm de profundidade. A massa de matéria seca de raízes nos primeiros 20 cm foi igual $1.179,9 \text{ kg ha}^{-1}$ no milho solteiro, inferior à massa de raízes do consórcio ($1.529,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Na mesma profundidade, a quantidade de nitrogênio na raiz proveniente do fertilizante (NRPF) foi inferior e igual a $1,75 \text{ kg ha}^{-1}$ (milho solteiro), comparado ao milho consorciado ($3,70 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto para a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado pelas raízes de milho (EUFNR) foi superior para o consórcio (2,46 %) em relação ao milho solteiro (1,17 %). Com relação ao N total nas raízes não houve diferença entre os sistemas de cultivo (Tabela 4).

Pela metodologia empregada não foi possível distinguir as raízes do milho e da braquiária no cultivo de milho em consórcio em relação às avaliações exclusivas de

raízes de milho solteiro. Por isso, ocorreu diferença entre estas variáveis (massa de matéria seca de raízes, NRPF e EUFNR).

Tabela 4 – Massa de matéria seca de raízes, nitrogênio total nas raízes, nitrogênio na raiz proveniente do fertilizante (NRPF) e eficiência no uso do fertilizante nitrogenado pelas raízes (EUFNR), em razão da profundidade e dos sistemas de cultivo

Raízes cm	Sistemas de cultivo	Matéria seca kg ha ⁻¹	N total kg ha ⁻¹	NRPF kg ha ⁻¹	EUFNR %
0 a 20	Solteiro	1.179,9bA	8,51aA	1,75bA	1,17bA
	Consórcio	1.529,7aA	11,19aA	3,70aA	2,46aA
20 a 40	Solteiro	220,2aB	2,28aB	0,33aB	0,22aB
	Consórcio	256,9aB	2,37aB	0,66aB	0,44aB
40 a 60	Solteiro	212,2aB	2,24aB	0,27aB	0,18aB
	Consórcio	241,6aB	2,19aB	0,45aB	0,30aB
Total	Solteiro	1.612,3b	13,03a	2,36b	1,57b
	Consórcio	2.018,2a	15,76a	4,81a	3,20a

Nota: Médias de quatro repetições. Letras minúsculas diferentes nas colunas (comparam sistema de cultivo na mesma profundidade) e maiúsculas diferentes nas colunas (comparam o sistema em relação à profundidade) diferem entre si pelo teste Tukey (p <0,05)

A quantidade total de raízes, estimada pela massa de matéria seca, nas três profundidades foi superior no milho em consórcio com a forrageira (2.018,2 kg ha⁻¹) em relação ao cultivo solteiro (1.612,3 kg ha⁻¹). Esta observação também foi constatada para o NRPF com valores iguais a 2,36 kg ha⁻¹ (milho solteiro) e 4,81 kg ha⁻¹ (consórcio), enquanto para a EUFNR os valores foram iguais a 1,57 kg ha⁻¹ (milho solteiro) e 3,20 kg ha⁻¹ (consórcio). Entretanto, para o N total nas raízes não houve diferença entre os sistemas de cultivo (Tabela 4). Estas diferenças se devem à influência da maior quantidade de raízes medida na camada superficial (20 cm). Gava et al (2006) observaram, na média dos tratamentos utilizados, que envolviam milho em sistema plantio direto e convencional, que a EUFNR foi igual a 1%, considerando até 30 cm de profundidade.

Nas profundidades abaixo de 20 cm do solo a massa de matéria seca, N total, NRPF, EUFNR foram inferiores aos valores da camada superficial (Tabela 4). Este fato pode ser explicado pela facilidade de trocas gasosas com a atmosfera (entrada de O₂ e saída de CO₂) (KHIEL, 1979). Esta é uma das razões para o acentuado acúmulo de biomassa de raízes, cujo crescimento está relacionado com a disponibilidade de N (DREW, 1975), devido à adubação que é feita nos primeiros 5 a 10 cm do solo. Como consequência há maior absorção de N que reflete no acúmulo de N total, NRPF e EUFNR.

As raízes de milho solteiro representaram 8,2% da matéria seca total da planta e 5,6% de todo o nitrogênio acumulado, para o tratamento de milho consorciado com braquiária as raízes destas plantas representaram 9,1% da matéria seca total (parte aérea milho + parte aérea braquiária + raízes), e 6,4% de todo o nitrogênio acumulado nas duas espécies. Estes resultados são semelhantes aos encontrados em outros trabalhos como de Lara Cabezas et al. (2000), em que as raízes de milho representaram, em média, 8% da matéria seca total e 5% para o N total acumulado na planta. Gava et al. (2006) obtiveram para a parte radicular do milho, na média dos tratamentos de plantio direto e convencional, 7% da matéria seca total e 6% do N acumulado. Vale ressaltar que a avaliação feita neste trabalho e nos demais citados, foi realizada no dia da colheita do milho, quando a participação das raízes é pouco relevante, tendo em vista que em outras fases de desenvolvimento da cultura, a participação do sistema radicular na matéria seca e no total de nitrogênio podem ser maiores.

Os resultados obtidos ocorreram em consequência da presença da braquiária no sistema, a qual proporcionou diferenças na massa de matéria seca de raízes e, em razão disso, houve maior acúmulo de nitrogênio nas raízes de milho proveniente do fertilizante (NRPF) e na eficiência de uso do fertilizante nitrogenado pelas raízes da planta (EUFNR). Ressalta-se, porém que esse efeito foi observado somente nos primeiros 20 cm de profundidade, onde foram determinados 73,2% do sistema radicular no cultivo de milho solteiro e 75,8% do sistema radicular no consórcio milho-braquiária (Tabela 4). Apesar do consórcio entre milho e forrageira na presente pesquisa, possuir praticamente o dobro de NRPF e de EUFNR, o nível de grandeza é muito pequeno em

relação ao balanço total de nitrogênio do sistema, o que não implica em riscos de competição entre as espécies do consórcio, indicando uma tendência de que se consegue maior exploração do solo pelas raízes.

3.3.3 Recuperação no solo do ^{15}N aplicado na semeadura do milho em cultivo solteiro e consorciado com braquiária

Em relação ao N total no solo não foi constatada diferença entre os sistemas de cultivo nas profundidades avaliadas assim como no total de N acumulado até 120 cm os quais foram igual a 3.198,40 kg ha⁻¹ (milho solteiro) e 3.606,76 kg ha⁻¹ (milho-braquiária) (Tabela 5). Este resultado é coerente, pois o fato de mudar o sistema de cultivo, em apenas um ano agrícola, não era esperado mudanças que afetassem a disponibilidade de N, em particular o teor de matéria orgânica e de umidade.

Tabela 5 – Quantidade de nitrogênio total no solo (kg ha⁻¹), nas formas orgânica e mineral, inclusive o N do fertilizante, em razão da profundidade do solo

Profundidade do solo cm	Sistema de cultivo		Média
	Milho solteiro	Milho e braquiária	kg ha ⁻¹
0 a 20	863,11	874,98	869,05a
20 a 40	572,81	530,77	551,79bc
40 a 60	459,07	525,80	492,44bc
60 a 80	544,43	706,99	625,71b
80 a 100	395,08	479,38	437,23c
100 a 120	363,90	488,84	426,37c
Total	3.198,40A	3.606,76A	3.402,58

Nota: Médias de quatro repetições. Letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05)

Na média dos sistemas de cultivo o nitrogênio total no solo foi superior nos primeiros 20 cm (869,05 kg ha⁻¹), que representa 25,5% do N estimado até 120 cm (3.402,58 kg ha⁻¹). A maior quantidade de N na superfície está relacionada com a

presença de maior quantidade de matéria orgânica ($14,5 \text{ g dm}^{-3}$) a qual reduz para $9,5 \text{ g dm}^{-3}$ na profundidade de 20 a 40 (Tabela 1).

Entre as profundidades de 20 a 40 e 60 a 80 cm não há diferença na quantidade média de nitrogênio total entre sistemas de cultivo, por sua vez na camada de 60 a 80 cm a quantidade de N-total ($625,71 \text{ kg ha}^{-1}$) é superior à quantidade média estimada nas profundidades de 80 a 100 ($437,23 \text{ kg ha}^{-1}$) e 100 a 120 cm ($426,37 \text{ kg ha}^{-1}$) que não diferem das camadas 20 a 40 cm ($551,79 \text{ kg ha}^{-1}$) e 40 a 60 cm ($492,44 \text{ kg ha}^{-1}$). A quantidade de N na camada de 60 a 80 cm representa 18,4% da média de N total entre sistema de cultivo até 120 cm de profundidade. Como não há diferença no teor de matéria orgânica entre as profundidades de 20 a 40 até 100 a 120 cm a explicação para maior quantidade de nitrogênio total na profundidade de 60 a 80 cm ($625,71 \text{ kg ha}^{-1}$) se deve, provavelmente, a esta camada ser uma zona de concentração, principalmente, do N do solo percolado. Uma comprovação desta afirmação pode ser verificada pela mesma tendência de concentração de ^{15}N (Tabela 6) na referida profundidade (60 a 80 cm) que é igual a $5,9 \text{ kg ha}^{-1}$.

De acordo com os resultados verificou-se que não houve diferença para o total de nitrogênio do solo proveniente do fertilizante NSPF até 120 cm entre os sistemas de cultivo, os quais foram iguais a $26,6 \text{ kg ha}^{-1}$ em milho solteiro e $37,7 \text{ kg ha}^{-1}$ no consórcio milho-braquiária (Tabela 6).

A quantidade média de NSPF entre sistemas de cultivo foi superior nos primeiros 20 cm e igual a $12,3 \text{ kg ha}^{-1}$, que representa 38,2% do NSPF entre 0 a 120 cm (Tabela 6). A maior quantidade de NSPF nesta fração do solo (0 a 20 cm) se deve, provavelmente, pela aplicação ter sido realizada nesta profundidade e também a maior imobilização do N fertilizante propiciada pela atividade microbiana em razão do maior teor de matéria orgânica ($14,5 \text{ g kg}^{-1}$) em relação às demais profundidades, cujo teor médio é da ordem de $8,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 1).

A presença de maior quantidade de ^{15}N no solo proveniente do fertilizante nos primeiros 20 cm é um indicador de que a lixiviação é um processo que ocorre, porém menos intensa do que é comumente reportado na literatura. Esta afirmação pode ser comprovada com base no cálculo da quantidade de ^{15}N do fertilizante determinado até 60 cm de profundidade ($22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ou 69,6%) e até 100 cm ($30,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ou 94,7%),

camada de solo que foi admitida como limite entre o N aproveitado pela planta e àquele que será considerado como perda.

Tabela 6 – Nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NSPF: kg ha⁻¹), em razão da profundidade e sistemas de cultivo

Profundidade do solo cm	Sistema de cultivo		Média kg ha ⁻¹
	Milho solteiro	Milho e braquiária	
0 a 20	11,6	13,0	12,3a
20 a 40	7,2	7,6	7,4b
40 a 60	1,8	3,6	2,7c
60 a 80	3,6	8,2	5,9bc
80 a 100	1,3	3,0	2,2c
100 a 120	1,1	2,3	1,7c
Total	26,6A	37,7A	32,2

Nota: Médias de quatro repetições. Letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas diferentes na linha, diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

Mesmo com precipitação média de 1.500 mm anuais, as perdas por lixiviação, em solos com baixo teor de argila (140 g kg⁻¹) e de matéria orgânica (15 g dm⁻³) como na presente pesquisa, pode ser explicada pela elevada irradiância e baixa umidade relativa do ar, especialmente em dias com ventos. Nestas condições a taxas de evapotranspiração podem ser da ordem de 10 a 12 mm dia⁻¹, que favorece a ascensão capilar até próximo da superfície do solo nos dias subseqüentes à precipitação, reduzindo o risco de perda por lixiviação. A continuidade de dias sem precipitação poderá contribuir para a entrada de água e N, em determinada época, que estavam abaixo de 100 cm de profundidade, e que havia sido admitida como perda por lixiviação. É provável que nas condições da região o N não aprofunde muito além de 100 cm, como evidencia a perda de 1,7 kg ha⁻¹ com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ cerca de 130 dias antes das avaliações, na semeadura do milho, o que corresponde a 1,13% do total aplicado e 5,3% do total de ¹⁵N no solo proveniente do fertilizante (Tabela 6). Há indícios que o ¹⁵N se concentra nos primeiros 80 cm de solo, como indica a presença

de 5,9 kg ha⁻¹ de ¹⁵N na profundidade entre 60 a 80 cm, que corresponde a 3,9% do total aplicado (150 kg ha⁻¹) e 18,3% do total de ¹⁵N no solo proveniente do fertilizante (Tabela 6).

Nas regiões tropicais o máximo fluxo de evapotranspiração, em dias ensolarados, com elevada irradiância, baixa umidade relativa do ar e na presença de ventos, pode ser da ordem de 10 mm dia⁻¹ (REICHARDT, 1987). Uma lavoura de milho de 125 dias, em região com média de evapotranspiração igual a 8 mm dia⁻¹ corresponde a evapotranspiração total de 1.000 mm. Se admitir que 100 % da precipitação infiltre no solo, tem-se um saldo de 522 mm no caso de precipitação anual de 1.522 mm (Figura 1). Para uma taxa de lixiviação de nitrato da ordem de 1,5 mm em profundidade no solo por mm de chuva (SUHET et al., 1986), a lixiviação ocorrerá, em média, até 78,3 cm (522 mm x 1,5 mm mm⁻¹), conforme verificado “in loco” (Tabelas 5, 6 e 7). Com a implantação do sistema plantio direto, particularmente o uso de braquiária que persiste mesmo na estação seca, a evapotranspiração ocorrerá num período maior que aquele da cultura principal. Do exposto, o potencial de lixiviação em plantio direto poderá ser reduzido.

A recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (RFNS) não variou entre os sistemas de cultivo independentemente da profundidade, em que verificou-se recuperação, entre 0 a 120 cm, 17,7 % para milho solteiro e 25,1 % para o consórcio (Tabela 7).

Para a média dos sistemas de cultivo (milho solteiro e consorciado) em relação à profundidade houve diferença, com maior RFNS na camada de 0 a 20 cm (8,2%) seguido da profundidade de 20 a 40 cm com 5%, porém sem diferir da profundidade de 60 a 80 cm (4%). Este fato certamente está associado a maior quantidade de N do solo e do fertilizante nesta camada (60 a 80 cm), como indicam os resultados das Tabelas 5 e 6. Ressalta-se que há tendência de obtenção de maior valor para a RFNS no consórcio milho com braquiária, possivelmente em razão da maior quantidade de raízes do sistema.

Na média dos sistemas de cultivo até 120 cm de profundidade foram recuperados 21,4% do fertilizante nitrogenado no solo, a qual foi obtida pela recuperação de 17,7% no sistema de milho solteiro e 25,1% no sistema milho e

braquiária (Tabela 7). Do total recuperado, na média dos sistemas de cultivo (21,4%), a maior parte foi propiciada pelos primeiros 20 cm de solo (8,2%), que representa 38,3% da recuperação total do fertilizante do solo. A camada entre 20 a 40 cm contribuiu com uma RFNS de 23,4% em relação ao total de N do solo, as quais em conjunto (00 a 40 cm) representam uma recuperação de 61,7% do fertilizante nitrogenado no solo.

Tabela 7 – Recuperação do fertilizante nitrogenado do solo (RFNS: %) em razão da profundidade

Profundidade do solo cm	Sistema de cultivo		Média
	Milho solteiro	Milho e braquiária	%
0 a 20	7,7	8,6	8,2a
20 a 40	4,8	5,1	5,0b
40 a 60	1,2	2,4	1,8c
60 a 80	2,4	5,5	4,0bc
80 a 100	0,8	2,0	1,4c
100 a 120	0,8	1,5	1,2c
Total	17,7A	25,1A	21,4

Nota: Médias de quatro repetições. Letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

Resultados semelhantes aos demonstrados nas Tabelas 5, 6 e 7 foram encontrados nos trabalhos de Jokela e Randall (1997), os quais obtiveram para a aplicação de 75 e 100 kg ha⁻¹ N, o equivalente a 25 e 37 kg ha⁻¹ para NSPF e 33 e 37% para RFNS. Na pesquisa em que aplicou 84 e 168 kg ha⁻¹ de N, Kitur et al. (1984) obtiveram 28 % (84 kg.ha⁻¹) e 37% (168 kg.ha⁻¹) para RFNS em plantio convencional e 42 (84 kg.ha⁻¹) e 39% (168 kg.ha⁻¹) em semeadura direta. Gava et al (2006) obtiveram, respectivamente, para plantio convencional e direto, 2.106 e 2.198 kg ha⁻¹ de nitrogênio total em solo com 54% de argila até 50 cm profundidade, 25 e 35 kg ha⁻¹ para o NSPF e 25 e 35% para a RFNS no plantio convencional e direto, respectivamente.

Em linhas gerais, os valores de RFNS no presente trabalho, são ligeiramente inferiores aos encontrados na literatura, pelo fato da eficiência de uso do fertilizante

nitrogenado - EUFN na parte aérea e raízes serem ligeiramente superiores aos encontrados na maioria dos trabalhos.

3.4 Balanço do nitrogênio no sistema solo-planta em cultivo de milho solteiro e consorciado com braquiária

No sistema de cultivo de milho solteiro a planta recuperou $97,2 \text{ kg ha}^{-1}$ dos 150 kg ha^{-1} aplicados, o que representa 64,8%, distribuídos em 39,7% nos grãos, 23,5% nos resíduos da parte aérea (colmo, folhas, inflorescências, brácteas e sabugos) e 1,6% nas raízes coletadas até 60 cm de profundidade (Tabela 8). No sistema de cultivo milho-braquiária, a planta recuperou $90,5 \text{ kg ha}^{-1}$ do fertilizante nitrogenado aplicado, que constitui 60,4%, os quais foram determinados nos grãos (35,9%), nos resíduos da parte aérea (21,3%) e nas raízes coletadas até 60 cm de profundidade (3,2%). A *Brachiaria ruziziensis* recuperou em sua parte aérea apenas $2,1 \text{ kg ha}^{-1}$ o que significa 1,4% do total de nitrogênio aplicado no consórcio. No compartimento solo foi recuperado no milho solteiro entre 00 a 60 cm $20,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ou 13,7% de todo N aplicado; e $24,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ou 16,1% dos 150 kg ha^{-1} aplicados, no consórcio milho-braquiária. Na profundidade entre 60 a 100 cm de solo foram recuperados $4,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (3,3%) e $11,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (7,5%) nos sistemas milho solteiro e milho com braquiária, respectivamente. Por fim, na camada entre 100 a 120 cm foram determinados $1,1 \text{ kg ha}^{-1}$ (0,7%) e $2,3 \text{ kg ha}^{-1}$ (1,5%), nos sistemas milho solteiro e em consórcio com a forrageira, nessa ordem (Tabela 8).

Desta forma foi recuperado no sistema solo-planta 82,4 e 86,9% do nitrogênio aplicado exclusivamente na semeadura no cultivo de milho solteiro e em consórcio com braquiária nessa ordem.

Os resultados de recuperação do N da presente pesquisa são superiores aos obtidos por Timmons e Baker (1992) que foi igual a 69% para aplicação de 200 kg ha^{-1} de N; 63% para a dose de 224 kg ha^{-1} (SANCHEZ; BLACKMER, 1988); 74% para uma média de dois tipos de solo com aplicação de 168 kg ha^{-1} (TOBERT et al., 1992); e 69% para o cultivo de milho em sistema de plantio convencional (GAVA et al., 2006). Por outro lado, os resultados obtidos no presente estudo são semelhantes àqueles verificados por Timmons e Baker (1992) que foi igual a 82% para dose de 125 kg ha^{-1}

de N; Sanchez e Blackmer (1988) determinaram 81% para aplicação de 112 kg ha⁻¹ de N; Gava et al. (2006) verificaram 80% para o cultivo de milho em sistema de plantio direto, enquanto Coelho et al. (1991) estimaram 79% de recuperação para o fornecimento de 60 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 8 – Balanço de ¹⁵N no sistema solo-planta em cultivo de milho solteiro e em consórcio com braquiária até 120 cm de profundidade

Compartimentos	Milho	Milho	Milho	Milho
	solteiro	braquiária	solteiro	braquiária
	kg ha ⁻¹		%	
Grãos	59,5	53,8	39,7	35,9
Resíduos PA	35,3	31,9	23,5	21,3
Raízes - 0 a 60 cm	2,4	4,8	1,6	3,2
Planta inteira	97,2	90,5	64,8	60,4
Braquiária	-	2,1	-	1,4
Solo 00 a 60	20,6	24,2	13,7	16,1
Solo 60 a 100	4,9	11,2	3,3	7,5
Solo 100 a 120: ¹⁵ N lixiviado	1,1	2,3	0,8	1,5
Não recuperado	26,2	19,7	17,6	13,1
Total	150,0	150,0	100,0	100,0

O nitrogênio não recuperado da uréia aplicada no momento da semeadura do milho (150 kg ha⁻¹) foi de 26,2 kg ha⁻¹ que representa 17,6% do total aplicado no milho solteiro e 19,7 kg ha⁻¹ que corresponde a 13,1% da quantidade usada na presente pesquisa em milho com braquiária (Tabela 8). Estes resultados são inferiores aos encontrados nos trabalhos de Timmons e Baker (1992) que foi igual a 31% para uma dose de 200 kg ha⁻¹; Sanchez e Blackmer (1988) de 37% para 224 kg ha⁻¹ de N; Gava et al. (2006) de 31% para o milho em sistema de plantio convencional. A pequena quantidade de N não recuperado na presente pesquisa foram semelhantes aos resultados obtidos por Timmons e Baker (1992) que estimou em 18% para a dose de 125 kg ha⁻¹ de N; Sanchez e Blackmer (1988) de 19% para dose de 112 kg ha⁻¹ de N; e

Gava et al. (2006) que calculou 20% para o tratamento de milho em sistema de plantio direto.

O compartimento de nitrogênio não recuperado engloba os erros metodológicos e analíticos, e outras perdas de N no sistema, como a volatilização da uréia, nitrogênio percolado em profundidade superior a 120 cm, desnitrificação e perdas de N pela parte aérea. Na presente pesquisa as perdas por volatilização da uréia deve ter sido pequena, mesmo se tratando de solo arenoso, isto porque foi realizada a incorporação da uréia, em sulco lateral à linha de semeadura, a 8 cm de profundidade. Entretanto, como o solo é arenoso o potencial de perda por volatilização, ainda que a uréia seja incorporada, é maior em razão da menor capacidade de retenção de amônio, comparado a solo argiloso (KIEHL, 1989). Sangoi et al. (2003) encontraram valores para volatilização da uréia, quando incorporada, da ordem de 1,1% para solo argiloso e 4,9% para solo arenoso, enquanto a perda foi de 54% pela aplicação a lanço na superfície do solo. Do exposto, a incorporação da uréia propicia grande retenção de amônio, o que diminui as perdas por volatilização, mesmo nos solos arenosos, com pouca matéria orgânica e reduzida CTC. Outros resultados de perdas reduzidas de N por volatilização com a incorporação da uréia podem ser encontrada nos trabalhos de Rodrigues e Kiehl (1986), Silva et al. (1995) e Lara Cabezas et al. (2000).

Na presente pesquisa observou nitrogênio proveniente do fertilizante em todas as camadas do solo (0 a 120 cm). Mesmo em solo arenoso com aplicação única de 150 kg ha⁻¹ de N na semeadura foi inexpressiva a quantidade de ¹⁵N determinada abaixo de 100 cm do solo com valores de 1,1 kg ha⁻¹ (milho solteiro) e 2,3 kg ha⁻¹ (milho e braquiária). Essa observação é bastante significativa em se tratando de área sem resíduos em decomposição na superfície e, portanto, com baixo potencial de imobilização de N por competição com microrganismos. Para avaliar a perda por lixiviação foi considerada a profundidade limite de 100 cm, de maneira que o N determinado entre 100 a 120 cm não estão disponíveis à planta e cujos valores são da ordem de 0,8 e 1,5% (1,1 e 2,3 kg ha⁻¹) do total de nitrogênio aplicado na semeadura nos sistemas de cultivo milho solteiro e consorciado com braquiária, nessa ordem.

Uma grande proporção do NSPF concentrou até 80 cm de profundidade com valor igual a 24,2 kg ha⁻¹ (91%) no milho solteiro e 32,4 kg ha⁻¹ (86%) no consórcio

milho e braquiária (Tabela 6). Outros trabalhos realizados em regiões com menor precipitação durante o ciclo do milho, apresentam valores semelhantes para a lixiviação como de Baker e Timmons (1994) que estimaram perdas de 0,83% para a dose de 125 kg ha⁻¹ de N; e Gava (2003) com perdas de 1,0% de todo o N aplicado no milho em sistema plantio direto e convencional. Fernandes et al. (2006) determinaram perdas por lixiviação igual a 15,4 kg ha⁻¹ de nitrogênio total, dos quais somente 0,7 kg ha⁻¹ eram provenientes do fertilizante, o que corresponde a 0,58% da aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N; Coelho et al. (1991) trabalhou com 60 kg ha⁻¹ de N e obtiveram perdas de 84,6 kg ha⁻¹ de N total, embora apenas 2,3 kg ha⁻¹ de N era proveniente do fertilizante, o que representa 3,8% da dose aplicada. Do exposto, a contribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante em camadas mais profundas, superior a 120 cm, pode ser considerada desprezível para a fração de nitrogênio não recuperado, na presente pesquisa.

O nitrogênio não recuperado deve compreender em sua grande maioria, as interações não determinadas como a desnitrificação e as perdas de N pela parte aérea, na forma de NH₃ junto à corrente transpiratória e na senescência foliar (FARQUHAR et al., 1979; HARPER; SHARPE, 1995), além de erros relacionados à metodologia.

As perdas por desnitrificação nos sistemas agrícolas são extremamente variáveis e suas quantificações pouco precisas, as quais variam, em geral, entre 5 a 30% do total de N aplicado. Os maiores valores provém de ensaios como da presente pesquisa, em que são realizados os balanços do ¹⁵N cuja fração do nitrogênio não recuperado, em conjunto com outras perdas, atribui-se a maior parte à desnitrificação, e por outro lado, os menores dados de desnitrificação são atribuídos aos raros trabalhos com determinação direta de N₂ e N₂O da ordem de até 5% para a cultura do milho (CANTARELLA, 2007).

A perda de NH₃ pela parte aérea do milho pode ser parte do compartimento de nitrogênio não recuperado. Este tipo de perda pode ser potencializado em momentos de pico de absorção de N pelas plantas, estresse ou senescência foliar (WETSELAAR; FARQUHAR, 1980). Os dados sobre a dimensão destes valores são escassos na literatura, embora Francis et al. (1993) tenham encontrado perdas de N na parte aérea do milho entre 45 a 71 kg ha⁻¹.

3.5 Conclusões

A adubação com 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura do milho não potencializou as perdas de N no sistema solo-planta, obtendo-se EUFN superior aos resultados publicados sobre o assunto na literatura.

A braquiária consorciada com o milho absorveu 1,4% do ¹⁵N fertilizante aplicado, sem prejuízo para a EUFN pelo milho em consórcio com a forrageira.

O ¹⁵N não recuperado no sistema solo-planta foi de 17,4% no milho solteiro e 13,1% para o milho em consórcio com braquiária.

As perdas por lixiviação foram de 1,1 kg ha⁻¹ no milho solteiro e 2,3 kg ha⁻¹ no consórcio milho com braquiária, do total de 150 kg ha⁻¹ aplicado exclusivamente na semeadura.

A produtividade do milho não foi afetada pelo consórcio com a braquiária, com valores de matéria seca de grãos de 9.800 kg ha⁻¹ em milho solteiro e 9.671 kg ha⁻¹ em milho consorciado.

A EUFN não variou com a presença da braquiária em consórcio, e foi de 64,8 e 60,4% para milho solteiro e consorciado, nesta ordem.

A recuperação do nitrogênio no sistema solo-planta foi da ordem de 82,5% no cultivo de milho solteiro e 86,9% para o milho consorciado com a braquiária.

Referências

- AGNES, E.L.; FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R. Situação atual da integração agricultura-pecuária em Minas Gerais e na zona da mata mineira. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A.A.; AGNES, E.L. (Ed.). **Manejo da integração agricultura-pecuária**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p. 251-268.
- ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T. de; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 449-456, mar. 2006.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 745-754, 1999.

ASMUS, G.L.; CARGNIN, R.A. Reação de culturas de cobertura a *Rotylenchulus reniformis*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p.136, 2005.

ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA. **Região Oeste**. Disponível em: <<http://www.aiba.org.br>>. Acesso em: 30 abr. 2008.

BAKER, J.L.; TIMMONS, D.R. Fertilizer management effects on leaching of labeled nitrogen for no-till corn in field lysimeters. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 23, p. 305-310, 1994.

BRITO, J.A.; FERRAZ, S. Antagonismo de *brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* cv. Guiné a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 11, n. único, p. 270-285, 1987.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 7, p. 375-470.

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

CAPOBIANCO, R.; MELLO, K.V.V.S.; MATEUS, G.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E. Produção do milho em consórcio com a *B. brizantha* em função da adubação nitrogenada: II. Produtividade de grãos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., 2004, Lages. **Resumos...** Lages: FERTBIO, SBCS, 2004. 1 CD-ROM

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

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; DIEKOW, J.; AITA, C.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B.; VENDRUSCULO, E.R.O. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 549-554, jul./set. 2002.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (15N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p.187-193, 1991.

DIAS- ARIEIRA, C.R., FERRAZ, S., FREITAS, L.G.; MIZOBUTSI, E.H. Avaliação de gramíneas forrageiras para controle de *Meloidogyne incógnita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 473-477, 2003.

DREW, M.C. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the root system, and the shoot in barley. **New Phytologist**, Sheffield, v. 75, n. 3, p. 479-490, 1975.

DUETE, R.R.C. **Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando ^{15}N** . 2000. 152 p. Tese (Doutorado em Energia nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

FARQUHAR, G.D.; WETSELAAR, R.; FIRTH, P.M. Ammonia volatilization from senescing leaves of maize. **Science**, New York, v. 203, n. 4386, p.1257-1258, 1979.

FENILLI, T.A.B. **Destino do nitrogênio (^{15}N) do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 100 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A. Internal drainage and nitrate leaching in a corn-black oat-corn succession with two split nitrogen applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 483-492, 2006

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L.; TRIVELIN, P.C.O. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho e utilização do N residual pela sucessão aveia preta-milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1138-1141, jul. 2008.

FRANCIS, D.D.; SCHEPER S, J.S.; VIGIL, M.S. Post-antesis nitrogen loss from corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 659-653, May/June 1993.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; SANTOS, M.V.; AGNES, E.L.; CARDOSO, A.A.; JAKELAITIS, A. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com o milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2005.

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

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; HEINRICHS, R.; SILVA, M.A. Balanço do nitrogênio da uréia (15n) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 477-486, 2006.

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

HARPER, L.H.; SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 4, p. 669-675, 1995.

JOKELA, W.E.; RANDALL, G.W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time rate of application on corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 6, p. 1695- 1703, 1997.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 264 p.

KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, n. 1, p. 75-80, 1989.

KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Fate of 15N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage maize. **Agronomy Journal**, Madison v. 76, n. 2, p. 240-242, 1984.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura - pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 407-441.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 123-130, jan. 2008.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; PÁDUA, R.V. Eficiência e distribuição de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de milho consorciada com *brachiaria ruziziensis*, cultivada no sistema santa fé. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 131-140, 2007.

LARA CABEZAS, W.A.R.; ALVES, B.J.R.; CABALLERO, S.S.U.; SANTANA, D.G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, jul./ago. 2004.

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

LERA, F.L.; CANTARELLA, H.; BOLNHEZI, D. Absorção pelo milho do nitrogênio aplicado antecipado ou em cobertura em sistema de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., 2000, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: SBCS, 2000. 1 CD ROM.

LIANG, B.C.; MACKENZIE, A.F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, Manitoba, v. 74, n. 2, p. 235-240, 1994.

LUCHESI, A.L.; COSTA, A.C.S. da; SOUZA JÚNIOR, I.G. Lixiviação de íons após a aplicação de resíduos orgânicos de uma indústria farmoquímica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 189-199; 2008

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

MATEUS, G.P.; BORGHI, E.; CRUSCIOLI, C.; COSTA, C. Produção de forragem de milho com *B. brizantha* em sistema plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: ABMS, 2004. 1 CD-ROM.

MEIRELLES, N.M.F. **Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1979. 68 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

PILBEAM, C.J.; WARREN, G.P. Use of ^{15}N for fertilizer N recovery and mineralization studies in semi-arid Kenya. **Fertilizer Research**, Amsterdam, v. 42, p. 123-128, 1995.

PORTES, T.A.; CARVALHO, S.I.C.; OLIVEIRA, I.F.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1.349-1.358, 2000.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, jul./ago. 2004.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Ed. Manole, 1987. 188 p.

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

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

SANCHEZ C.A.; BLACKMER, A.M. Recovery of anhydrous ammonia-derived nitrogen-15 during three years of corn production in Iowa. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n.1 p. 102-108, 1988.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillage systems in a soil with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 507-517, 2007.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, jul./ago., 2003.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1427-1433, dez. 2003.

SILVA, A.J. da; LIMA JÚNIOR, M.A.; FERREIRA, N.C.M; FRAGA V. da S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, n. 1, p. 141-144, 1995.

SILVA, E.C.; FERREIRA, S.M.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. Efeito da época e forma de aplicação da adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema de plantio direto no cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. p. 270

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L. Doses e épocas de aplicação e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003 . 1 CD-ROM.

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

SOUZA A.C.; CARVALHO, J.G.; PINHO, R.G.V; CARVALHO, M.L.M. Parcelamento e época de aplicação de nitrogênio e seus efeitos em características agrônômicas do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 321-329, 2001.

SUHET, A.R.; PERES, J.R.R.; VARGAS, M.A.T. Nitrogênio. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo.** Brasília: EMBRAPA, CPAC, 1986. p. 167-202.

TIMMONS, D.R.; BAKER, J.L. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 5, p. 490-496, 1992.

TOBERT, H.A.; MULVANEY, R.M.; HEUVEL, V.; HOEFT, R.G. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a nitrogen-15 tracer study. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 66-70, 1992.

TSUMANUMA, G.M.; FANCELLI, L.A.; BALDO, M.N.; MARCONDES, L.P. Comportamento do milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: ABMS, 2004. 1 CD-ROM

VILLAS BÔAS, R.L. **Alternativas para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L.)**. 1990. 78 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

VILLAS BÔAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; GODOY, L.J.G.; FERNANDES, D.M. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas do milho **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 263-272, 2005.

WALTERS, D.T.; MALZER, G.L. Nitrogen management and nitrification inhibitor effects on nitrogen-15 urea: I yield and fertilizer use efficiency. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 1, p. 115-122, 1990.

WESTERMAN, R.L.; KURTZ, L.T. Priming effect of ¹⁵N labelled fertilizers on soil nitrogen in field experiments. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 37, n. 5, p. 725-727, 1973.

WETSELAAR, R.; FARQUHAR, G.D. Nitrogen losses from tops of plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 33, n. 23, p. 263-302, 1980.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; JADOSKI, S.O. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “el nino” **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 461-468, 2003.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho**: quanto, como e quando aplicar. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 5 p. (Informações Agronômicas, 74).