

Destino do fertilizante nitrogenado no consórcio de milho com braquiária



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
24**

**Destino do fertilizante nitrogenado no
consórcio de milho com braquiária**

*Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida
Silas Maciel Oliveira
Bruno Cocco Lago
Clovis Pierozan Júnior
Paulo Cesar Orcheuze Trivelin
José Laércio Favarin
Leonardo José Motta Campos
Rodrigo Veras da Costa*

**Embrapa Pesca e Aquicultura
Palmas, TO
2019**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pesca e Aquicultura
Avenida NS 10, Loteamento Água Fria,
Palmas, TO Caixa Postal nº 90,
CEP 77008-900, Palmas, TO
Fone: (63) 3229-7800
Fax: (63) 3229-7800
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Eric Arthur Bastos Routledge

Secretário-Executivo
Ernandes Barboza Belchior

Membros
Jefferson Christofoletti, Leonardo Simões de Barros Moreno, Lucas Simon Torati, Luciana Cristine Vasques Villela, Luciana Nakaghi Ganeco, Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida e Rodrigo Veras da Costa.

Supervisão editorial
Embrapa Pesca e Aquicultura

Revisão de texto
Embrapa Pesca e Aquicultura

Normalização bibliográfica
Embrapa Pesca e Aquicultura

Tratamento das ilustrações
Jefferson Christofoletti

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Jefferson Christofoletti

Foto da capa
Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida

1ª edição
Versão eletrônica (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Pesca e Aquicultura

Destino do fertilizante nitrogenado no consórcio de milho com braquiária / autores, Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida... [et al.]. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2019.

35 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2318-1400 ; 24).

1. Fertilizante marcado ¹⁵N. 2. Eficiência da adubação nitrogenada. 3. Integração Lavoura Pecuária. 4. *Zea mays*. 5. *Urochloa* spp. I. Almeida, Rodrigo Estevam Munhoz de. II. Oliveira, Silas Maciel. III. Lago, Bruno Cocco. IV. Pierozan Júnior, Clovis. V. Trivelin, Paulo Cesar Orcheuze. VI. Favarin, José Laércio. VII. Campos, Leonardo José Motta. VIII. Costa Rodrigo Veras da. IX. Embrapa Pesca e Aquicultura. X. Série.

CDD 664.942

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	10
Resultados.....	20
Discussão	27
Conclusões.....	31
Agradecimentos.....	32
Referências	32

Destino do fertilizante nitrogenado no consórcio de milho com braquiária*

Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida¹

Silas Maciel Oliveira²

Bruno Cocco Lago³

Clovis Pierozan Júnior⁴

Paulo Cesar Ocheuze Trivelin⁵

José Laércio Favarin⁶

Leonardo José Motta Campos⁷

Rodrigo Veras da Costa⁸

Resumo – A consorciação de plantas é uma tecnologia importante no aporte de biomassa para cobertura do solo em sistema de plantio direto ou integração lavoura pecuária. Entretanto, existem dúvidas se o nitrogênio (N) do fertilizante absorvido pela braquiária altera ou reduz o aproveitamento pelo milho, e se é necessário aumentar a dose de N. Os objetivos da pesquisa foram: (i) avaliar a quantidade do N do fertilizante que é absorvido pela braquiária em três formas de consorciação; (ii) investigar o caminho do N-fertilizante no sistema solo planta. Os sistemas de consórcio avaliados foram: (i) braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho; (ii) sementes de braquiária no centro das entrelinhas de milho; (iii) distribuição de sementes de braquiária junto ao fertilizante do milho; e controle, com semeadura do milho em monocultivo. Foi utilizado fertilizante marcado com átomos de ¹⁵N para determinar a quantidade do N-fertilizante na braquiária, e sua disseminação no sistema solo-planta. A produção de massa seca de braquiária não foi influenciada

¹ Engenheiro agrônomo, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura

² Engenheiro agrônomo, professor doutor da Universidade Estadual de Maringá, UEM

³ Engenheiro agrônomo, doutor em fitotecnia pela ESALQ/USP

⁴ Engenheiro agrônomo, professor de Engenharia Agronômica do IFPR - Campus Palmas

⁵ Engenheiro agrônomo, professor doutor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP

⁶ Engenheiro agrônomo, professor doutor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP

⁷ Engenheiro agrônomo, pesquisador da Embrapa Soja

⁸ Engenheiro agrônomo, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

pelos sistemas de consórcio. A braquiária não alterou o acúmulo total de N e a produtividade do milho. A braquiária absorveu no máximo 6 kg ha⁻¹ ou 5,5% do N-fertilizante durante o convívio com o milho, e não alterou a distribuição do N-fertilizante no sistema solo-planta, com recuperação de 87% da dose aplicada, em que 40% foi encontrado nas plantas de milho e braquiária, 47% no solo, e 13%, não foram encontrados. Os resultados provam que a braquiária não competiu com o milho pela utilização do fertilizante nitrogenado. Portanto, não há necessidade de alteração na dose de N em lavouras de milho quando consorciado com braquiária.

Termos para indexação: Fertilizante marcado ¹⁵N; Eficiência da adubação nitrogenada; Integração Lavoura pecuária; *Zea mays*; *Urochloa* spp.

N-fertilizer fate in corn and palisadegrass intercropping system

Abstract – Intercropping corn and palisadegrass is an important technology for biomass production to cover the soil under no-tillage system or crop livestock integration system. However, there are doubts about the amounts of nitrogen (N) of the fertilizer absorbed by palisadegrass, and if it is necessary to increase the N rate in this system. This research was carried out with two purposes: (i) quantify the amounts of the N fertilizer that is absorbed by palisadegrass in three forms of intercropping; (ii) To investigate the N-fertilizer fate in the soil-plant system. Intercropping systems consisted of three forms of palisadegrass implantation with corn: (i) broadcast sowing of palisadegrass shortly before corn sowing; (ii) Palisadegrass seeds between corn rows; (iii) palisadegrass seeds with the corn fertilizer, under corn seeds; and a control with corn as monoculture. Fertilizer labeled with ^{15}N atoms was used to determine the amount of N-fertilizer in the palisadegrass, and in the soil-plant system. The dry mass production of palisadegrass was not affected by intercropping systems. Palisadegrass did not alter the N uptake by corn neither corn yield. Palisadegrass uptake at most 6 kg ha^{-1} or 5.5% of N-fertilizer during corn cycle, and did not alter the distribution of N-fertilizer in the soil-plant system, that was recovery 87% of the N-rate, in which 40% was found in corn and palisadegrass, 47% in the soil, and 13%, were not found. The results show that in all three methods of intercropping, palisadegrass did not impair corn for N-fertilizer. Therefore, there is no need to increase the N rate in corn-palisadegrass intercropping system.

Index terms: labeled fertilizer ^{15}N ; Nitrogen use efficiency; Crop livestock integration system; *Zea mays*; *Urochloa* spp.

Introdução

O consórcio entre plantas é uma prática crescente no mundo para o estabelecimento de sistemas de cultivo sustentáveis. No Brasil esta tecnologia permite aproveitar o excedente hídrico do verão, em que se cultivam grãos, para ao mesmo tempo introduzir plantas forrageiras tropicais, com objetivo de manter o solo coberto durante a entressafra, ou para o fornecimento de forragem a animais no conceito do sistema e Integração Lavoura Pecuária (ILP) (Almeida *et al.*, 2017a).

O consórcio de plantas produtoras de grãos com plantas forrageiras permite o acúmulo de biomassa para realização do sistema plantio direto (BALDÉ *et al.*, 2011; BORGHI *et al.*, 2012; CECCON *et al.*, 2013; CRUSCIOL *et al.*, 2013, ALMEIDA *et al.*, 2017b) e o estabelecimento de pastagem após a colheita dos grãos (CRUSCIOL *et al.*, 2012; BORGHI *et al.*, 2013; Almeida *et al.*, 2017b). A inclusão de plantas forrageiras em sistemas agrícolas reduz a perda de solo pela erosão (JOSHI; TAMBE, 2010; MONTENEGRO *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2014), e a ocorrência de plantas daninhas (CONCENÇO *et al.*, 2012; UCHINO *et al.*, 2012; SCOPEL *et al.*, 2013), intensifica a ciclagem de nutrientes (RESTOVICH; ANDRIULO; PORTELA, 2012; FRASER *et al.*, 2013; HASHEMI *et al.*, 2013) e aumenta a eficiência de uso dos recursos naturais como solo, água, luz e nitrogênio (N) (MAO *et al.*, 2012; JANNOURA; JOERGENSEN; BRUNS, 2014).

Apesar dos benefícios proporcionados pelas plantas forrageiras, o potencial produtivo de grãos não pode ser comprometido por elas, pois o principal objetivo do consórcio é a produção de grãos. Assim, o sistema deve ser implantado com técnicas de manejo para que a planta produtora de grãos seja estabelecida como planta dominante, e a planta forrageira como planta subordinada (ZHANG; LI, 2003).

Em trabalhos que avaliaram o consórcio entre espécies produtoras de grãos e forragem, com vantagem competitiva às plantas produtoras de grãos, o potencial produtivo da área não é comprometido pela presença da planta forrageira (Borghini *et al.*, 2012; Uchino *et al.*, 2012; Amossé *et al.*, 2013; Borghini *et al.*, 2013; Crusciol *et al.*, 2013; Almeida *et al.*, 2017ab).

O milho (*Zea mays*) e a braquiária (*Urochloa spp.*) são as espécies cultivadas em consórcio com maior expressão nas áreas agrícolas brasileiras,

impulsionadas pela crescente adoção do sistema de ILP no Brasil. Segundo Almeida (2014) as formas de implantação do consórcio de milho com braquiária com as técnicas de manejo para garantir vantagem competitiva ao milho em relação à braquiária são: (i) semeadura a lanço da braquiária pouco tempo antes da semeadura do milho, com aplicação ou não de herbicidas seletivos ao milho em dose não letal a braquiária para limitar seu crescimento inicial; (ii) semeadura simultânea de braquiária e milho, com distribuição de sementes de braquiária no centro das entrelinhas de milho; (iii) semeadura da braquiária em maior profundidade que o milho, junto com o fertilizante de plantio, (iv) semeadura da braquiária posterior ao milho, junto com o fertilizante de cobertura incorporado nas entrelinhas do milho.

Além da correta forma de implantação do consórcio de milho com braquiária, outros pontos são importantes para garantir vantagem competitiva ao milho, e não ocorrer redução do potencial produtivo devido à competição interespecífica como: (i) População adequada de milho para formação de dossel uniforme para o sombreamento da braquiária; (ii) Controle de pragas, doenças e plantas daninhas para não comprometer o desenvolvimento do milho; (iii) Semeadura em época adequada para evitar ocorrência de deficiência hídrica que compromete o desenvolvimento do milho; (iv) adubação nitrogenada para potencializar o crescimento do milho e assim, dominar a área rapidamente e fazer sombra à braquiária.

Existem alguns estudos que avaliaram o N no consórcio de milho com braquiária que mostraram que a braquiária, quando sombreada pelo milho, não compromete a absorção de N do milho (BARDUCCI *et al.*, 2009; BATISTA *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2017a). Porém não se sabe qual a quantidade do N do fertilizante é absorvido pela braquiária cultivada em consórcio, e se este montante destinado à braquiária altera ou reduz o aproveitamento do N do fertilizante pelo milho, a ponto de ser necessário ajuste na recomendação de dose de N em cultivo consorciado.

Esta pesquisa foi realizada com a finalidade de avaliar a quantidade do N proveniente do fertilizante absorvido pela braquiária cultivada em consórcio com milho, e o impacto da braquiária na distribuição do N-fertilizante no sistema de produção de milho consorciado.

Material e Métodos

Área experimental e práticas culturais

O experimento foi desenvolvido na safra 2012/13 na Fazenda Serrado Chão Quente, no município de Taquarituba-SP, localizada a 23° 35' 23" de latitude sul, 49° 15' 11" de longitude oeste e 654 m de altitude. A área experimental foi cultivada anteriormente com soja na safra 2011/12 e aveia na entressafra para pastejo de animais, no sistema de integração lavoura-pecuária.

O solo da área foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006) com 490 g kg⁻¹ de argila no horizonte A e 590 g kg⁻¹ de argila no horizonte B nítico. O resultado da análise química do solo coletado antes da instalação do experimento foi pH 5,5 (CaCl₂), M.O 40 g dm⁻³ (dicromato/colorimetria) P, K, Ca e Mg (resina) 19 mg dm⁻³, 7,6 mmol_cdm⁻³, 42 mmol_cdm⁻³, 31 mmol_cdm⁻³ respectivamente, H+Al 34 mmol_cdm⁻³ (pH SMP), Al 0 mmol_cdm⁻³ (titulometria 1 mol L⁻¹), CTC 115 mmol_cdm⁻³ e V 70%.

O clima é classificado como Cfa, subtropical com chuvas bem distribuídas e verão quente (KÖPPEN, 1936), e temperatura média anual de 20 °C. Os dados da temperatura média e da precipitação pluvial durante a condução do experimento estão na Figura 1.

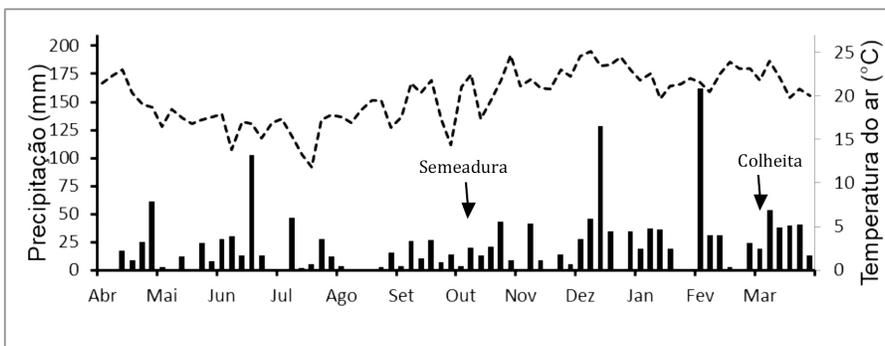


Figura 1. Precipitação pluvial, temperatura média mensal na safra 2012/2013 em Taquarituba-SP. Fonte: Adaptado de (Almeida et al., 2017c). Fonte: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida..

No dia 18 de novembro de 2012 foi semeado o híbrido DKB 390 VT PRO com espaçamento 0,9 m entrelinhas e população de 60.000 plantas por hectare (Figura 2). Na semeadura forneceu-se 152 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 51 kg ha⁻¹ de K₂O. Mais um complemento de 106 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio aplicado a lanço no mesmo dia e após a semeadura do milho.

A braquiária utilizada foi *Urochloa ruziziensis* (ou *Brachiaria ruziziensis*) e foi semeada no mesmo dia do milho, conforme os tratamentos, na dose de 4,5 kg ha⁻¹ de sementes com 86% de valor cultural.

O manejo de plantas daninhas foi feito com uma dessecação com 640 g de i.a por ha de glyphosate antes da semeadura, mais 1760 g ha⁻¹ de atrazina e 72 g ha⁻¹ de mesotrione no perfilhamento da braquiária, quando o milho apresentava quatro folhas expandidas. A dose de mesotrione equivale à metade da recomendada para não eliminar a braquiária e garantir vantagem competitiva ao milho.

A colheita do experimento foi em março de 2013 com coleta das espigas de milho em 5 m das duas linhas centrais da parcela, descartando-se 2,5 m de bordadura de cada extremidade da parcela. As espigas da área de colheita foram retiradas, os grãos foram debulhados e a umidade corrigida para 130 g de água kg⁻¹ de grãos para a determinação da produtividade.



Foto: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida

Figura 2. Instalação do experimento em Taquarituba com semeadura em sistema plantio direto, 18 de novembro de 2012.

Delineamento experimental e tratamentos

Os sistemas de consórcio constituíram em três formas de implantação da braquiária com o milho: (i) semeadura de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho (B. Lanço); (ii) semeadura simultânea de braquiária e milho, com distribuição de sementes de braquiária no centro das entrelinhas de milho (B. Entrelinha); (iii) semeadura simultânea de braquiária e milho, com distribuição de sementes de braquiária junto ao fertilizante (B. + funda); (iv) controle com semeadura do milho em monocultivo (Milho sem B.) (Figuras 3 a 11). O delineamento experimental foi blocos ao acaso com 4 repetições, em que as parcelas foram constituídas por 6 linhas de milho de 10 m de comprimento.



Figura 3. Semeadura de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho (B. Lanço), imagem do dia 22/12/2012.

Foto: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida



Figura 4. Semeadura simultânea de braquiária e milho, com distribuição de sementes de braquiária no centro das entrelinhas de milho (B. Entrelinha), imagem do dia 22/12/2012.

Foto: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida



Figura 5. Semeadura simultânea de braquiária e milho, com distribuição de sementes de braquiária junto ao fertilizante (B. + funda), imagem do dia 22/12/2012.

Foto: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida



Figura 6. Semeadura de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho (B. Lanço), imagem do dia 23/03/2013.

Foto: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida



Figura 7. Semeadura simultânea de braquiária e milho, com distribuição de sementes de braquiária no centro das entrelinhas de milho (B. Entrelinha), imagem do dia 23/03/2013.

Foto: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida



Figura 8. Tratamento controle, milho em monocultivo (Milho sem B.), imagem do dia 23/03/2013.

Foto: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida



Figura 9. Tratamento de semeadura de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho (B. Lanço), imagem do dia 19/04/2013.



Figura 10. : Semeadura simultânea de braquiária e milho, com distribuição de sementes de braquiária no centro das entrelinhas de milho (B. Entrelinha), imagem do dia 19/04/2013.



Figura 11. Tratamento controle, milho em monocultivo (Milho sem B.), imagem do dia 19/04/2013.

Avaliações e metodologia do isótopo estável ^{15}N

No centro das parcelas foram instaladas microparcels para estudo da eficiência da adubação nitrogenada (EAN), com uso de nitrato de amônio enriquecido em 2,65% de átomos ^{15}N (N-amoniaco). As microparcels eram compostas de uma linha de milho (0,9m) por um metro de comprimento. O fertilizante enriquecido foi aplicado a lanço em toda área da microparcels, com o equivalente a 106 kg ha^{-1} de ^{15}N no mesmo dia e após a sementeira do milho.

Para as análises isotópicas, foram coletadas plantas de milho no terço central de cada microparcels no momento da colheita. Foi retirada uma amostra de duas plantas da linha central das microparcels e outra amostra com duas plantas de cada linha adjacente àquela que recebeu o nitrato de amônio ^{15}N . A planta foi separada em parte aérea (PA) e grãos (G), cuja massa seca foi obtida após a desidratação em estufa com circulação de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h. A massa seca da braquiária (B) foi determinada pela mesma metodologia com a massa da parte aérea das plantas contidas em área de $0,9 \text{ m}^2$. O material seco foi cominuído em moinho de facas tipo Willey, e as análises de N total e abundância de átomos ($^{15}\text{N}\%$) foram feitas no laboratório de isótopos estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP).

Nas microparcels também foi coletado o solo em camadas de 0,2 m até a profundidade de 0,6 m, para determinar a recuperação do ^{15}N , análise de N das camadas de solo (N total) e a abundância de átomos das mesmas ($^{15}\text{N}\%$).

A quantidade de N proveniente do fertilizante (NPF) (kg ha^{-1}) na PA, G, B e em cada camada do solo (NPFPA, NPF_G, NPF_B, NPF_{S₀₋₂}, NPF_{S₂₋₄}, NPF_{S₄₋₆}) foram obtidas por meio da eq. (1):

$$\text{NPF} = ({}^{15}\text{N}\% - {}^{15}\text{Nnat}_1 / {}^{15}\text{Nfert} - {}^{15}\text{Nnat}_2) \times \text{Ntot} \quad (1)$$

em que: NPF corresponde ao N proveniente do fertilizante na PA, G, B e em cada camada do solo (kg ha^{-1}); $^{15}\text{N}\%$ consiste na abundância de átomos ^{15}N (%) na PA, G, B e em cada camada do solo; $^{15}\text{Nnat}_1$ à abundância natural de átomos ^{15}N na PA, G, B e em cada camada do solo (amostras controle); $^{15}\text{Nfert}$ a abundância de átomos ^{15}N no fertilizante enriquecido (2,65%);

$^{15}\text{Nnat}_2$ a abundância natural de átomos ^{15}N no fertilizante (0,366%); Ntot (kg ha^{-1}) a quantidade de N total na PA, G, B e em cada camada do solo.

O N proveniente do fertilizante nas plantas de milho (NPFM-kg ha^{-1}) foi obtido pela soma do NPFPA e NPFM. O N proveniente do fertilizante nas plantas de milho e braquiária (NPFMB-kg ha^{-1}) pela soma do NPFM e o NPFMB.

O N proveniente do fertilizante no solo (NPFS-kg ha^{-1}) foi obtido pela somatória do NPFS₀₋₂, NPFS₂₋₄, NPFS₄₋₆.

A recuperação do N na parte aérea do milho (RNPA), nos grãos (RNG), na braquiária (RNB) e em cada camada do solo (RNS₀₋₂; RNS₂₋₄; RNS₄₋₆), foi calculada de acordo com a eq. (2)

$$\text{RN} = (\text{NPF}/\text{DN}) \times 100 \quad (2)$$

em que: RN corresponde a recuperação do N na PA, G, B e em cada camada do solo (% do N aplicado); NPF ao N proveniente do fertilizante na PA, G, B e em cada camada do solo (kg ha^{-1}) eq. (1); DN a dose de N marcada (106 kg ha^{-1}).

A eficiência da adubação nitrogenada nas plantas de milho (EANM-%) foi obtida pela soma da RNPA e RNG, e a mesma eficiência no consórcio de milho com braquiária (EANMB) foi calculada pela soma da RNM e RNB.

A recuperação do N no solo (RNS-%) até 0,6 m de profundidade foi obtida com a soma RNS₀₋₂; RNS₂₋₄; RNS₄₋₆.

A recuperação do N no sistema solo-planta (RNSP) foi obtida pela soma de todos os compartimentos avaliados, eqs. (3 e 4).

$$\text{RNSP}_1 = \text{NPFMB} + \text{NPFS} \quad (3)$$

em que: RNSP₁ corresponde a recuperação do ^{15}N fertilizante no sistema solo-planta (kg ha^{-1}); NPFMB ao N proveniente do fertilizante no consórcio entre milho e braquiária (kg ha^{-1}); NPFS ao N proveniente do fertilizante no solo (kg ha^{-1}).

$$\text{RNSP}_2 = \text{EANMB} + \text{RNS} \quad (4)$$

em que: RNSP_2 corresponde a recuperação do ^{15}N fertilizante no sistema solo planta (%); EANMB a eficiência da adubação nitrogenada no consórcio milho e braquiária (%); RNS à recuperação do N no solo (%).

O N não recuperado (NNR) foi obtido pelas eqs. (5 e 6).

$$\text{NNR}_1 = \text{DN} - \text{RNSP}_1 \quad (5)$$

em que: NNR_1 corresponde ao N não recuperado (kg ha^{-1}); DN a dose de N marcado aplicada (106 kg ha^{-1}); RNSP_1 à recuperação do ^{15}N fertilizante no sistema solo-planta (kg ha^{-1}) eq. 3

$$\text{NNR}_2 = 100 - \text{RNSP}_2 \quad (6)$$

em que: NNR_2 corresponde ao N não recuperado (%); RNSP_2 a recuperação do ^{15}N do fertilizante no sistema solo-planta (%) eq. 4.

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Box Cox), e, posteriormente à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade por meio do software SAS® (SAS INSTITUTE, 2009).

Resultados

Produtividade de milho e produção de massa seca

A produtividade de milho e a massa seca da parte aérea das plantas de milho não foram afetadas pela presença da braquiária, em qualquer forma de implantação do consórcio (Tabela 1). O milho produziu em média 8.773 kg ha⁻¹ de grãos e 8.796 kg ha⁻¹ de massa seca na parte aérea (Figura 12). A braquiária produziu em média 1.939 kg ha⁻¹ de massa seca e acumulou a mesma quantidade em todas as formas de implantação do consórcio (Tabela 1 e Figura 12).

Tabela 1: Análise de variância dos tratamentos[†] B. lanço, B. entre linha, B. + funda, e milho sem braquiária para as variáveis resposta MS Braquiária, Produtividade milho e MS PA milho.

	MS Braquiária	Produtividade milho	MS PA milho
	Pr>F		
Tratamentos [†]	0,7608 ^{ns}	0,4814 ^{ns}	0,7332 ^{ns}
CV %	49,23	13,17	8,99

[†] B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da sementeira do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

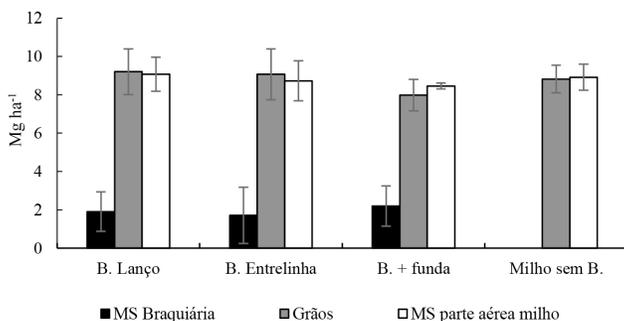


Figura 12. Produção de massa seca (MS) de braquiária, MS da parte aérea (PA) e produtividade de grãos de milho em razão das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária. Fonte: Adaptado de (Almeida *et al.*, 2017c).

Acúmulo e distribuição do N total

O NtotPA, NtotG, NtotM e NtotMB não foram influenciados pela presença da braquiária (Tabela 2), cujos valores foram 66,5 kg ha⁻¹, 139 kg ha⁻¹, 205 kg ha⁻¹ e 229 kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 13). Considerando apenas os tratamentos em consórcio, 86% do NtotMB é oriundo das plantas de milho, deste montante, 59% do N total vieram dos grãos e 27% da PA.

O NtotB foi 34 kg ha⁻¹ na média dos tratamentos (Figura 13), o que representa 14% do NtotMB, sem comprometer o acúmulo de N pelas plantas de milho (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância dos tratamentos[†] B. lanço, B. entre linha, B. + funda, e milho sem braquiária para as variáveis resposta nitrogênio total acumulado na parte aérea de milho (NtotPA), nos grãos de milho (NtotG), na planta de milho (NtotM), na braquiária (NtotB), e nas plantas de milho + braquiária (NtotMB), em razão das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária.

	NtotPA	NtotG	NtotM	NtotB	NtotMB
	Pr>F				
Tratamentos [†]	0,3695 ^{ns}	0,1698 ^{ns}	0,2326 ^{ns}	0,8884 ^{ns}	0,1264 ^{ns}
CV %	20,34	3,22	17,04	54,95	16,39

[†] B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

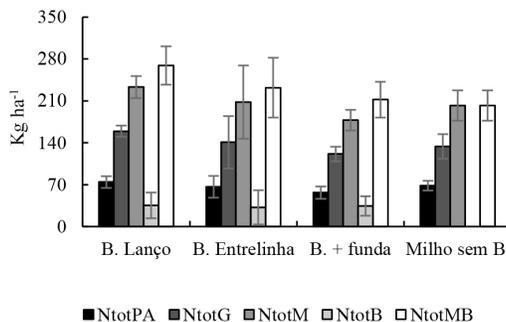


Figura 13. A cúmulo de Nitrogênio na parte aérea, grãos e planta de milho, acúmulo de nitrogênio na braquiária e acúmulo total de nitrogênio em toda biomassa de milho e braquiária. Fonte: Adaptado de (Almeida *et al.*, 2017c).

Eficiência de uso do fertilizante nitrogenado

As formas de implantação da braquiária não influenciaram a quantidade de N proveniente do fertilizante nas partes da planta de milho (NPFPA e NPFGB), como também na planta de milho (NPFM) e no consórcio milho e braquiária (NPFMB) (Tabela 3).

O NPFGB foi em média 26 kg ha⁻¹ (Tabela 3), quantidade equivalente a 18% do N contido nos grãos (NtotG). A outra parte (82%) do N dos grãos veio de outras fontes, principalmente o solo. Para a planta toda de milho o N proveniente do fertilizante foi 40 kg ha⁻¹, que representa 19% de todo N absorvido nas plantas de milho.

O NPFM foi 4,62 kg ha⁻¹ e representa, em média, 2% de todo N absorvido (¹⁴N+¹⁵N) pelo consórcio de milho com braquiária, ou 11% do ¹⁵N-fertilizante recuperado no consórcio de milho e braquiária (Tabela 3). Em relação à braquiária, o NPFM foi 13% de todo N absorvido pela planta forrageira (34,2 kg ha⁻¹, Figura 13).

Tabela 3. Nitrogênio proveniente do fertilizante na parte aérea de milho (NPFPA), nos grãos de milho (NPFGB), na planta de milho (NPFM), na braquiária (NPFM), e nas plantas de milho + braquiária (NPFMB), em razão das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária.

Tratamentos [†]	NPFPA	NPFGB	NPFM	NPFM	NPFMB
	(kg ha ⁻¹)				
B. Lanço	15,3	28,3	43,6	5,89	49,5
B. Entrelinha	13,8	26,7	40,4	3,58	43,1
B. + funda	11,8	22,4	34,1	4,12	38,2
Milho sem B.	15,2	25,6	40,8		40,8
Média	14,0	25,7	39,7	4,62	42,9
Pr>F	0,3439 ^{ns}	0,3600 ^{ns}	0,3614 ^{ns}	0,5440 ^{ns}	0,1541 ^{ns}
CV %	21,03	17,85	18,44	69,69	15,14

[†] B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

As RNPA, RNG, RNB e as eficiências da adubação (EANM e EANMB) também não diferiram conforme as formas de implantação do consórcio

(Tabela 4). A EANM foi de 37%, que representa 40 kg ha⁻¹ da dose aplicada. A EANMB foi de 41%, ou seja, 43 kg ha⁻¹ da dose aplicada foram acumulados nas plantas de milho + braquiária.

Entretanto a RNB foi, em média, 4% que significa que a braquiária absorveu do fertilizante aplicado apenas 4,6 kg ha⁻¹ de N (Figura 14).

Tabela 4. Análise de variância dos tratamentos† B. lanço, B. entre linha, B. + funda, e milho sem braquiária para as variáveis resposta recuperação do nitrogênio do fertilizante na parte aérea de milho (RNPA), nos grãos de milho (RNG), na braquiária (RNB), e eficiência da adubação nitrogenada no milho (EANM) e no consórcio de milho + braquiária (EANMB) nas formas de implantação do consórcio de milho com braquiária.

	RNPA	RNG	EANM	RNB	EANMB
	Pr>F				
Tratamentos†	0,3439 ^{ns}	0,3600 ^{ns}	0,3614 ^{ns}	0,5440 ^{ns}	0,1541 ^{ns}
CV %	21,03	17,85	18,44	69,69	15,14

† B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

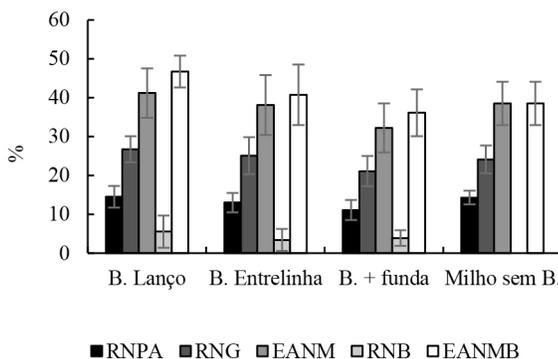


Figura 14. Porcentagem do N-fertilizante encontrado na parte aérea, grãos, planta inteira de milho, na braquiária e em toda biomassa do consórcio de milho com braquiária em razão das formas de implantação do sistema consorciado. Fonte: adaptado de (Almeida *et al.*, 2017c).

Residual do fertilizante nitrogenado no solo

As formas de implantação da braquiária não influenciaram a quantidade de N-fertilizante presente nas camadas de solo até 0,6 m de profundidade (NPFS₀₋₂, NPFS₂₋₄ e NPFS₄₋₆), nem na quantidade total de N-fertilizante no solo (NPFS) (Tabela 5).

Na camada superficial (00-0,2 m) foi encontrado 60% de todo N fertilizante remanescente no solo, 24% na camada de 0,2-0,4 m e de 15% para a camada de 0,4-0,6 m.

Tabela 5. Análise de variância e nitrogênio proveniente do fertilizante no solo na camada de 00-0,2 m (NPFS₀₋₂), na camada de 0,2-0,4 m (NPFS₂₋₄), na camada de 0,4-0,6 m (NPFS₄₋₆), e Nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NPFS), em razão das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária. Fonte: Adaptado de (Almeida *et al.*, 2017c).

	NPFS ₀₋₂	NPFS ₂₋₄	NPFS ₄₋₆	NPFS
Tratamentos [†]	(kg ha ⁻¹)			
B. Lanço	31,0	10,57	7,47	49,1
B. Entrelinha	28,3	12,23	7,97	48,5
B. + funda	30,0	12,10	7,25	49,3
Milho sem B.	30,4	12,71	8,15	51,3
Média	29,9	11,89	7,71	49,5
Pr>F	0,9439 ^{ns}	0,3663 ^{ns}	0,7178 ^{ns}	0,9686 ^{ns}
CV %	22,64	14,22	40,24	17,13

[†] B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

As formas de implantação da braquiária não influenciaram a RNS (Tabela 6). Na média dos tratamentos, de todo o N aplicado (106 kg ha⁻¹), 46 % ou 49 kg ha⁻¹ permaneceram no solo, com 28% do total distribuídos na camada de 0-0,2 m, 11% na camada de 0,2-0,4 m e 7 % na camada de 0,4-0,6 m (Figura 15).

Tabela 6. Análise de variância dos tratamentos† B. lanço, B. entre linha, B. + funda, e milho sem braquiária para as variáveis resposta recuperação do nitrogênio no solo na camada de 00-0,2 m (RNS₀₋₂), na camada de 0,2-0,4 m (RNS₂₋₄), na camada de 0,4-0,6 m (RNS₄₋₆), e recuperação total do nitrogênio proveniente do fertilizante no solo (RNS), em razão das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária.

	RNS ₀₋₂	RNS ₂₋₄	RNS ₄₋₆	RNS
	Pr>F			
Tratamentos†	0,9439 ^{ns}	0,3663 ^{ns}	0,7178 ^{ns}	0,9686 ^{ns}
CV %	22,63	14,22	40,24	17,13

† B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da semeadura do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

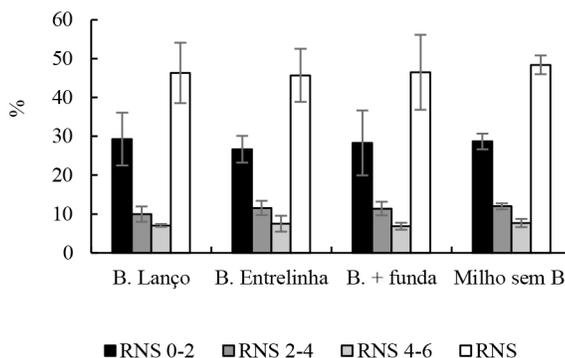


Figura 15. Porcentagem do N-fertilizante encontrado nas camadas de 0,0-0,2; 0,2-0,4; e 0,4-0,6 m do solo, e recuperação total do N-fertilizante no solo em razão das formas de implantação do sistema consorciado. Autor: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida.

Recuperação do fertilizante nitrogenado no sistema solo-planta

A presença da braquiária em qualquer forma de implantação não influenciou a RNSP (Tabelas 7 e 8). Nesta pesquisa foram recuperados, em média, 92 kg ha⁻¹ ou 87% do N aplicado, e o N não recuperado no sistema foi, em média, 14 kg ha⁻¹ ou 13% da dose de N. (Tabela 7e Figura 16).

Tabela 7. Análise de variância e recuperação do nitrogênio em kg ha⁻¹ no sistema solo planta (RNSP) e nitrogênio não recuperado no sistema solo planta (NNR) em razão das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária. Fonte: Adaptado de (Almeida *et al.*, 2017c).

	RNSP ₁	NNR ₁
Tratamentos [†]	kg ha ⁻¹	
B. Lanço	98,6	7,4
B. Entrelinha	91,6	14,4
B. + funda	87,5	18,5
Milho sem B.	92,0	14
Média	92,42	13,6
Pr>F	0,7417 ^{ns}	0,7417 ^{ns}
CV %	15,29	15,29

[†] B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da sementeira do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

Tabela 8. Análise de variância dos tratamentos[†] B. lanço, B. entre linha, B. + funda, e milho sem braquiária para as variáveis resposta recuperação do nitrogênio em porcentagem no sistema solo planta (RNSP) e nitrogênio não recuperado no sistema solo planta (NNR) em razão das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária.

	RNSP ₂	NNR ₂
	Pr>F	
Tratamentos [†]	0,7417 ^{ns}	0,7417 ^{ns}
CV %	15,29	15,29

[†] B. Lanço = aplicação das sementes de braquiária a lanço momentos antes da sementeira do milho; B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho; B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho; Milho sem B. = milho sem braquiária. ^{ns} não significativo.

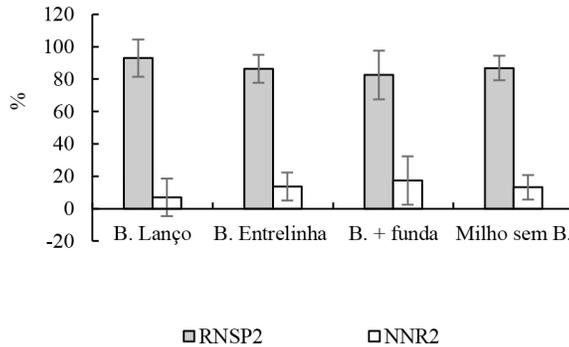


Figura 16. Porcentagem do N-fertilizante recuperado no sistema solo planta e fração do nitrogênio não recuperado no sistema solo planta em razão das formas de implantação do sistema consorciado. Autor: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida.

Discussão

A premissa para o sucesso do sistema de consórcio de plantas, sem prejuízos à planta dominante foi relatada por Zhang e Li (2003). Nesta pesquisa, o cultivo de milho com braquiária não prejudicou a produtividade do milho, tampouco a massa seca de milho, independentemente do modo de implantação (Tabela 1). Trabalhos que relataram o sucesso do consórcio de milho com braquiária, sem prejuízo na produção de grãos com estabelecimento da braquiária são comuns na literatura (BALDÉ *et al.*, 2011; BORGHI *et al.*, 2012, 2013; CRUSCIOL *et al.*, 2012; CECCON *et al.*, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2017a).

As formas de implantação do consórcio de milho com B. Lanço, B. Entrelinha, B. + funda foram eficientes em produzir massa de forragem para o pastejo de animais em sistema de integração lavoura pecuária, ou para cobertura do solo e realização da semeadura direta de culturas anuais na safra seguinte. A quantidade de massa de braquiária produzida na colheita (Figura 12) será aumentada, pois após a colheita do milho, a planta subordinada tem crescimento complementar e se equipara a produção do que seria em seu sistema de cultivo exclusivo (ZHANG; LI, 2003). Portes *et al.* (2000) determinaram 2.487 kg ha⁻¹ de massa seca de *Urochloa brizantha* no dia da colheita do milho, e taxa de crescimento de 92 kg ha⁻¹ dia⁻¹, e conseguiu

produção de 4.055 kg ha⁻¹ de massa seca de braquiária aos 50 dias após a colheita do milho.

O NtotM e o NPFM não foram afetados pela presença da braquiária (Tabelas 2 e 3). O N total da braquiária cultivada como planta subordinada ao milho contribuiu com 14% de todo N acumulado nas plantas de milho mais braquiária (NtotMB). Em relação ao N-fertilizante, a quantidade absorvida pela braquiária (NPFB) foi equivalente a 11% de todo N do fertilizante acumulado nas plantas de milho + braquiária (NPFMB) (Tabela 3), o que representa apenas 2% do NtotMB. Desta forma, uma vez que a braquiária não afetou o crescimento, produção ou nutrição do milho, pode-se dizer que em sistemas consorciados consegue-se maior aproveitamento e ciclagem de N com valores da ordem de 14% em relação ao monocultivo de milho, com apenas 2% deste montante oriundo do fertilizante, ou a um custo de apenas 4,3% do fertilizante nitrogenado aplicado no consórcio (Figura 14).

A EANM média foi de 37,5%, e não foi afetada pela presença da braquiária em qualquer forma de implantação (Tabela 4). Este valor vai ao encontro do que foi obtido em outras pesquisas feitas com o marcador isotópico ¹⁵N (Dourado-Neto *et al.* 2010, DING *et al.*, 2011, GABRIEL e QUEMADA, 2011). A EANMB foi, em média, 41% e não foi influenciada pelas formas de implantação da braquiária. Isso comprova que a braquiária não prejudica a absorção de N pelo milho, e o N aplicado como fertilizante absorvido pela braquiária é insignificante (4%), e não é fator limitante para o desenvolvimento do milho. Portanto, não se indica um aumento na dose do fertilizante nitrogenado para o consórcio de milho com braquiária.

Além disso, uma vez que a braquiária não influencia a nutrição de N do milho, o pouco de N-fertilizante absorvido pela braquiária é oriundo de uma fração que ficaria no solo, sujeito a perdas. Portanto, o N contido na braquiária contribui para maior aproveitamento do N-fertilizante aplicado para o sistema de produção, com benefícios adicionais, uma vez que a permanência da braquiária vegetando na área, após a colheita do milho, continua a absorver nutrientes que poderiam ser perdidos. Também, evita a erosão do solo, aumenta a eficiência de uso da água e da terra, além de viabilizar o sistema plantio direto e gerar renda aos produtores inseridos no sistema de integração lavoura e pecuária (STROCK; PORTER; RUSSELLE, 2004; JOSHI; TAMBE, 2010; RESTOVICH; ANDRIULO; PORTELA, 2012; FRASER

et al., 2013; MONTENEGRO *et al.*, 2013; HASHEMI *et al.*, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2017a).

A presença da braquiária nas formas de implantação testadas não alterou a quantidade de ^{15}N fertilizante em nenhuma camada de solo avaliada, nem o NPFS. Apesar da adição de uma espécie ao sistema com abundante sistema radicular, a braquiária não manifestou efeito significativo na absorção de N-fertilizante do solo. A planta subordinada, por ser sombreada, tem menor captação de radiação fotossinteticamente ativa (MUNZ *et al.*, 2014), e com isso, reduz a transpiração e absorção de N (SUGIURA; TATENO, 2013), e por isso, absorveu quantidade pequena de N, fato que viabiliza a tecnologia do consórcio de milho com braquiária, uma vez que a produtividade de milho não é comprometida pelo baixo potencial competitivo da braquiária, quando manejada corretamente.

A menor absorção de N pela braquiária até a colheita do milho, não compromete a produtividade de grãos e não exige aumento da dose de N, portanto sem aumento de custo de produção do milho, o que é importante para expandir o uso do sistema consorciado. Desta forma, consegue-se estabelecer um sistema sustentável de cultivo, com solo coberto e menor impacto ambiental, e possivelmente maior eficiência no uso do N com o desenvolvimento da braquiária na entre safra. A lixiviação de nitrato é 50% menor em área cultivada com culturas de cobertura durante o inverno (FRASER *et al.*, 2013), podendo ser até 90% menor (RESTOVICH *et al.*, 2012) com a utilização de plantas de cobertura do solo, quando comparado ao solo mantido em pousio após a colheita da cultura principal. Outros tipos de consórcios podem ser eficientes no mesmo sentido, de acordo com Qi *et al.* (2011) o centeio cultivado consorciado como cultura de cobertura, reduz a quantidade de nitrato em água de drenagem, sem reduzir a produtividade de grãos, quando comparado com monocultivo de soja ou milho.

A presença da braquiária não influenciou a RNSP em nenhuma forma de implantação do consórcio de milho com braquiária (Tabela 7). Foram recuperados nesta pesquisa, em média 92 kg ha^{-1} dos 106 kg ha^{-1} de N aplicados, divididos em 43 kg ha^{-1} nas plantas de milho e braquiária, 49 kg ha^{-1} no solo até 0,6 m de profundidade, e os 14 kg ha^{-1} restantes, não foram encontrados (Tabelas 3, 5 e 7). Estas quantidades representam uma recuperação no sistema de 87%, em que 40% do ^{15}N -fertilizante aplicado foi encontrado nas

plantas de milho e braquiária e 47% no solo, e o restante (13%), não foram encontrados (Figuras 14, 15 e 16). Timmons e Baker (1992) relataram RNSP de 58% a 70%, e o NNR foi de 30% a 42%. Gabriel e Quemada (2011) avaliaram a RNSP e encontraram variação de 20% a 38% de perdas (NNR).

O NNR não foi alterado com a presença da braquiária (Tabela 7). O total do N-fertilizante acumulado na braquiária não foi significativo na soma do N encontrado no milho e na braquiária (NPFMB), para os tratamentos que continham braquiária em relação ao cultivo de milho em monocultivo (Tabela 3), como também, não minimizou as perdas de N do sistema (Tabelas 7 e 8), quando comparado ao cultivo solteiro. Os 13% do NNR nesta pesquisa são oriundos de erros metodológicos e analíticos, lixiviação de N, desnitrificação e perdas de N pela parte aérea das plantas após antese.

A lixiviação não foi intensa, uma vez que a maior quantidade do ^{15}N -fertilizante do solo (60%) estava na camada superficial, em razão da imobilização pelos microrganismos. Uma pequena quantidade de N ($7,7 \text{ kg ha}^{-1}$) foi encontrada na profundidade de 0,4-0,6 m (Tabela 5). Dois fatores podem ter contribuído para a permanência do N na camada superficial do solo: (i) o alto teor de matéria orgânica no solo, potencializando a imobilização do N não utilizado pelo milho ou braquiária; e (ii) o fornecimento do N em cobertura, no momento de maior demanda pelo nutriente. Outras pesquisas também relatam baixa lixiviação do N do fertilizante nestas condições; Baker e Timmons (1994) aplicaram ^{15}N -fertilizante e encontraram uma perda por lixiviação entre 2,4% e 5,8% do total aplicado, após 3 cultivos consecutivos. Portela *et al.* (2006) determinaram lixiviação de nitrato em água de drenagem, e concluíram que a perda foi desprezível, menor que 0,01% do ^{15}N -fertilizante aplicado. Jayasundara *et al.* (2007) mostraram que a maior parte do N lixiviado durante uma safra agrícola provém da mineralização da matéria orgânica, enquanto o ^{15}N -fertilizante representa 11% a 16% do total lixiviado ou 3% a 6% do N aplicado. Rimski-Korsakov *et al.* (2012) relataram lixiviação de apenas 0,8% do N aplicado como fertilizante. Fernandes *et al.* (2006) obtiveram lixiviação de 68 kg ha^{-1} a 96 kg ha^{-1} , dos quais apenas 1 kg ha^{-1} a 3 kg ha^{-1} vieram do fertilizante. Ghiberto *et al.* (2011) declararam lixiviação de $1,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N dos quais apenas 54 g ha^{-1} eram do fertilizante.

Portanto a maior parte do NNR desta pesquisa deve-se, provavelmente, as perdas de N por parte aérea e por desnitrificação. Grande quantidade do

^{15}N -fertilizante ficou na camada superficial do solo, local de maior atividade microbiana. Em momentos de encharcamento do solo após as chuvas, estabelece-se condição anaeróbica que favorece o processo de desnitrificação com perda de N (VENTEREA; *et al.*, 2005; HADI *et al.*; 2008; MKHABELA *et al.*, 2008; GRAGEDA-CABRERA *et al.*, 2011). A perda de N pela parte aérea das plantas durante a senescência das folhas (FARQUHAR; WETSELAAR; FIRTH, 1979) também pode ter contribuído com grande parte do NNR. Francis *et al.* (1993) determinaram perdas de N pela parte aérea após a antese do milho da ordem de 45 kg ha⁻¹ a 51 kg ha⁻¹ relativo a 10 a 20% do N aplicado.

Conclusões

A braquiária, independentemente da forma de implantação do consórcio, não prejudica o acúmulo de N nem a produtividade do milho, e também não alterou a dinâmica do N do fertilizante em nenhum compartimento do sistema solo planta.

A recuperação do N-fertilizante pelo milho não é afetado pela braquiária, a qual absorve, no máximo, 6 kg ha⁻¹ ou 5,5% do N-fertilizante, portanto, não há necessidade de alteração da dose de N no sistema de milho consorciado com braquiária.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela Fundação Agrisus-Agricultura Sustentável para instalação e condução desta pesquisa, como também ao Sr. José Luiz Motta de Almeida e toda equipe da Fazenda Serrado Chão Quente de Taquarituba-SP.

Referências

- ALMEIDA, R.E.M. **Fertilização nitrogenada no consórcio milho-braquiária em solos de clima tropical úmido no sistema de integração lavoura-pecuária**. 2014. 149 p. Tese (Doutorado em fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- ALMEIDA, R.E.M.; FAVARIN, J.L.; OTTO, R.; PIEROZAN JUNIOR, C.; OLIVEIRA, S.M.; TEZOTTO, T.; LAGO, B.C. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n.3, p. 352-359, Mar. 2017a.
- ALMEIDA, R.E.M.; GOMES, C.M.; LAGO, B.C.; OLIVEIRA, S.M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; FAVARIN, J.L. Corn yield, forage production and quality affected by methods of intercropping corn and *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 3, p. 170-176, 2017b.
- ALMEIDA, R.E.M.; OLIVEIRA, S.M.; LAGO, B.; PIEROZAN JUNIOR, C.; TRIVELIN, P.C.O.; FAVARIN, J.L. Palisadegrass effects on N fertilizer dynamic in intercropping systems with corn. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 3, p. 1917-1923, 2017c.
- AMOSSÉ, C.; JEUFFROY, M.H.; DAVID, C. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: Effects on performance and resource availability. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 145, p. 78-87, Apr. 2013.
- 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, n. 2, p. 305-310, Mar. 1994.
- BALDÉ, A.B.; SCOPEL, E.; AFFHOLDER, F.; CORBEELS, M.; SILVA, F.A.M.; XAVIER, J.H.V.; WERY, J. Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smallholder conditions in Central Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, n. 2, p. 240-251, Nov. 2011.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; MATEUS, G.P.; NASCENTE, A.S.; MARTINS, P.O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 2, p. 629-636, Jan. 2013.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; MATEUS, G.P.; MARTINS, P.O.; COSTA, C. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. **Crop & Pasture Science**, Melbourne, v. 63, n. 11-12, p. 1106-1113, Dec. 2012.
- CECCON, G.; STAUT, L.A.; SAGRILLO, E.; MACHADO, L.A.Z.; NUNES, D.P.; ALVES, V.B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in Midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 204-212, Jan. 2013.
- CONCENÇO, G.; CECCON, G.; FONSECA, I.C.; LEITE, L.F.; SCHWERZ, F.; CORREIA, I.V.T. Weeds infestation in corn intercropped with forages at different planting densities. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 721-728, Oct. 2012.
- CRUSCIOL, C.A.C.; MATEUS, G.P.; NASCENTE, A.S.; MARTINS, P.O.; BORGHI, E.; PARIZ, C.M. An innovative crop–forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n.4, p. 1085-1095, July 2012.

- CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; MATEUS, G.P.; BORGHI, E.; LELES, E.P.; SANTOS, N.C.B. effect of intercropping on yields of corn with different relative maturities and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 3, p. 599-606, May. 2013.
- DING, H.; ZHANG, Y.; QIN, S.; LI, W.; LI, S. Effects of 15nitrogen-labeled gel-based controlled-release fertilizer on dry-matter accumulation and the nutrient-uptake efficiency of corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 42, n. 13, p.1594-1605, June 2011.
- DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O.O.S.; BASANTA, M.V.; THI CONG, P.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S.M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M.S.A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L.C.; WANG, J.Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 1, p. 139-152, Jan. 2010.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FARQUHAR, G.D.; WETSELAAR, R.; FIRTH, P.M. Ammonia volatilization from senescing leaves of maize. **Science**, Washington, v. 203, n. 4386, p. 1257-1258, Mar. 1979.
- FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A. de. 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, Sept. 2006.
- FRANCIS, D.D.; SCHEPERS, J.S.; VIGIL, M.F. Post-anthesis nitrogen loss from corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 3, p. 659-663, May 1993.
- FRASER, P.M.; CURTIN, D.; HARRISON-KIRK, T.; MEENKEN, E.D.; BEARE, M.H.; TABLEY, F.; GILLESPIE, R.N.; FRANCIS, G.S. Winter nitrate leaching under different tillage and winter cover crop management practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 4, p. 1391-1401, June 2013.
- GABRIEL, J.L.; QUEMADA, M. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertiliser fate. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 34, n. 3, p. 133-143, Apr. 2011.
- GHIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen fertilizer leaching in an Oxisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 86-93, Jan. 2011.
- GRAGEDA-CABRERA, O.A.; VERA-NÚÑEZ, J.A.; AGUILAR-ACUÑA, J.L.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; AGUADO-SANTACRUZ, G.A.; PEÑA-CABRIALES, J.J. Fertilizer dynamics in different tillage and crop rotation systems in a vertisol in central Mexico. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 89, n. 1, p. 125-134, Jan. 2011.
- HADI, A.; JUMADI, O.; INUBUSHI, K.; YAGI, K. Mitigation options for N₂O emission from a corn field in Kalimantan, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.54, n. 4, p. 644-649, Aug. 2008.
- HASHEMI, M.; FARSAF, A.; SADEGHPOUR, A.; WELS, S.A.; HERBERT, S.J. Cover-crop seeding-date influence on fall nitrogen recovery. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 176, n. 1, p. 69-75, Feb. 2013.
- JANNOURA, R.; JOERGENSEN, R.G.; BRUNS, C. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 52, n. B, p. 259-270, Jan. 2014.

JAYASUNDARA, S.; WAGNER-RIDDLE, C.; PARKIN, G.; BERTOLDI, P. von; WARLAND, J.; KAY, B.; VORONEY, P. Minimizing nitrogen losses from a corn–soybean–winter wheat rotation with best management practices. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 79, n. 2, p. 141-159, Oct. 2007.

JOSHI, V.U.; TAMBE, D.T. Estimation of infiltration rate, run-off and sediment yield under simulated rainfall experiments in upper Pravara Basin, India: Effect of slope angle and grass-cover. **Journal of Earth System Science**, Bangalore, v. 119, n. 6, p. 763-773, Dec. 2010.

KÖPPEN, W. Das geographische system der climate. In: KÖPPEN, W; GEIGER, R. (Ed.). *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. Kap. c, p. 1-44.

LI, L.; SUN, J.; ZHANG, F.; LI, X.; RENGEL, Z.; YANG, S. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 71, n. 3, p. 173-181, July 2001.

LIMA, P.L.T.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; QUINTON, J. Soil loss by water erosion in areas under maize and jack beans intercropped and monocultures. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v. 38, n. 2, p. 129-139, Mar. 2014.

MAO, L.; ZHANG, L.; LI, W.; WERF, W. van der; SUN, J.; SPIERTZ, H.; LI, L. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 138, p. 11-20, Oct. 2012.

MKHABELA, M.S.; MADANI, A.; GORDON, R.; BURTON, D.; CUDMORE, D.; ELMI, A.; HART, W. Gaseous and leaching nitrogen losses from no-tillage and conventional tillage systems following surface application of cattle manure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 98, n. 2, p. 187-199, Mar. 2008.

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.P.de; SINGH, V.P.; SANTOS, T.E.M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, Amsterdam, v. 109, p. 139-149, Oct. 2013.

MUNZ, S.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; LIZASO, J.I.; CHEN, Q.; CLAUPEIN, W. Modeling light availability for a subordinate crop within a strip–intercropping system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 155, p. 77-89, Jan. 2014.

PORTELA, S.I.; ANDRIULO, A.E.; SASAL, M.C.; MARY, B.; JOBBÁGY, E.G. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimeters. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 289, n. 1-2, p. 265-277, Nov. 2006.

PORTES, T.A.; CARVALHO, S.I.C.; OLIVEIRA, I.P.; 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, jul. 2000.

QI, Z.; HELMERS, M.J.; CHRISTIANSON, R.D.; PEDERSON, C.H. Nitrate-nitrogen losses through subsurface drainage under various agricultural land covers. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, n. 5, p. 1578-1585, Sept. 2011.

RESTOVICH, S.B.; ANDRIULO, A.E.; PORTELA, S.I. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the humid Pampas: effect on nitrogen and water dynamics. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 128, p. 62-70, Mar. 2012.

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

SAS INSTITUTE. *The SAS system for windows*: v. 9.2. Cary, 2009.

SCOPEL, E.; TRIOMPHE, B.; AFFHOLDER, F.; SILVA, F.A.M. da; CORBEELS, M.; XAVIER, J.H.V.; LAHMAR, R.; RECOUS, S.; BERNOUX, M.; BLANCHART, E.; MENDES, I.C.; DE TOURDONNET, S. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts; a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 33, n. 1, p. 113-130, Jan. 2013.

STROCK, J.S.; PORTER, P.M.; RUSSELLE, M.P. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the Northern U.S. corn belt. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, n. 3, p. 1010-1016, May 2004.

SUGIURA, D.; TATENO, M. Concentrative nitrogen allocation to sun-lit branches and the effects on whole-plant growth under heterogeneous light environments. **Oecologia**, Berlin, v. 172, n. 4, p. 949-960, Aug. 2013.

TIMMONS, D.R.; BAKER, J.L. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 3, p. 490-496, June 1992.

UCHINO, H.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y.; ICHIYAMA, K.; SUGIURA, E.; YUDATE, T.; NAKAMURA, S.; GOPAL, J. Effect of interseeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system 1. Stability of weed suppression over years and main crops of potato, maize and soybean. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 127, p. 9-16, Feb. 2012.

VENTEREA, R.T.; BURGER, M.; SPOKAS, K.A. Nitrogen oxide and methane emissions under varying tillage and fertilizer management. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, n. 5, p.1467-1477, Sept. 2005.

ZHANG, F.; LI, L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 248, n. 1-2, p. 305-312, Jan. 2003.



Pesca e Aquicultura

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL