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

**Fertilização nitrogenada no consórcio milho-braquiária em solos de
clima tropical úmido no sistema de integração lavoura-pecuária**

Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida
Engenheiro Agrônomo

Fertilização nitrogenada no consórcio milho-braquiária em solos de clima tropical úmido no sistema de integração lavoura-pecuária
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Almeida, Rodrigo Estevam Munhoz de

Fertilização nitrogenada no consórcio milho - braquiária em solos de clima tropical úmido no sistema de integração lavoura-pecuária / Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

149 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Eficiência da adubação nitrogenada 2. Nitrogênio marcado ¹⁵N 3. *Brachiaria* spp. 4. *Urochloa* spp. 5. Ureia de liberação controlada 6. Aplicação a lanço e incorporada I. Título

CDD 633.15
A447f

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

A todos ESALQUEANOS que propalam de norte a sul, cumprindo missão vitoriosa.

Ofereço

Ao meu pai José Luiz Motta de Almeida

A minha mãe Cibele Helena Ferrero Munhoz

A minha irmã Tainá Iara Munhoz de Almeida

A minha noiva Caroline Michels Vilela

Dedico

AGRADECIMENTOS

O período em que desenvolvi minha tese de doutorado marca o final de uma importante etapa de minha vida, aquela classificada como “época de estudante”. Classifico esta fase como a mais importante de minha vida uma vez que me tornei um profissional na área de Engenharia agrônômica, conheci pessoas fantásticas e desfrutei dos melhores momentos possíveis. Portanto, acho justo agradecer em primeiro lugar a Luiz Vicente de Souza Queiroz, que idealizou esta Escola, e tornou possível minha jornada até aqui.

Gostaria de registrar toda minha gratidão ao Prof. José Laércio Favarin, meu orientador de todos estes anos de pós-graduação, e relatar que devo a ele grande parte de minha formação profissional, principalmente em relação a minha formação como pesquisador. Com ele aprendi a escrever, ser crítico, objetivo, desenvolver pesquisa da forma correta, com ética, empenho, preocupando-se com a agricultura nacional, mas também em desenvolver ciência e gerar conhecimento inédito para a comunidade científica mundial. Mais importante que tudo isso, encontrei no Favarin um grande amigo, graças a sua habilidade de saber ser orientador nas horas necessárias, mas na maioria do tempo, ser uma pessoa próxima, cativante, que se preocupa com cada um de seus alunos e faz questão de ter um relacionamento muito íntimo e caloroso. Assim foi comigo, e espero poder estar sempre junto, e multiplicar em datas futuras os bons momentos que já tivemos até aqui.

Agradeço o Prof. Paulo César Ocheuze Trivelin, companheiro desde a época do mestrado, apesar de não ter sido seu aluno, fui tratado como tal em diversos momentos. O Prof. Trivelin foi o mentor de várias ideias desta tese, desenvolveu metodologias, facilitou a realização de análises, apresentou críticas construtivas em minha qualificação, inclusive, em alguns momentos, me chamou a atenção por descuidos e desastres ocorridos no laboratório do CENA. Considero-o grande responsável pelo meu desempenho na pós-graduação, e classifico-o como um “padrinho” desta tese.

Não poderia me esquecer, jamais, do Prof. Pablo Vidal-Torrado, meu orientador do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE), que me proporcionou a experiência fantástica de estagiar na disciplina de Gênese, Morfologia e Classificação de Solos, em minha opinião, a melhor disciplina desta escola pela importância do assunto, e principalmente pela forma que é ministrada, pois se trata de uma das únicas disciplinas com atividades de campo e formas variadas de atividades e avaliações. O Prof. Pablo me ensinou ministrar aulas, como preparar material didático, táticas de desenvoltura para falar em público, e principalmente me mostrou a importância de ter conhecimento teórico sólido em várias áreas do conhecimento das ciências agrárias. Conseguimos atingir o principal objetivo do estágio de docência que diz respeito à interação entre aluno e orientador, uma vez que o Prof. Pablo foi um verdadeiro PAI durante o PAE.

Outra experiência inesquecível que tive durante a pós-graduação, foi participar como membro da comissão editorial da Revista Visão Agrícola. Agradeço aos Professores Luiz Gustavo Nussio, Evaristo Marzabal Neves e Nelson Sidnei Massola Júnior, e todos os demais professores que conviveram comigo nesta

atividade. Estes professores permitiram meu desenvolvimento como revisor, e participar de uma comissão de elevado nível intelectual, mas principalmente, pela oportunidade de poder contribuir na confecção de um material didático, tão importante a nossa instituição.

Minha gratidão ao Prof. Godofredo César Vitti, que me acompanha desde o início da graduação e me formou como engenheiro agrônomo e como homem para a vida.

Aos professores que coordenam as disciplinas da pós-graduação que cursei durante o doutorado (Prof. Antonio Carlos Azevedo, Prof. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, Prof. Francisco Antonio Monteiro, Prof. Heitor Cantarella, Prof. José Laércio Favarin, Prof. Luis Reynaldo Ferracciú Alleoni, Prof. Pablo Vidal-Torrado, Prof. Paulo César Ocheuze Trivelin), agradeço pela oportunidade de ter sido aluno, e dizer que todas as disciplinas contribuíram para o meu aperfeiçoamento teórico e foram fundamentais para a discussão dos resultados desta pesquisa.

Agradeço a minha banca de qualificação (Prof. Durval Dourado Neto, Prof. Ricardo Victória Filho e Prof. Paulo César Ocheuze Trivelin) por sugestões pertinentes que foram possíveis incluir no projeto de tese.

Manifesto minha gratidão aos amigos Thiago Augusto Moura (Bateria), Clelber Vieira Prestes e Carlos Roberto Sant Ana Filho por compartilharem das aventuras da saga da fabricação do fertilizante de liberação controlada marcado.

Muito obrigado ao Prof. José Albertino Bendassolli pelo fornecimento da ureia marcada, e todo pessoal do laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP, José A. Bonassi (Pingin), Hugo, Miguel e Ana Paula.

Agradeço muito a galera do GAPE que participaram ativamente do experimento de Uberlândia, e ao Prof. Rafael Otto por sempre ter apoiado e contribuído em meus projetos de pesquisa. Agradeço também a Letícia (Eva) por me ajudar nas análises, e ao Baiano, Eduardo e Edson.

Manifesto minha gratidão ao GEA sempre presentes nos mutirões para serviços complicados (Muambero, Caxa Preta, Piquet, Tropa, Isterkda, Jango, Goleta, Dose, Zacarias, Tucunaré, Grining, Tamar, Orgasmo, Paniket, Kotoko, Virakara e outros).

Ressalto meu carinho e admiração pela Luciane Aparecida Lopes Toledo, que como ninguém organiza o PPG-fitotecnia, sempre com muito entusiasmo, simpatia e dedicação.

Agradeço à fazenda Serrado Chão Quente de Taquarituba, meu pai José Luiz Motta de Almeida, minha mãe Cibele Helena Ferrero Munhoz, João Luiz de Almeida, Marcos, Cristina, Leandro e Thalia, Adão, Carlito e Nenê.

Muito Obrigado ao pessoal do grupo Eldorado de Uberlândia em nome do Leandro, Ernesto, Carlos e Nayson Moacir dos Santos.

Muito obrigado a outros que participaram de serviços aleatórios (Borrado, Niubi, Orrameu, Âxieta, Brasil-1, Pitomba, Subako).

Agradeço o Dr. José Carlos Polidoro por disponibilizar o laboratório da EMBRAPA Solos, onde foi feita a granulação da ureia marcada, e também a Ioná, que na época era estagiária e ajudou no processo.

Ao Sr Cristóvam da empresa Agroplanta responsável pelo revestimento da ureia com polímero, meu muito obrigado.

Agradeço a Picolina, Cupim, Lexotã, Babado, K-pitinga, Cervicin, Última, Pirigueti, Ducrimi, Torra-k, Maomé, Sida, Cumpaño, Marrone, Bobo da, Liri-k Fréxi, Troca-troca, Curtiço, Mamãe, Nissim, Michel e Rafael, estagiários que sempre muito dispostos, entraram em muitas roubadas.

Muito obrigado a Eliana Maria Garcia, que com toda sua simpatia e atenção me ajudou a colocar esta tese nas normas.

Agradeço Caroline Michels Vilela, minha noiva por me ajudar a fazer a revisão final, e suportar toda a correria proporcionada pela pós-graduação.

Pela amizade eterna, agradeço por toda uma vida à República Copacabana, pela “força e a tradição da amizade esalqueana”.

Agradeço a professora Sônia Piedade por me ensinar e ajudar nas análises estatísticas.

Serei eternamente grato a CAPES pela bolsa de estudo.

Muito obrigado a minha tia Eliana, que me recebeu em Botucatu durante esta empreitada de fazer outra graduação junto com o doutorado.

Agradeço demais aos colegas de pós-graduação que conviveram dia a dia comigo. Sauípe meu grande amigo, incentivador e sempre de prontidão para ajudar, Gota, Ana Paula Neto, Adriene, Leva Prego, Dipé e Rafaela, pessoas que participaram ativamente de todos os momentos desta tese.

E um agradecimento especial à tropa de elite do plantio direto K-skatinha, Lasko, Bóia, Ganta, que estiveram comigo em quase todas as etapas deste projeto, pra vocês, eu tiro o chapéu.

E por fim agradeço aos professores Jairo Antônio Mazza, Carlos Alexandre Costa Crusciol, Rafael Otto e Paulo César Ocheuze Trivelin que estiveram na banca examinadora e contribuíram com críticas pertinentes e sacramentaram a obtenção do meu título de doutor.

E, muito obrigado a você que conviveu comigo e ajudou nesta tese, e que está procurando seu nome e ainda não achou (você mesmo).

EPÍGRAFE

"Eia, pois, esalqueanos sem guerra!
Co ' a bandeira da Escola na mão,
Ensinai que plantar nesta terra
É lutar pela grande Nação!"

Salvador de Toledo Piza Júnior

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	15
1INTRODUÇÃO.....	17
Referências.....	20
2 RECUPERAÇÃO DO N DO FERTILIZANTE PELO MILHO E BRAQUIÁRIA NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA.....	25
Resumo.....	25
Abstract.....	25
2.1 Introdução.....	26
2.2 Material e Métodos.....	32
2.3 Resultados.....	52
2.4 Discussão.....	60
2.5 Conclusões.....	69
Referências.....	70
3 EFICIÊNCIA DA UREIA RECOBERTA COM POLÍMERO PARA LIBERAÇÃO CONTROLADA NO CONSÓRCIO DE MILHO COM BRAQUIÁRIA.	77
Resumo.....	77
Abstract.....	77
3.1 Introdução.....	78
3.2 Material e Métodos.....	84
3.3 Resultados.....	103
3.4 Discussão.....	125
3.5 Conclusões.....	137
Referências.....	137
Anexo.....	144
APÊNDICE.....	145

RESUMO

Fertilização nitrogenada no consórcio milho - braquiária em solos de clima tropical úmido no sistema de integração lavoura-pecuária

O sistema integração lavoura pecuária (ILP) atende muitas diretrizes para estabelecer um manejo sustentável de produção agropecuária. Consiste em integrar na mesma área, a produção agrícola e pecuária de forma que haja o cultivo de grãos e estabeleça uma pastagem para a criação de animais. O consórcio de milho com braquiária é uma tecnologia utilizada para se atingir os objetivos da ILP. Trata-se de técnica de cultivo de milho junto com a braquiária sem prejuízo ao milho, e que a braquiária possa se estabelecer na área após a colheita do milho. A eficiência da adubação nitrogenada (EAN) na cultura do milho é discutida na literatura em trabalhos que utilizaram fertilizantes marcados com ^{15}N . Os dados são variados pelo motivo do nitrogênio ter dinâmica complexa no sistema produtivo. Trabalhos que avaliaram a EAN no consórcio de milho com braquiária são escassos na literatura internacional, e não se sabe quanto do fertilizante nitrogenado aplicado é absorvido pela planta forrageira, e se é necessário um aumento da dose para não ocorrer falta de nitrogênio neste sistema de produção. Esta tese foi realizada com os seguintes objetivos (i) avaliar a influência da braquiária no aproveitamento do fertilizante nitrogenado, em razão das formas de implantação do consórcio milho - braquiária utilizadas no Brasil, (ii) avaliar a eficiência do N proveniente de fertilizante de liberação gradual, (iii) verificar a possibilidade da aplicação a lanço de ureia revestida. A primeira pesquisa foi desenvolvida nas cidades de São Desidério-BA e Piracicaba-SP, e foi comprovado que a presença da braquiária não afetou a produtividade de milho nem a recuperação do ^{15}N -fertilizante. As formas recomendadas para implantação do consórcio de milho com braquiária são: (i) braquiária semeada a lanço antes da semeadura do milho; (ii) braquiária no centro das entrelinhas de milho; (iii) braquiária junto com o fertilizante de semeadura do milho, (iv) braquiária junto com o fertilizante de cobertura incorporado nas entrelinhas. Não é necessário aumentar a dose do fertilizante nitrogenado em sistema de milho consorciado com braquiária, uma vez que a braquiária absorve no máximo 4,3 kg ha^{-1} do N-fertilizante. A segunda pesquisa foi realizada nas cidades de Taquarituba-SP e Uberlândia-MG, e demonstrou que a produtividade de milho e o acúmulo de N não variam com o uso de ureia de liberação controlada aplicadas a lanço e incorporada em relação à ureia comum. As ureias de liberação controlada não promovem maior recuperação do ^{15}N -fertilizante pelo milho e pela braquiária em relação à ureia comum, nem a produção de biomassa da braquiária. O N do fertilizante absorvido pela braquiária consorciada com milho é menos de 1% de todo N acumulado no sistema, e no máximo 2% do N-fertilizante aplicado. As ureias de liberação controlada não viabilizam a aplicação a lanço, e dependem das mesmas condições climáticas que a ureia comum para obterem bom desempenho.

Palavras-chave: Eficiência da adubação nitrogenada; Nitrogênio marcado ^{15}N ; *Brachiaria* spp.; *Urochloa* spp.; Ureia de liberação controlada; Aplicação a lanço e incorporada

ABSTRACT

Nitrogen fertilization in intercropping corn and palisadegrass at weathered soils in crop–livestock integration system

Crop-livestock integration system (CLI) attends many guidelines for establishing a sustainable agricultural production. CLI consists in integrating agricultural and livestock production in the same area, in order to establish a pasture for grazing animals after a grain production. Intercropping corn and palisadegrass is a technology used to obtain CLI objectives. In this technique the palisadegrass is cropped together with corn without affecting corn yield, and after harvest the palisadegrass grows in the area in order to form a pasture. Studies that evaluated nitrogen use efficiency (NUE) in maize in crop systems with labeled ^{15}N -fertilizer shows varied data. This is due to nitrogen's complex dynamics in the production system. However, studies that evaluated NUE in corn intercropped with palisadegrass are scarce in the literature, and it is unknown how much of nitrogen fertilizer applied is uptake by the palisadegrass, and if an increase in nitrogen rate is necessary to avoid lack of nitrogen in production system. The aims of this thesis was to evaluate: (i) the influence of palisadegrass in the use of nitrogen fertilizer, according to forms of implantation of palisade grass used in Brazil, (ii) the efficiency of N from gradual release fertilizer, (iii) the viability of broadcast application of coated urea on intercropping system. The first study was conducted in the sites of Sao Desidério-BA and Piracicaba-SP, and it demonstrated that the presence of palisadegrass did not affect corn yield neither ^{15}N -fertilizer recovery. Intercropping system can be established by the followings forms: (i) palisadegrass broadcasted before maize sown, (ii) placed between the rows of maize, (iii) palisadegrass applied together with corn fertilizer, (iv) with topdressing fertilizer in furrows. It is not necessary increase N rate in the intercropping system because palisadegrass uptakes at most of 4.3 kg ha^{-1} of N-fertilizer. The second research was conducted in two sites, Taquarituba-SP and Uberlândia-MG, and demonstrated that the use of coated urea did not differ in corn yield and N uptake in relation to the common urea, either when it was incorporated or broadcast applied. The coated urea neither promotes better recovery of the ^{15}N -fertilizer by corn and braquiária in relation to the common urea, nor increases the palisadegrass biomass production. Nitrogen fertilizer uptake by palisadegrass represents less than 1% of total N uptake in the intercropping system, and a maximum of 2% of N-fertilizer applied. The slow release urea does not enable the broadcast placement, and its efficiency depends upon the same climatic conditions of the common urea.

Keywords: Nitrogen use efficiency; ^{15}N - labeled nitrogen; *Brachiaria* spp.; *Urochloa* spp.; Slow release fertilizer; Broadcast and in furrow placement

1 INTRODUÇÃO

O avanço da agropecuária brasileira e mundial fomenta o uso de tecnologias modernas em busca de maiores produtividades e lucratividade no agronegócio. Concomitante a este avanço aumentaram as exigências do consumidor nacional e internacional na qualidade da produção no contexto ambiental, condições de trabalho da mão de obra, bem estar animal, manejo de defensivos agrícolas e medicamentos e ainda a qualidade nutracêutica dos alimentos.

A produção sustentável de alimentos envolve uma série de fatores que devem ser priorizados como: (i) manejo ambiental condizente com a legislação local, com manutenção das áreas de preservação próximas a cursos de água e reservas que preservem a fauna e flora nativa da região; (ii) escolha de sistemas de produção conservacionistas que promovam qualidade física, química e biológica do solo, com redução de emissões de carbono na atmosfera e contenção da erosão e degradação do solo; (iii) programa de nutrição de plantas com uso eficiente de fertilizantes e obtenção de produtividade com máximo retorno econômico (iv) manejo integrado de controle de plantas daninhas, pragas e doenças (v) uso correto da biotecnologia em situações em que os benefícios da tecnologia de híbridos ou cultivares transgênicos são necessários; (vi) qualidade de trabalho da mão de obra (nutrição, saúde, segurança, lazer e descanso) e (vii) programa de criação visando o bem estar dos animais domésticos.

O sistema integração lavoura pecuária (ILP) atende muitas diretrizes para estabelecer o manejo sustentável de produção agropecuária. Consiste em integrar na mesma área a produção agrícola e pecuária. Pode ser adotado pela rotação das atividades no tempo, com cultivo da área por alguns anos e, posteriormente, estabelecer uma pastagem por outro período de tempo. Outra forma é realizar as duas atividades em um mesmo ano, com semeadura de culturas anuais e plantas forrageiras (em consórcio ou em faixas), ou implantar a planta forrageira após a colheita dos grãos. Neste caso, a área é destinada ao pastejo de animais na entressafra e, também, a fim de acumular resíduos vegetais para a semeadura direta na próxima safra.

Em ambas as formas, a ILP potencializa as vantagens da agricultura e da pecuária como: (i) correção da fertilidade do solo em teores de P, Ca, Mg, K e micronutrientes que proporcionem altas produtividades; (ii) ciclagem de nutrientes;

(iii) estabilidade física do solo pelo menor revolvimento e cultivo de plantas com vigoroso sistema radicular; (iv) maior biodiversidade de organismos do solo; (v) aumento da produtividade de grãos, fibras, carne, leite ou lã, (vi) diversificação de renda ao produtor rural e (vii) uso eficiente da terra com maior produção de biomassa por unidade de área. Contribui também para atenuar as desvantagens da agricultura e pecuária: (i) erosão do solo; (ii) infestação de pragas, doenças e plantas daninhas; (iii) desestruturação do solo, (iv) resistência biótica a defensivos agrícolas; (v) emissão de carbono na atmosfera e (vi) degradação de pastagens.

Os benefícios da integração lavoura pecuária ou da consorciação de plantas são amplamente difundidos no mundo (JELLUM; KUO, 1997; ZEMENCHIK et al., 2000; ZHOU et al., 2000; LI et al., 2001; DERKSEN et al., 2002; ENTZ et al., 2002; ZANG; LI, 2003; ACOSTA-MARTÍNEZ; ZOBECK; ALLEN, 2004; GARCÍA-PRÉCHAC et al., 2004; ALLEN et al., 2007; FRANZLUEBBERS, 2007; SULC; TRACY, 2007; BARIBUTSA et al., 2008; TRACY; ZHANG, 2008; BEDOUSSAC; JUSTES, 2010a, 2010b; OCHSNER et al., 2010; KOSINSKI et al., 2011; LITHOURGIDIS et al., 2011; OELBERMANN; ECHARTE, 2011; ZHANG; YANG; DONG, 2011; FISHER; TOZER; ABRECHT, 2012; MAO et al., 2012; PELZER et al., 2012; WIGGANS et al., 2012; BELL; MOORE; KIRKEGAARD, 2013; QIN et al., 2013), e também no Brasil (GARCIA et al., 2008; CARVALHO et al., 2010, 2011; BALDÉ et al., 2011; BORGHI et al., 2012, 2013; COSTA et al., 2012; CRUSCIOL et al., 2012; CECCON et al., 2013).

O consórcio de milho com braquiária (*Urochloa* spp) é uma tecnologia muito utilizada no sistema de integração lavoura e pecuária, para implantação de pastagens ou para produção de forragem na entressafra e obtenção de resíduos para a semeadura direta na safra seguinte. Trata-se de técnica de manejo onde se cultiva milho junto com a braquiária sem prejuízo a produtividade do milho, e que a braquiária possa se estabelecer na área após a colheita do milho.

Para viabilizar este sistema deve-se garantir vantagem competitiva ao milho, e manter a espécie de planta forrageira sombreada durante o ciclo de produção do cereal. Segundo Zhang e Li (2003) as interações de competição e sinergismo entre plantas consorciadas são simultâneas, para o sucesso do sistema as interações interespecíficas devem promover o crescimento, absorção de nutrientes e produção de grãos da planta dominante, e reduzir estes parâmetros para a planta subordinada no período de coexistência. Após a colheita da planta

principal, a planta secundária apresenta recuperação complementar e atinge situação semelhante ao seu cultivo exclusivo.

Para garantir vantagem competitiva ao milho em relação à braquiária, deve-se: (i) escolher uma forma adequada de implantação da planta subordinada; (ii) ter população de plantas adequada de milho para formação de dossel uniforme e fazer sombra à braquiária; (iii) controlar pragas iniciais que reduzem a população da cultura, e as pragas desfolhadoras pois seus danos permitem passagem de luz para a planta subordinada; (iv) escolher época adequada de semeadura para evitar riscos de deficiência hídrica para não prejudicar o crescimento inicial da planta dominante; (v) corrigir a fertilidade do solo para não limitar o desenvolvimento das plantas de milho e (vi) fazer a adubação nitrogenada em época e quantidade que potencialize o crescimento do milho para fazer sombra à braquiária. Kurtz, Melsted e Bray (1952) demonstraram a importância da disponibilidade de água e nitrogênio para reduzir a competição entre plantas consorciadas. Lima et al. (2011) relatam as fases críticas de deficiência hídrica em um sistema de consorciação de plantas. Munz et al. (2014) estudaram consórcio de milho e feijão em faixas, e aferiram menor radiação fotossinteticamente ativa nas linhas de feijão mais próximas ao milho, fator fundamental para a supressão de espécies consorciadas e preservação da produtividade da planta principal.

A braquiária cultivada de forma sombreada pelo milho tem seus parâmetros fisiológicos alterados com prejuízos em seu desenvolvimento quando comparado com o seu cultivo exclusivo. Araujo et al. (2011) compararam o crescimento de *Urochloa brizantha* consorciada com milho e em cultivo exclusivo, e demonstraram que a braquiária sombreada tem menor perfilhamento (725 e 235 perfilhos m⁻² para braquiária em cultivo exclusivo e consorciado respectivamente, aos 80 dias após emergência), crescimento estiolado evidenciado pela maior altura (59,9 e 75,4 cm para braquiária em cultivo exclusivo e consorciado respectivamente, aos 80 dias após emergência) e menor massa seca (3.512 e 1.063 kg ha⁻¹ determinado ao 83 dias e 5.722 e 1.181 kg ha⁻¹ aos 150 dias após emergência, para braquiária em cultivo exclusivo e consorciado respectivamente). Baldé et al. (2011) verificaram crescimento de *Urochloa ruziziensis* 30% e 46% menor quando esta foi cultivada em sistema de consórcio, em relação ao cultivo solteiro, em dois anos de avaliação. Portes et al. (2000) mostraram comportamento semelhante nos componentes de produção da braquiária quando sombreada pelo milho e concluíram

que é um sistema eficiente para formação de pastagens, pois após 70 dias da colheita do milho o rebrote da braquiária promove estabelecimento semelhante ao da braquiária cultivada de forma exclusiva.

O consórcio de milho com braquiária, com uso de técnicas de manejo que garantam o sobreamento da braquiária caracterizado pelo crescimento estiolado e menor produção de massa, não compromete a produção do milho. Borghi et al. (2013), não observaram diferenças de produtividade de grãos de milho, concentração de nutrientes nas folhas, altura de plantas, altura de inserção de espigas, número de espigas por planta, diâmetro de colmo, número de grãos por espiga e massa de 100 grãos quando compararam o cultivo de milho exclusivo com o sistema de consórcio com *Urochloa brizantha*, em duas formas de implantação. Baldé et al. (2011) concluíram que o consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* semeada logo após a emergência do milho produz grande quantidade de biomassa sem prejudicar a produção de grãos, e quanto mais cedo a implantação da planta forrageira, maior o uso eficiente dos recursos naturais (água e nitrogênio). Borghi et al. (2012) comparam o desempenho do milho consorciado com *Urochloa brizantha* em dois espaçamentos (0,45 e 0,90 m) e não observaram diferença na produtividade de milho. Costa et al. (2012) relataram que não há diferença na produção de massa seca nem da qualidade da silagem quando compararam cultivo de milho exclusivo com o consórcio de milho com *Urochloa brizantha*. Crusciol et al. (2013) demonstraram que o consórcio de milho com *Urochloa brizantha* não gera redução de produtividade quando se utiliza híbridos de milho precoce (até 132 dias de ciclo). Ceccon et al. (2013) observaram mesma produtividade de grãos e massa seca da planta de milho quando compararam milho em cultivo solteiro e consorciado com *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*, mas a produção de massa seca total (milho + braquiária), foi maior nos sistemas consorciados com garantia de produção de massa para cobertura do solo e realização da semeadura direta na safra seguinte.

Referências

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; ZOBECK, T.M.; ALLEN, V. Soil microbial, chemical and physical properties in continuous cotton and integrated crop–livestock systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 6, p. 1875-1884, Nov. 2004.

ALLEN, V.G.; BAKER, M.T.; SEGARRA, E.; BROWN, C.P. Integrated irrigated crop–livestock systems in dry climates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 346-360, Mar. 2007.

ARAUJO, L.C.; SANTOS, P.M.; MENDONÇA, F.C.; LIMA, L.C.B. Development of maize and palisadegrass plants cultivated in intercrop under water deficit. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 7, p. 1397-1404, July 2011.

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.

BARIBUTSA, D.N.; FOSTER, E.F.; THELEN, K.D.; KRAVCHENKO, A.N.; MUTCH, D.R.; NGOUAJIO, M. Corn and cover crop response to corn density in an interseeding system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 4, p. 981-987, July 2008.

BEDOUSSAC, L.; JUSTES, E. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 330, n. 1/2, p. 37-54, May. 2010a.

_____. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 330, n. 1-2, p. 19-35, May. 2010b.

BELL, L.W.; MOORE, A.D.; KIRKEGAARD, J.A. Evolution in crop–livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, 2013. In press

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.

CARVALHO, A.M.; SOUZA, L.L.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P.C.A.C.; VIVALDI, L.J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, Oct. 2011.

CARVALHO, P.C.F.; ANGUINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E.D.; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; SILVA, J.L.S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, n. 2, p. 259-273, Nov. 2010.

CECCON, G.; STAUT, L.A.; SAGRILO, 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, MG, v. 37, n. 1, p. 204-212, Jan. 2013.

COSTA, P.M.; VILLELA, S.D.J.; LEONEL, F.P.; ARAÚJO, S.A.C.; ARAÚJO, K.G.; RUAS, J.R.M.; COELHO, F.S.; ANDRADE, V.R. Intercropping of corn, brachiaria grass and leguminous plants: productivity, quality and composition of silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 2144-2149, 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.

DERKSEN, D.A.; ANDERSON, R.L.; BLACKSHAW, R.E.; MAXWELL, B. Weed dynamics and management strategies for cropping systems in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 2, p. 174-185, Mar. 2002.

ENTZ, M.H.; BARON, V.S.; CARR, P.M.; MEYER, D.W.; SMITH, S.R.; McCAUGHEY, W.P. Potential of forages to diversify cropping systems in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 2, p. 240-250, Mar.2002.

FISHER, J.; TOZER, P.; ABRECHT, D. Livestock in no-till cropping systems – a story of trade-offs. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 52, n. 4, p. 197-214, Mar. 2012.

FRANZLUEBBERS, A.J. Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 361-372, Mar. 2007.

GARCIA, R.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 28, n. 4, p. 579-585, May 2008.

GARCÍA-PRÉCHAC, F.; ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J.A. Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. **Soil & Tillage research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 1-13, May. 2004.

JELLUM, E.J.; KUO, S. Nitrogen requirements of corn (*Zea mays* L.) as affected by monocropping and intercropping with Alfalfa (*Medicago sativa*). **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 47, n. 2, p. 149-156, Jan. 1997.

KOSINSKI, S.M.; KING, J.R.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K.; SPANER, D. Barley and triticale underseeded with a kura clover living mulch: effects on weed pressure, disease incidence, silage yield, and forage quality. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 91, n. 4, p. 677-687, July 2011.

KURTZ, T.; MELSTED, S.W.; BRAY, R.H. The importance of nitrogen and water in reducing competition between intercrops and corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p.13-17, Jan. 1952.

LI, L.; SUN, J.; ZHANG, F.; LI, X.; YANG, S.; RENGEL, Z. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 123-137, June 2001.

LIMA, N.R.C.B.; SANTOS, P.M.; MENDONÇA, F.C.; ARAÚJO, L.C.de. Critical periods of sorghum and palisadegrass in intercropped cultivation for climatic risk zoning. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 7, p. 1452-1457, July 2011.

LITHOURGIDIS, A.S.; VLACHOSTERGIOS, D.N.; DORDAS, C.A.; DAMALAS, C.A. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 34, n. 4, p. 287-294, May 2011.

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.

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.

OCHSNER, T.E.; ALBRECHT, K.A.; SCHUMACHER, T.W.; BAKER, J.M.; BERKEVICH, T.W. Water balance and nitrate leaching under corn in kura clover living mulch. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 4, p. 1169-1178, May 2010.

OELBERMANN, M.; ECHARTE, L. Evaluating soil carbon and nitrogen dynamics in recently established maize-soyabean inter-cropping systems. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 35-41, Feb. 2011.

PELZER, E.; BAZOT, M.; MAKOWSKI, D.; CORRE-HELLOU, G.; NAUDIN, C.; RIFAI, M.A.; BARANGER, E.; BEDOUSSAC, L.; BIARNÈS, V.; BOUCHENY, P.; CARROUÉE, B.; DORVILLEZ, D.; FOISSY, D.; GAILLARD, B.; GUICHARD, L.; MANSARD, M.C.; OMON, B.; PRIEUR, L.; YVERGNIAUX, M.; JUSTES, E.; JEUFFROY, M.H. Pea–wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 40, p. 39-53, July 2012.

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.

QIN, A.; HUANG, G.B.; CHAI, Q.; YU, A.; HUANG, P. Grain yield and soil respiratory response to intercropping systems on arid land. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 144, p. 1-10, Mar. 2013.

SULC, R.M.; TRACY, B.F. Integrated crop–livestock systems in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 335-345, Mar. 2007.

TRACY, B.F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 3, p. 1211-1218, May 2008.

WIGGANS, D.R.; SINGER, J.W.; MOORE, K.J.; LAMKEY, K.R. Maize water use in living mulch systems with stover removal. **Crop Science**, Madison, v. 52, n. 1, p. 327-338, Jan. 2012.

ZEMENCHIK, R.A.; ALBRECHT, K.A.; BOERBOOM, C.M.; LAUER, J.G. Corn Production with Kura Clover as a living mulch. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 4, p. 698-705, July 2000.

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.

ZHANG, G.; YANG, Z.; DONG, S. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 66-73, Oct. 2011.

ZHOU, X.; MADRAMOOTOO, C.A.; MACKENZIE, A.F.; KALULI, J.W.; SMITH, D.L. Corn yield and fertilizer N recovery in water-table-controlled corn–rye-grass systems. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 12, n. 2, p. 83-92, Mar. 2000.

2 RECUPERAÇÃO DO NITROGÊNIO DO FERTILIZANTE PELO MILHO E BRAQUIÁRIA NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA

Resumo

O consórcio de milho com braquiária é utilizado para produção de grãos e estabelecer pastagem para a criação de animais no sistema de integração lavoura pecuária ou para manter o solo coberto e formação de resíduos ao sistema plantio direto. Não se sabe quanto do fertilizante nitrogenado aplicado é absorvido pela planta forrageira em cada forma de implantação do consórcio utilizada no Brasil, e se é necessário aumento da dose para não ocorrer falta de nitrogênio neste sistema de produção. Esta pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar a influência da braquiária no aproveitamento do fertilizante nitrogenado, em razão das formas de implantação do consórcio milho-braquiária utilizadas no Brasil. As formas de implantação do consórcio utilizadas foram: sementes de braquiária distribuídas a lanço antes da semeadura do milho (B.Lanço); implantação das sementes de braquiária no centro das entrelinhas do milho (B. Entrelinha); sementes de braquiária misturadas com o fertilizante na semeadura do milho (B.+funda); braquiária semeada a lanço posterior à semeadura do milho (B.Lanço pós); braquiária incorporada no centro das entrelinhas de milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (B.Linha pós); milho solteiro (Milho sem B.). A eficiência da adubação nitrogenada (EAN) foi avaliada por meio do uso de ^{15}N -ureia. As formas de implantação do consórcio não afetaram a produtividade, a concentração foliar de N e a produção de massa seca do milho. As formas de implantação B.Lanço, B.Entrelinha e B.+funda produziram mais massa seca de braquiária do que a B.Linha pós, que produziu mais que a B.Lanço pós. A produção de massa seca do consórcio de milho com braquiária foi semelhante para os sistemas consorciados e o milho solteiro. A braquiária não influenciou a recuperação do N-fertilizante no sistema solo planta, que foi em média, 64 kg ha^{-1} dos 80 kg ha^{-1} aplicados, divididos em 38 kg ha^{-1} nas plantas de milho e braquiária, 26 kg ha^{-1} no solo e 16 kg ha^{-1} não foram encontrados. Estas quantidades representam recuperação no sistema de 80%, em que 48% foram encontrados nas plantas de milho e braquiária e 32% no solo. As formas de implantação B.Lanço, B.Entrelinha, B.+funda e B.Linha pós são recomendadas para o estabelecimento do consórcio de milho com braquiária. A braquiária em qualquer forma de implantação não causa redução da produtividade de grãos de milho e não afeta a absorção de N pelo milho. Não é necessário aumentar a dose do fertilizante nitrogenado em sistema de milho consorciado com braquiária, pois a braquiária absorve no máximo $4,3 \text{ kg ha}^{-1}$ do N-fertilizante.

Palavras-chave: Nitrogênio marcado ^{15}N ; *Brachiaria* spp.; *Urochloa* spp;

Abstract

Intercropping corn with palisadegrass allows to establish a grassland after a grain harvest. It also can be used to keep the ground covered to no-till system. It is not known how much of the nitrogen from fertilizer is uptake by forage plant, and if is necessary increase nitrogen rate to avoid a lack of nitrogen in this cropping system. The aim of this research was to evaluate the influence of palisadegrass (P.) in the nitrogen recovery from fertilizer in the intercropped system, according of its forms of

implantation used in Brazil. The intercropping of corn and palisadegrass forms of implantation were: P. broadcasted before sowing maize (P.broadcast before); P. sowed in furrow between corn rows (P.between row); P. seeds mixed with fertilizer at corn sowing (P.deepper); P. seeds broadcasted after corn sowing (P.broadcast after); P. seeds sowed in furrow at center of corn rows, when it had 4 expanded leaves (P.between row after); sole cropped corn (corn without P.). Nitrogen use efficiency (NUE) was evaluated with labeled fertilizer (^{15}N -urea). The forms of implantation of intercropping system did not affect corn yield, leaf N concentration of corn and above ground biomass of corn. The forms of implantation P.broadcast before, P.between row and P.deepper produced more palisadegrass biomass than P.between row after, which produced more than P.broadcast after. Total above ground biomass production was similar between intercropping systems and sole cropped corn. The palisadegrass did not affected the N recovery at the soil plant system, which was an average of 64 kg ha^{-1} from 80 kg ha^{-1} applied, whereas 38 kg ha^{-1} were found in corn and palisadegrass, 26 kg ha^{-1} in the soil and 16 kg ha^{-1} were not found. These amounts represent a recovery of 80% in this cropping system, whereas 48% was found in corn and palisadegrass and 32% in soil. The forms of implantation P.broadcast before, P between row, P.deepper and P.between row after, are recommended to establish this intercropping system. The palisadegrass in any form of implantation does not cause reduction in corn grain yield and does not affect the N uptake by corn. It is not necessary increase nitrogen rate on corn intercropped with palisasdegrass, because palisadegrass uptakes at most 4.3 kg ha^{-1} of N-fertilizer.

Keywords: ^{15}N - labeled nitrogen; *Brachiaria* spp.; *Urochloa* spp.

2.1 Introdução

O cultivo de plantas em consórcio é utilizado cada vez mais no Brasil e no mundo, pois se trata de tecnologia que permite aproveitar melhor a época de excedente hídrico para se cultivar lavouras anuais produtoras de grãos em conjunto a uma espécie de planta de cobertura. Com esta técnica consegue-se maior produção de massa vegetal para a cobertura do solo (BALDÉ et al., 2011; BORGHI et al., 2012; CECCON et al., 2013; CRUSCIOL et al., 2013), realizar o estabelecimento de pastagens para exploração da criação de animais (CRUSCIOL et al., 2012; FISHER; TOZER; ABRECHT, 2012; BORGHI et al., 2013), redução da perda de solo no processo erosivo (JOSHI; TAMBE, 2010; MONTENEGRO et al., 2013), reduzir a ocorrência de plantas daninhas (DERKSEN et al., 2002; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2006; HILTBRUNNER et al 2007; UCHINO et al., 2009; KOSINSKI et al., 2011; CONCENÇO et al., 2012; UCHINO et al., 2012; AMOSSÉ et al., 2013; SCOPEL et al., 2013), manter a área vegetada para realizar

ciclagem de nutrientes e redução das perdas de nutrientes nos períodos de entressafra (STROCK; PORTER; RUSSELLE, 2004; QI et al., 2011; RESTOVICH; ANDRIULO; PORTELA, 2012; FRASER et al., 2013; HASHEMI et al., 2013), aumentar a eficiência de uso da terra e recursos naturais (água, luz e nitrogênio) (ZHOU et al., 2000; HAUGGAARD-NIELSEN; AMBUS; JENSEN, 2001, 2003; BEDOUSSAC; JUSTES, 2010a, 2010b; BALDÉ et al., 2011; LITHOURGIDIS et al., 2011; YANG et al., 2011; ZHANG; YANG; DONG, 2011; MAO et al., 2012; JANNOURA; JOERGENSEN; BRUNS, 2014).

Para o sucesso do consórcio entre espécies, a planta dominante produtora de grãos deve ter vantagem competitiva e dominar a área, para que não ocorra redução na produtividade devido à competição interespecífica, e a planta subordinada deve ter o crescimento completamente afetado e suprimido até a colheita da planta principal (ZHANG; LI, 2003), com recuperação do crescimento após a colheita da planta dominante (LI et al., 2001). Para conseguir esta vantagem competitiva, a planta dominante deve ser privilegiada com data anterior de semeadura, ou maior velocidade de emergência por meio da semeadura em menor profundidade, e/ou uso de herbicidas seletivos para a planta dominante em dose que retarde o crescimento da planta subordinada, além da adubação nitrogenada em época e dose adequada para estimular o crescimento da planta principal.

Na literatura são comuns relatos a respeito da competição entre plantas consorciadas que resultaram em redução de produtividade das plantas principais. Nestes casos, o planejamento do consórcio das plantas não garantiu vantagem competitiva às plantas produtoras de grãos, como no caso de trabalhos desenvolvidos na Europa, que abordam o conceito de consórcio com semeadura em “cobertura viva” (living mulch). Nesta situação, a planta produtora de grãos é semeada em área já implantada com espécies de plantas forrageiras, de tal forma que estas plantas que deveriam ser suprimidas, foram previamente estabelecidas na área, com grande potencial competitivo que desencadeia na redução da produtividade da planta produtora de grãos. Mesmo com esta desvantagem, a maioria destes trabalhos ressaltam a importância e os benefícios do cultivo consorciado de plantas para um sistema de produção sustentável, e a necessidade de desenvolver novas técnicas de manejo para reduzir os efeitos deletérios da competição interespecífica (LIEDGENS; FROSSARD; RICHNER, 2004;

THORSTED; OLESEN; WEINER, 2006; CAROF et al., 2007; HILTBRUNNER; STREIT; LIEDGENS, 2007; SAWYER et al., 2010).

Por outro lado, alguns autores conseguiram desenvolver a técnica da semeadura em “cobertura viva” com uso de estratégias que garantem a vantagem competitiva às plantas produtoras de grãos. Zemenchik et al. (2000) relataram que em anos sem condições climáticas adversas que limitam o crescimento inicial do milho, não há redução de produtividade de milho semeado em trevo estabelecido, mas com supressão do crescimento com herbicida e aplicação de nitrogênio no sistema. Ziyomo et al. (2013) conseguiram viabilizar a técnica da semeadura de milho em trevo vivo de 0,15 m de altura, com utilização de híbridos de milho resistente a seca, e duas aplicações de herbicida para suprimir o crescimento do trevo (uma antes e outra depois da semeadura do milho).

Quando a vantagem competitiva é garantida às plantas dominantes, não há prejuízos na produtividade de grãos, e consegue-se aliar todos demais benefícios do cultivo conjunto de espécies de plantas. Uchino et al. (2012) implantaram centeio e ervilhaca peluda quatro semanas após a semeadura do milho, e obtiveram produtividade de 9,15 Mg ha⁻¹, igual a produção do sistema solteiro (9,01 Mg ha⁻¹). Hauggaard-Nielsen, Ambus e Jensen (2001) estabeleceram consórcio de cevada (planta dominante) e ervilha (subordinada), e não encontraram diferenças de produtividade de cevada (3.927 kg ha⁻¹ em sistema solteiro, e 3.974 kg ha⁻¹ no consórcio). Por outro lado, a ervilha (planta subordinada) produziu 2.630 kg ha⁻¹ no sistema solteiro e 604 kg ha⁻¹ no consórcio. Uchino et al. (2009) testaram o cultivo de soja solteira e consorciada com centeio em três datas de implantação (14 dias antes, semeadura simultânea e 21 dias após a semeadura da soja.) no ano de 2005. A maior produtividade de soja ocorreu quando o centeio foi implantado 21 dias após a soja por garantir maior vantagem competitiva para soja. Os demais tratamentos produziram 29%, 18% e 7% a menos do que este, para o cultivo de soja solteiro, centeio 14 dias antes da soja e semeadura simultânea, respectivamente. Estes mesmos autores repetiram o experimento em 2006 com milho consorciado com ervilhaca peluda e novamente verificaram maior produtividade do milho quando a ervilhaca foi implantada na época mais tardia (21 dias após o milho), com redução de 68%, 100% e 24% na produção para o cultivo de milho solteiro, ervilhaca 14 dias antes do milho e semeadura simultânea. Amossé, Jeuffroy e David (2013) instalaram quatro espécies de culturas de cobertura após o estabelecimento da planta principal

(trigo), e obtiveram menor crescimento das plantas forrageiras, e nenhuma diferença de crescimento e produtividade do trigo.

Em trabalhos de consorciação de milho com plantas forrageiras tropicais, Borghi et al. (2013) relataram produtividade de milho de 9.801 kg ha⁻¹ em sistema de consorcio com *Megathyrsus maximus* (capim Mombaça) implantado no dia da semeadura do milho, e maior produtividade (12.077 kg ha⁻¹) quando garantiram vantagem competitiva ao milho no tempo, com semeadura do Mombaça quando o milho apresentava cinco folhas expandidas. Borghi et al. (2012) priorizaram o crescimento do milho (planta dominante) com semeadura de *Urochloa brizantha* (capim braquiária) 0,08 m abaixo das sementes de milho, que resultou em diferença de 13 dias na emergência das plantas, e não encontraram diferença na produtividade de grãos em dois espaçamentos entre linhas de milho testados (0,45 e 0,9 m). Crusciol et al. (2013) também atrasaram a emergência de *Urochloa brizantha* através do aprofundamento da semeadura (0,08 m) em relação às sementes de milho, e não encontraram diferença na produção de grãos em híbridos de ciclo precoce.

As formas de implantação do consórcio de milho com braquiária com garantia de vantagem competitiva ao milho que são utilizadas com sucesso no Brasil são:

(i) Implantação da braquiária pouco tempo antes da semeadura do milho. Este processo pode ser feito com distribuição a lanço das sementes de braquiária com a incorporação destas sementes feita pela própria semeadora. Ou adaptação de uma terceira caixa para sementes de braquiária na semeadora, que distribui as sementes na superfície do solo à frente da máquina, que também faz a incorporação da braquiária pelo revolvimento promovido pelos distribuidores de fertilizante e sementes. Nesta situação, a vantagem competitiva ao milho deve ser garantida com herbicidas seletivos ao milho em dose que retarde o crescimento, mas não mate a braquiária (B.Lanço).

(ii) Implantação da braquiária no centro das entrelinhas de milho. Nesta situação a semeadora distribui as sementes de milho e braquiária em linhas alternadas, para isso a semeadora deve estar regulada para metade do espaçamento entrelinha planejado para o milho, e deve ter reservatório de sementes independente para cada linha. A vantagem competitiva ao milho deve ocorrer com

uso de subdose de herbicida para retardar o crescimento da braquiária (B.Entrelinha).

(iii) Implantação da braquiária junto com o fertilizante de semeadura do milho. Neste sistema, a vantagem competitiva ao milho é obtida com a maior profundidade de semeadura da braquiária e emergência posterior ao milho. A aplicação de subdose de herbicidas pode ser planejada como garantia suplementar caso haja qualquer comprometimento inicial no desenvolvimento do milho (B.+funda).

(iv) Implantação da braquiária posterior ao milho, junto com o fertilizante de cobertura aplicado a lanço. Neste sistema a vantagem competitiva é garantida pelo tempo, uma vez que a braquiária é implantada quando o milho já está estabelecido na área. Neste caso não há incorporação das sementes da braquiária, que fica sobre a superfície do solo (B.Lanço pós).

(v) Implantação da braquiária posterior ao milho, junto com o fertilizante de cobertura incorporado nas entrelinhas do milho. A vantagem competitiva ocorre pelo tempo, e as sementes de braquiária são incorporadas junto com o fertilizante (B.Linha pós).

A Figura 2.1 contém um esquema das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária utilizadas no Brasil para que o milho seja estabelecido como planta dominante e a braquiária como espécie subordinada.

A eficiência da adubação nitrogenada (EAN) na cultura do milho é amplamente discutida na literatura por meio de trabalhos que utilizaram fertilizantes marcados com ^{15}N . Os dados são variados pelo motivo do nitrogênio ter dinâmica complexa no sistema produtivo, com variações em termos de sistema de cultivo, fonte utilizada, dose aplicada, forma de aplicação, época de aplicação, interação com a microbiologia do solo, clima e tipo de solo da região em que foram desenvolvidos os trabalhos.

Figura 2.1- Esquema das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária (i) sementes de braquiária distribuídas a lanço antes da semeadura do milho (B.Lanço); (ii) implantação da braquiária nas entrelinhas do milho (B.Entrelinha); (iii) implantação da braquiária junto com o fertilizante de semeadura (B.+funda); (iv) implantação da braquiária posterior ao milho, junto com o fertilizante de cobertura aplicado a lanço (B.Lanço pós); (v) implantação da braquiária posterior ao milho, junto com o fertilizante de cobertura incorporado nas entrelinhas do milho (B.Linha pós); (vi) Milho solteiro (Milho sem B.)

A EAN considerada neste trabalho significa a porcentagem do nitrogênio aplicado que foi absorvido pelas plantas cultivadas de interesse. Liang e MacKenzie (1994) relataram variação na EAN para milho de 9% a 58% quando avaliaram doses de N em dois solos de clima temperado e concluíram que a EAN reduz com o aumento da dose de N aplicada. Tran e Giroux (1998) relataram variação da EAN em milho de 43% a 54% em razão do tipo de solo. Zhou et al. (2000) encontraram EAN de 49% e 36% em dois anos de avaliação no cultivo de milho solteiro. Stevens, Hoeft e Mulvaney (2005) determinaram variação da EAN de 31% a 37% em quatro doses testadas na cultura do milho, e variação de 28% a 39% entre os três anos de avaliação. Jayasundara et al. (2007) relataram EAN de 24% para milho em sistema convencional de cultivo e 65% em sistema de plantio direto, em um ano com excesso de chuva após aplicação do fertilizante nitrogenado, e EAN de 40% e 58% para milho em sistema convencional e plantio direto, respectivamente, no ano com precipitação pluvial normal. Tolessa, Du Preez e

Ceronio (2007) ao estudarem sistemas de cultivo de milho, encontraram variação da EAN de 47% a 54%. Rimski-Korsakov, Rubio e Lavado (2009) determinaram EAN de 40% para milho adubado com 140 kg ha^{-1} de N e, em situação de déficit hídrico a EAN reduziu para 19%. Ding et al. (2011) relataram EAN de 50% na maturidade fisiológica do milho no tratamento com fertilizante convencional. Gabriel e Quemada (2011) obtiveram EAN de 40% a 51% em milho quando compararam semeadura direta em resíduos de ervilhaca, cevada ou pousio, em 3 anos de avaliação. Rimski-Korsakov, Rubio e Lavado (2012) determinaram EAN de 48% a 62%, com os maiores valores para as menores doses avaliadas, embora a maior quantidade de nitrogênio oriunda do fertilizante nas plantas de milho foi obtida com as maiores doses.

Trabalhos que avaliaram a EAN em sistema de consórcio de milho com braquiária são escassos na literatura internacional, e não se sabe quanto do fertilizante nitrogenado aplicado no consórcio de milho com braquiária é absorvido pela planta forrageira, e se é necessário um aumento da dose para não ocorrer falta de nitrogênio neste sistema de produção.

Esta pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar a influência da braquiária no aproveitamento do fertilizante nitrogenado aplicado no sistema solo planta, em razão das formas de implantação do consórcio milho - braquiária utilizadas no Brasil.

2.2 Material e Métodos

Para verificar qual a melhor forma de implantação do consórcio de milho com braquiária foram avaliados os métodos mais utilizados no Brasil (Figura 2.1), primeiramente no município de São Desidério-BA, na safra 2009-2010, para verificar a viabilidade de cada forma de implantação deste consórcio, e posteriormente em Piracicaba-SP, na safra 2011-2012, onde foi utilizado fertilizante enriquecido com átomos ^{15}N para determinar a dinâmica do nitrogênio nestes sistemas.

Os tratamentos utilizados nesta pesquisa foram: T1 – Implantação do consórcio de milho com braquiária por meio de sementes de braquiária distribuídas a longo momentos antes da semeadura do milho (B. Lanço); T2 – implantação das sementes de braquiária no centro das entrelinhas do milho (B. Entrelinha); T3 –

sementes de braquiária misturadas com o fertilizante de semeadura do milho (B. + funda); T4 – braquiária distribuída a lanço posterior à semeadura do milho (quando o milho apresentava 4 folhas expandidas) (B. Lanço pós); T5 – sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas de milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (B. Linha pós); T6 – milho solteiro (Milho sem B.). As Figuras 2.1 e 2.2 contém esquemas dos tratamentos no campo.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com 4 repetições e cada parcela era constituída de 6 linhas de milho por 10 m de comprimento nos dois locais de avaliação (Figura 2.6 e 2.10).

O manejo de plantas daninhas foi feito com uma dessecação com 640 g ha^{-1} de glyphosate, e aplicação em pós-emergência de 1760 g ha^{-1} atrazina e 72 g ha^{-1} de mesotrione (todos referentes ao ingrediente ativo). Esta dose de mesotrione é relativa à metade da dose recomendada pelo fabricante, uma vez que a dose completa promoveria a morte da braquiária. Este manejo de subdose é importante para retardar o crescimento da braquiária, e garantir vantagem competitiva ao milho nas formas de implantação do consórcio em que a braquiária é semeada no mesmo dia que o milho. A Figura 2.3 contém esquema do momento da aplicação de atrazina e meia dose do mesotrione feita no perfilhamento da braquiária um dia antes da implantação dos tratamentos 4 e 5 (B.Lanço pós e B.Linha pós).

Figura 2.2 – Esquema ilustrativo em vista vertical das formas de implantação do consórcio de milho com braquiária no campo, no momento da implantação da braquiária. T1 – B. Lanço; T2 – B. Entrelinha; T3 – B. + funda; T4 – B. Lanço pós; T5 – B. Linha pós; T6 – Milho sem B.

Figura 2.3 – Esquema da aplicação da subdose de herbicida (a) B. Lanço; (b) B. Entrelinha; (c) B. + funda; (d) B. Lanço pós, B. Linha pós e Milho sem B.

SÃO DESIDÉRIO – BA

O experimento foi desenvolvido na safra 2009-2010 na quadra 4 da Fazenda Acalanto localizada na rodovia BR 020 Km 110 com coordenadas geográfica 12° 56' 41.07" de latitude sul e 45° 58' 47.00" de longitude oeste, e 840 m de altitude no município de São Desidério no estado da Bahia. Esta área foi cultivada há mais de 10 anos, e nas quatro safras anteriores a implantação do experimento alternou-se o cultivo de milho e algodão durante a época de safra agrícola (primavera-verão) sem qualquer cultivo durante a entressafra (outono-inverno) devido às limitações climáticas da região (Figura 2.5).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006) com 140 g kg⁻¹ de argila no horizonte A e 200 g kg⁻¹, 210 g kg⁻¹ e 220 g kg⁻¹ de argila no decorrer do horizonte B latossólico. Na Tabela 2.1 estão apresentados os resultados da análise química da terra coletada do solo 30 dias antes da instalação do experimento.

Tabela 2.1 - Resultados da análise química da terra coletada na área experimental de São Desidério entre as profundidades de 00-0,2 m

pH	M.O.	S	P*	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				%
6,44	7,9	6,02	38,8	1,1	10	6	7	0	24,1	71

pH = potencial hidrogeniônico (acidez ativa) método CaCl₂ 0,01mol.L⁻¹ M.O. = Matéria orgânica, método Dicromato/Colorimétrico; S = enxofre método extração Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹-Turbidimetria; P = fósforo método *Mehlich-1; K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio método extração pela Resina trocadora de íons; Al = Alumínio método Titulometria (1mol L⁻¹); H+Al = hidrogênio + alumínio (acidez potencial) método pH SMP; CTC = capacidade de troca de cátions (Ca + Mg + K + H + Al); V = saturação de bases referente a porcentagem de bases (Ca + Mg+ K) na CTC

O clima da região é classificado como Awh, quente e úmido na estação chuvosa com inverno quente e seco (KÖPPEN, 1936). Os dados de precipitação pluvial durante a safra agrícola 2009-2010 estão representados na Figura 2.4, e o balanço hídrico desta safra na Figura 2.5.

Figura 2.4- Distribuição das chuvas na safra 2009-2010 na fazenda Acalanto em São Desidério

Figura 2.5- Balanço hídrico sequencial da safra 2009-2010 na cidade de São Desidério

O milho foi implantado no dia 18 de novembro de 2009 com sementes do híbrido Impacto em espaçamento entrelinhas de 0,76 m com 6 sementes por metro ($78.947 \text{ sementes ha}^{-1}$) com população final prevista de $75.000 \text{ planta ha}^{-1}$. A semeadura foi feita de forma direta em resíduos de algodão da safra anterior.

Antes da semeadura do milho (30 dias antes) foram aplicados a lanço 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 200 kg ha^{-1} de K_2O , e no momento da semeadura do milho foi aplicado pela semeadora, 150 kg ha^{-1} de nitrogênio por meio do fertilizante ureia no centro das entrelinhas do milho.

A espécie de braquiária utilizada foi *Urochloa ruziziensis* (sinônimo *Brachiaria ruziziensis*) implantada de acordo com os tratamentos propostos (Figuras 2.1 e 2.2), na dose de 5 kg ha^{-1} de sementes (valor cultural 66%).

A colheita do experimento foi em abril de 2010 com coleta das espigas de milho das duas linhas centrais da parcela, descartando-se 2,5 m de bordadura de cada extremidade da parcela. A figura 2.6 ilustra o esquema de colheita nas parcelas do experimento. Todas as espigas dentro da área de colheita foram retiradas, os grãos foram debulhados e amostrados para determinação da umidade dos grãos eq. (1) para posteriormente ajustar os dados de produtividade para kg ha^{-1} de grãos de milho com 130 g kg^{-1} de água eq. (2). A produtividade por hectare foi obtida pela produção por planta colhida multiplicada pela população ha^{-1} de cada parcela.

$$U = \left(\frac{MU - MD}{MU - MR} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que: U = umidade (%); MU = massa da amostra úmida (g); MD = massa da amostra desidratada em estufa a 105°C por 24 h (g); MR = Massa do recipiente que contém a amostra (g).

$$MC\ 130 = \frac{MC \times \left(1 - \left(\frac{U}{100} \right) \right)}{1 - \left(\frac{13}{100} \right)} \quad (2)$$

em que: MC 130 = Massa corrigida a 130 g kg^{-1} de água (kg ha^{-1}); MC = Massa colhida (kg ha^{-1}); U = umidade (%) eq. (1).

A determinação da massa seca da braquiária foi feita por meio de coleta de toda massa vegetal de parte aérea das plantas contidas em área de 0,76 m por 1,18 m, no centro da área de avaliação das parcelas (Figura 2.7). Determinou-se a massa do material vegetal úmido recolhido após o corte das plantas e feito uma amostragem para determinação da matéria seca após a permanência por 72 h em estufa de ventilação forçada com temperatura de 65°C , e posteriormente descontou-se a massa de água da massa úmida obtida no campo.

Figura 2.6 - Esquema da parcela experimental do cultivo de milho solteiro em São Desidério-BA, com 6 linhas de milho, 10 metros de comprimento (total 45,6 m²), e área de colheita de milho no centro da parcela (7,6 m²)

Figura 2.7- Esquema da parcela experimental de uma das formas de cultivo de milho com braquiária em São Desidério, com 6 linhas de milho, 10 metros de comprimento (total 45,6 m²), área de colheita de milho (7,6 m²) e área de corte de braquiária (0,90 m²)

PIRACICABA-SP

O experimento foi desenvolvido na safra 2011/2012 na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP em área do departamento de Produção Vegetal próximo ao aeroporto de Piracicaba no estado de São Paulo, nas coordenadas 22° 42’ 30’’ de latitude sul e 47° 38’ 00’’ de longitude oeste e 546 m de altitude.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006) com 150 g kg⁻¹ de argila no horizonte A e 236 g kg⁻¹ e 237 g kg⁻¹ de argila no decorrer do horizonte B latossólico. Na Tabela 2.2 estão apresentados os resultados de análises químicas em amostra de terra coletada do solo antes da instalação do experimento.

Tabela 2.2- Resultados da análise química da terra coletada na área experimental de Piracicaba-SP entre as profundidades de 00-0,2 m

pH	M.O.	S	P*	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				%
4,8	5	8	16	1,2	14	4	22	0	41	47

pH - CaCl₂ 0,01mol.L⁻¹; M.O - Dicromato/Colorimétrico; S - extração Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹- Turbidimetria; P - *Resina trocadora de íons; K, Ca e Mg - extração pela Resina trocadora de íons; Al - Titulometria (1mol L⁻¹); H+Al - pH SMP; CTC - (Ca + Mg + K + H + Al); V - referente a porcentagem de bases (Ca + Mg+ K) na CTC

O Clima de Piracicaba-SP é classificado como Cwa, tropical de altitude (KÖPPEN, 1936), com chuvas de verão, inverno seco e ameno e verões quentes com temperatura média anual de 23,9°C. Os dados de precipitação pluvial durante a safra agrícola 2011-2012 estão representados na Figura 2.8, e o balanço hídrico desta safra na Figura 2.9.

O milho foi implantado no dia 22 de dezembro de 2011 com sementes do híbrido DKB 390 VT PRO, com 0,9 m de espaçamento entrelinhas e 6 plantas por metro (66.666 sementes ha⁻¹) e população final prevista de 60.000 plantas ha⁻¹.

Figura 2.8 - Dados da distribuição de chuvas na cidade de Piracicaba na safra 2011-2012

Figura 2.9 - Balanço hídrico sequencial da safra 2011-2012 na cidade de Piracicaba-SP com dados coletados no posto meteorológica da ESALQ-USP, departamento de Engenharia de Biosistemas

A área foi preparada previamente em sistema convencional com uso de grade aradora e grade niveladora. A semeadora foi regulada em linhas espaçadas de 0,45 m, mas as sementes de milho foram colocadas em caixas alternadas para obter o espaçamento de 0,9 m entrelinhas de milho, e regulagem para aplicação de 400 kg ha⁻¹ de fertilizante. A fórmula 07-20-10 foi aplicada nas linhas de milho (abaixo e ao lado das sementes), e a fórmula 20-05-20 foi aplicada no centro das entrelinhas de milho nas caixas que não continham sementes de milho. Nesta situação foi aplicado 28 kg ha⁻¹ de nitrogênio nas linhas do milho e 80 kg ha⁻¹ de

nitrogênio no centro das entrelinhas do milho (total 108 kg ha^{-1} de nitrogênio), 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 nas linhas de milho e 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 nas entrelinhas do milho (total 100 kg ha^{-1} de P_2O_5) e, 40 kg ha^{-1} de K_2O mais 80 kg ha^{-1} de K_2O nas linhas e centro das entrelinhas de milho respectivamente (total 120 kg ha^{-1} de K_2O). A Figura 2.2 contém esquema da distribuição dos fertilizantes nos tratamentos propostos.

A implantação dos tratamentos que continham braquiária (Figuras 2.1 e 2.2) foi feita com sementes de *Urochloa brizantha* (sinônimo *Brachiaria brizantha*) na dose $4,4 \text{ kg ha}^{-1}$ (valor cultural 98%).

No centro das parcelas foram instaladas microparcelas que receberam ureia marcada com 2,53% átomos de ^{15}N para avaliar a eficiência da adubação nitrogenada nas formas de implantação do consórcio de milho com braquiária. Estas microparcelas continham 1,0 m de comprimento e duas linhas de milho, e a ureia marcada foi aplicada no centro da entrelinha de cada microparcela (Figura 2.10). A dose marcada foi 80 kg ha^{-1} de N relativo à parte do nitrogênio aplicado no centro das entrelinhas do milho.

No momento do florescimento das plantas de milho (emissão do pendão), foram coletadas folhas para diagnosticar a concentração foliar do nitrogênio. As folhas coletadas foram aquelas em posição abaixo e oposta às espigas de milho de 4 plantas por parcela, no exterior das microparcelas (plantas não marcadas com ^{15}N). Foi selecionado o terço central das folhas e descartada as nervuras (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As folhas foram desidratadas em estufa de ventilação forçada regulada em 65°C por 72 h, e posteriormente cominuídas em moinho de facas tipo Willey e encaminhadas para análise de teor de nitrogênio em tecido vegetal no laboratório de solos e nutrição de plantas da ESALQ-USP.

Figura 2.10 - Esquema da parcela de milho solteiro em Piracicaba com a disposição das microparcelsas que receberam ureia marcada no meio das entrelinhas de milho, em posição central da área da parcela, com 1,0 m de comprimento e duas linhas de milho (1,8 m de largura), em total de $1,8 \text{ m}^2$, e identificação das plantas amostradas para análise de abundância de átomos ^{15}N

A colheita do experimento foi em maio de 2012 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. A figura 2.11 ilustra o esquema de colheita nas parcelas do experimento. Todas as espigas dentro da área de colheita foram retiradas, os grãos foram debulhados e amostrados para determinação da umidade dos grãos eq. (1) para posteriormente ajustar os dados de produtividade para kg ha^{-1} de grãos de milho com 130 g kg^{-1} de água eq. (2). A produtividade por hectare foi obtida pela média da produção por planta colhida multiplicada pela população por hectare de cada parcela.

A colheita das plantas de milho nas microparcelsas foi feita no terço central de cada microparcela (um terço de cada extremidade foi bordadura). Foram retiradas duas plantas centrais nas duas linhas mais próximas a faixa adubada com ureia marcada (total 4 plantas) (Figura 2.10). As plantas foram divididas em parte aérea e grãos para determinação da massa seca após desidratação em estufa de

circulação de ar forçada regulada a 65 °C por 72 h. A parte aérea e os grãos foram cominuídos em moinho de facas tipo Willey e encaminhadas ao laboratório de isótopos estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP) para análise de nitrogênio total (%) na parte aérea e grãos ($N_{totalPA}$ e N_{totalG}) e abundância de átomos ^{15}N (%) na parte aérea e grãos (^{15}NPA e ^{15}NG).

A determinação da massa seca da braquiária foi feita após a permanência por 72 h em estufa de ventilação forçada com temperatura de 65° C de toda massa vegetal de parte aérea das plantas contidas em área de 0,9 m por 0,4 m, dentro das microparcelas que receberam ureia marcada (Figura 2.11). A braquiária desidratada foi cominuída em moinho de faca tipo Willey e encaminhada ao laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP para análise de nitrogênio total (%) na braquiária (N_{totalB}) e abundância de átomos ^{15}N (%) na braquiária (^{15}NB).

A massa seca total das plantas de milho (MSM) foi obtida pela soma da massa seca da parte aérea e dos grãos, e a massa seca total do consórcio de milho com braquiária (MSMB) foi obtida pela soma da massa seca da planta de milho (MSM) e a massa seca de braquiária (MSB).

A coleta do solo para verificar a recuperação do ^{15}N neste compartimento e nas raízes foi feita após a retirada das plantas de milho e braquiária. Foram abertas minitrincheiras no centro das microparcelas em área de 0,9 m de largura (com as duas linhas de plantas colhidas e toda entrelinha inclusas), e 0,16 m de comprimento. A cada 0,2 m de profundidade até a profundidade de 0,6 m obteve-se a massa de solo de cada camada para depois retirar amostras de terra nas camadas de 00-0,2 m; 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m para determinação do teor de água eq. (1), e amostras que foram desidratadas ao ar e cominuídas em moinho de bolas e encaminhadas ao laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP para análise de N total (%) em cada camada do solo ($N_{totalSx_1-x_2}$) e abundância de átomos ^{15}N (%) em cada camada do solo ($^{15}NS_{x_1-x_2}$).

Figura 2.11 - Esquema da parcela experimental em Piracicaba-SP com 6 linhas de milho, 10 metros de comprimento (total 54 m²), área de colheita de milho (9 m²) e área de corte de braquiária (0,36 m²)

Ao fundo das minitrincheiras foram coletadas amostras de terra nas camadas de 0,6-0,8 m e 0,8-1,0 m com amostrador de solo do tipo sonda. As amostras foram desidratadas ao ar e cominuídas em moinho de bolas e encaminhadas ao laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP para determinação de N total (%) em cada camada do solo ($N_{totalSx_1-x_2}$) e abundância de átomos ^{15}N (%) em cada camada do solo ($^{15}NSx_1-x_2$).

As raízes foram coletadas do solo recolhido nas minitrincheiras na profundidade de 00-0,6 m com auxílio de peneira de 2 mm de malha, e foram lavadas em água corrente, desidratadas ao ar e acondicionadas em sacos de papel para determinação da massa seca após desidratação em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h. O volume de raiz foi cominuído em moinho de facas tipo Willey e encaminhadas para análise de N total (%) nas raízes (N_{totalR}) e abundância de átomos ^{15}N (%) nas raízes (^{15}NR) no laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP.

O N total (kg ha⁻¹) na parte aérea (PA) e nos grãos (G) (N_{totPA} e N_{totG}) foi obtido pela multiplicação do resultado de N total (%) contido no laudo do

laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP com a massa seca de cada parte da planta em kg ha⁻¹ eq. (3).

$$N_{totPA \text{ ou } G} = \left(\frac{N_{totalPA \text{ ou } G} \times M_{SPA \text{ ou } G}}{100} \right) \quad (3)$$

em que: N_{totPA} é a quantidade de nitrogênio total na parte aérea (kg ha⁻¹); N_{totG} é a quantidade de nitrogênio total nos grãos (kg ha⁻¹); $N_{totalPA}$ (%) é a concentração de N na parte aérea (resultado de análise); N_{totalG} (%) é a concentração de nitrogênio nos grãos (resultado de análise); M_{SPA} é a massa seca da parte aérea (kg ha⁻¹) e M_{SG} é a massa seca de grãos (kg ha⁻¹), obtidas pelas massas seca de cada parte (PA ou G) por planta colhida multiplicada pela população de plantas de cada parcela.

O N total (kg ha⁻¹) nas raízes (N_{totR}) da planta foi obtido pela multiplicação do resultado de N total (%) contido no laudo do laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP com a massa seca de raízes em kg ha⁻¹ eq. (4).

$$N_{totR} = \left(\frac{N_{totalR} \times M_{SR}}{100} \right) \quad (4)$$

em que: N_{totR} é a quantidade de nitrogênio total nas raízes (kg ha⁻¹); N_{totalR} (%) é a concentração de N nas raízes (laudo do laboratório); M_{SR} é a massa seca de raízes (kg ha⁻¹), obtida pela massa seca de raízes até 0,6 m de profundidade dividido pelo volume de solo (m³) de cada minitrincheira (00-0,6m de profundidade), multiplicado pelo volume de solo até esta profundidade em 1 hectare (m³ ha⁻¹).

O N total (kg ha⁻¹) na planta de milho (N_{totM}) foi obtido pela soma do nitrogênio total de todas as partes das plantas (N_{totPA} , N_{totG} , N_{totR}).

O N total (kg ha⁻¹) da braquiária (N_{totB}) foi calculado com a multiplicação da massa seca de braquiária (kg ha⁻¹) pela quantidade de N total (%) analisado nos tecidos da planta eq. (5)

$$N_{totB} = \left(\frac{N_{totalB} \times MSB}{100} \right) \quad (5)$$

em que: N_{totB} é a quantidade de nitrogênio total na braquiária (kg ha^{-1}); N_{totalB} (%) é a concentração de N na parte aérea da braquiária (resultado de análise); MSB é a massa seca de braquiária (kg ha^{-1}) obtida pela massa seca de braquiária coletada na área de corte (Figura 2.11) multiplicado pela quantidade de m^2 em 1 hectare dividido pela área de corte da braquiária ($0,36 \text{ m}^2$).

O nitrogênio total nas plantas de milho + braquiária (N_{totMB}) foi obtido pela soma no N_{totM} e N_{totB} .

O N total (kg ha^{-1}) do solo (N_{totS}) foi obtido pela soma do N total de todas as camadas amostradas do solo (00-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8; 0,8-1,0 m). O N total (kg ha^{-1}) de cada camada do solo ($N_{totS_{x1-x2}}$) foi gerado pela multiplicação da quantidade de solo desidratado em kg ha^{-1} e o resultado da análise de N total (%) em cada camada do solo amostrada eq. (6).

$$N_{totS_{x1-x2}} = \left(\frac{N_{totalS_{x1-x2}} \times MSS_{x1-x2}}{100} \right) \quad (6)$$

em que: $N_{totS_{x1-x2}}$ é o nitrogênio total em cada profundidade do solo (kg ha^{-1}); x_1 é o valor da profundidade superficial da camada amostrada, x_2 é o valor da profundidade final da camada amostrada (exemplos $N_{totS_{0-2}}$ é o nitrogênio total na camada de 0,0-0,2 m; $N_{totS_{6-8}}$ é o nitrogênio total na camada de 0,6-0,8 m); $N_{totalS_{x1-x2}}$ (%) é o teor de nitrogênio em cada camada do solo (resultado de análise); MSS_{x1-x2} é a massa seca do solo de cada camada do solo (kg ha^{-1}), obtida com o desconto da massa de água eq.(1) da massa de solo de cada camada, dividido pelo volume de solo de cada camada de cada minitrincheira (m^3), multiplicado pelo volume de solo em um hectare ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de cada camada. A MSS_{6-8} ; MSS_{8-10} ; MSS_{10-12} foram obtidas com a massa de solo da profundidade de 0,4-0,6 m, por admitir-se que a partir desta profundidade a densidade do solo é inalterado pela ação antrópica, e já se encontra no Horizonte B de cada solo estudado.

As quantidades de nitrogênio (kg ha^{-1}) na parte aérea, grãos e raízes provenientes do fertilizante (NPAPF, NGPF e NRPF) foram obtidas por meio das eqs. (7, 8 e 9).

$$NPAPF = \left(\left(\frac{{}^{15}NPA - {}^{15}Nnat_1}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotPA \right) \times 2 \quad (7)$$

em que: NPAPF é o nitrogênio na parte aérea do milho proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹); ¹⁵NPA é a abundância de átomos ¹⁵N (%) em amostras da parte aérea do milho (resultado de análise); ¹⁵Nnat₁ é a abundância natural de átomos ¹⁵N na parte aérea do milho (0,366%); ¹⁵Nfert é a abundância de átomos ¹⁵N no fertilizante enriquecido (2,53%); ¹⁵Nnat₂ é a abundância natural de átomos ¹⁵N no fertilizante (0,366%); NtotPA (kg ha⁻¹) é a quantidade de nitrogênio total na parte aérea do milho eq. (3). A multiplicação por 2 na fórmula se deve ao arranjo do experimento, pois o fertilizante marcado foi aplicado exatamente no centro de duas linhas de milho (Figura 2.2), por isso, admite-se que as plantas amostradas destas duas linhas são, em média, 50% marcadas (Figura 2.10).

$$NGPF = \left(\left(\frac{{}^{15}NG - {}^{15}Nnat_1}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotG \right) \times 2 \quad (8)$$

em que: NGPF é o nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹); ¹⁵NG é a abundância de átomos ¹⁵N (%) em amostras de grãos de milho (resultado de análise); ¹⁵Nnat₁ é a abundância natural de átomos ¹⁵N nos grãos de milho (0,366%); ¹⁵Nfert é a abundância de átomos ¹⁵N no fertilizante enriquecido (2,53%); ¹⁵Nnat₂ é a abundância natural de átomos ¹⁵N no fertilizante (0,366%); NtotG é a quantidade de nitrogênio total nos grãos de milho (kg ha⁻¹), eq. (3). A multiplicação por 2 na fórmula se deve ao arranjo do experimento, pois o fertilizante marcado foi aplicado exatamente no centro de duas linhas de milho (Figura 2.2), por isso, admite-se que as plantas amostradas destas duas linhas são, em média, 50% marcadas (Figura 2.10).

$$NRPF = \left(\left(\frac{{}^{15}NR - {}^{15}Nnat_1}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotR \right) \times 2 \quad (9)$$

em que: NRPF é o nitrogênio nas raízes de milho ou milho + braquiária proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹); ¹⁵NR é a abundância de átomos ¹⁵N (%) em amostras de

raízes de milho ou milho + braquiária (resultado de análise); $^{15}\text{Nnat}_1$ é a abundância natural de átomos ^{15}N nas raízes de milho ou milho + braquiária (0,366%); $^{15}\text{Nfert}$ é a abundância de átomos ^{15}N no fertilizante enriquecido (2,53%); $^{15}\text{Nnat}_2$ é a abundância natural de átomos ^{15}N no fertilizante (0,366%); NtotR é a quantidade de nitrogênio total nas raízes de milho ou milho + braquiária (kg ha^{-1}), eq. (4). A multiplicação por 2 na fórmula se deve ao arranjo do experimento, pois o fertilizante marcado foi aplicado exatamente no centro de duas linhas de milho (Figura 2.2), por isso, admite-se que as plantas amostradas destas duas linhas são, em média, 50% marcadas (Figura 2.10).

O Nitrogênio na planta de milho proveniente do fertilizante (NMPF - kg ha^{-1}) foi obtido pela soma desta variável em todas as partes da planta de milho (NPAPF, NGPF e NRPF) eqs. (7, 8 e 9).

O nitrogênio (kg ha^{-1}) na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF) foi calculado de acordo com a eq. (10).

$$\text{NBPF} = \left(\frac{^{15}\text{NB} - ^{15}\text{Nnat}_1}{^{15}\text{Nfert} - ^{15}\text{Nnat}_2} \right) \times \text{NtotB} \quad (10)$$

em que: NBPF é o nitrogênio na parte aérea da braquiária proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}); ^{15}NB é a abundância de átomos ^{15}N (%) em amostras de braquiária (resultado de análise); $^{15}\text{Nnat}_1$ é a abundância natural de átomos ^{15}N na braquiária (0,366%); $^{15}\text{Nfert}$ é a abundância de átomos ^{15}N no fertilizante enriquecido (2,53%); $^{15}\text{Nnat}_2$ é a abundância natural de átomos ^{15}N no fertilizante (0,366%); NtotB é a quantidade de nitrogênio total na braquiária (kg ha^{-1}), eq. (5).

O nitrogênio nas plantas de milho e braquiária proveniente do fertilizante (NMBPF - kg ha^{-1}) foi obtido pela soma do NMPF e o NBPF.

O nitrogênio nas cinco camadas do solo de 0,2 m cada até 1,0m de profundidade proveniente do fertilizante (NSPF_{x1-x2}) foi calculado por meio da eq. (11).

$$NSPF_{x_1-x_2} = \left(\frac{{}^{15}NS_{x_1-x_2} - {}^{15}Nnat_1 x_1 - x_2}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotS_{x_1-x_2} \quad (11)$$

em que: $NSPF_{x_1-x_2}$ é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante em cada camada de 0,2 m (kg ha^{-1}); x_1 é o valor da profundidade superficial da camada amostrada, x_2 é o valor da profundidade final da camada amostrada (exemplos $NSPF_{0-2}$ é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante na camada de 0,0-0,2 m; $NSPF_{6-8}$ é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante na camada de 0,6-0,8 m) ${}^{15}NS_{x_1-x_2}$ é a abundância de átomos ${}^{15}\text{N}$ (%) nas amostras de cada camada do solo (resultado de análise); ${}^{15}Nnat_1 x_1 - x_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}\text{N}$ em cada camada do solo (0,366%); ${}^{15}Nfert$ é a abundância de átomos ${}^{15}\text{N}$ no fertilizante enriquecido (2,53%); ${}^{15}Nnat_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}\text{N}$ no fertilizante (0,366%); $NtotS_{x_1-x_2}$ é a quantidade de nitrogênio total na camada do solo (kg ha^{-1}), eq. (6).

O nitrogênio do solo proveniente do fertilizante (NSPF) até 1,0 m de profundidade foi obtido a partir da soma de todo nitrogênio no solo proveniente do fertilizante de cada camada de 0,2 m ($\sum NSPF_{x_1-x_2}$).

A eficiência da adubação nitrogenada (EAN) é definida neste trabalho como a porcentagem do nitrogênio aplicado via fertilizante (ureia) que é absorvida pelas plantas de interesse (milho e braquiária), portanto, foi determinada a Recuperação do nitrogênio na parte aérea do milho (RNPA), nos grãos de milho (RNG), nas raízes de milho ou milho + braquiária (RNR) e na braquiária (RNB), e foram calculadas de acordo com as seguintes equações:

$$RNPA = \left(\frac{NPAPF}{DN} \right) \times 100 \quad (12)$$

em que: RNPA é a recuperação do nitrogênio na parte aérea do milho (% do N aplicado); NPAPF é o nitrogênio na parte aérea do milho proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}) eq. (7); DN é a dose de nitrogênio marcada (${}^{15}\text{N}$) aplicada (80 kg ha^{-1}).

$$RNG = \left(\frac{NGPF}{DN} \right) \times 100 \quad (13)$$

em que: RNG é a recuperação do nitrogênio nos grãos de milho (% do N aplicado); NGPF é o nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹) eq. (8); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada (80 kg ha⁻¹).

$$RNR = \left(\frac{NRPF}{DN} \right) \times 100 \quad (14)$$

em que: RNR é a recuperação do nitrogênio nas raízes de milho ou milho + braquiária (% do N aplicado); NRPF é o nitrogênio nas raízes de milho ou milho + braquiária proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹) eq. (9); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada (80 kg ha⁻¹).

A eficiência da adubação nitrogenada nas plantas de milho (EANM) foi obtida pela soma das recuperações da parte aérea, grãos e raízes (RNPA, RNG, RNR).

$$RNB = \left(\frac{NBPF}{DN} \right) \times 100 \quad (15)$$

em que: RNB é a recuperação do nitrogênio na braquiária (% do N aplicado); NBPF é o nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹) eq. (10); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada (80 kg ha⁻¹).

A eficiência da adubação nitrogenada do consórcio de milho com braquiária (EANMB) foi calculada pela soma da EANM e RNB.

A recuperação do nitrogênio aplicado via fertilizante no solo (RNS) foi obtido pela soma da recuperação do ¹⁵N nas cinco camadas de 0,2 m, até a profundidade de 1,0 m ($\sum RNS_{x1-x2}$).

$$RNS_{x1-x2} = \left(\frac{NSPF_{x1-x2}}{DN} \right) \times 100 \quad (16)$$

em que: RNS_{x1-x2} é a recuperação do ¹⁵N em cada camada de 0,2 m do solo (% do N aplicado); x₁ é o valor da profundidade superficial da camada amostrada, x₂ é o valor da profundidade final da camada amostrada (exemplos RNS₀₋₂ é a recuperação do

^{15}N no solo na camada de 0,0-0,2 m de profundidade; RNS_{6-8} é a recuperação do ^{15}N no solo na camada de 0,6-0,8 m de profundidade) NSPF_{x1-x2} é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante em cada camada de 0,2 m (kg ha^{-1}) eq. (11); DN é a dose de nitrogênio marcada (^{15}N) aplicada (80 kg ha^{-1}).

A recuperação total do nitrogênio aplicado (RN) foi obtida pela soma de todos os compartimentos avaliados eqs. (17 e 18).

$$RN_1 = \text{NMBPF} + \text{NSPF} \quad (17)$$

em que: RN_1 é a recuperação total do ^{15}N aplicado (kg ha^{-1}); NMBPF é o nitrogênio no milho + braquiária proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}); NSPF é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}).

$$RN_2 = \text{EANMB} + \text{RNS} \quad (18)$$

em que: RN_2 é a recuperação total do ^{15}N aplicado (%); EANMB é a eficiência da adubação nitrogenada no milho + braquiária (%); RNS é a recuperação do ^{15}N aplicado no solo (%).

O nitrogênio não recuperado (kg ha^{-1}) (NNR_1) foi obtido pela subtração da quantidade total aplicada e a recuperação total do ^{15}N (kg ha^{-1}) eq. (19).

$$\text{NNR}_1 = \text{DN} - \text{RN}_1 \quad (19)$$

em que: NNR_1 é o nitrogênio não recuperado (kg ha^{-1}); DN é a dose de ^{15}N aplicada (80 kg ha^{-1}); RN_1 é a recuperação total do ^{15}N aplicado (kg ha^{-1}) eq. (17).

O nitrogênio não recuperado (%) (NNR_2) foi obtido pela eq. (20).

$$\text{NNR}_2 = 100 - \text{RN}_2 \quad (20)$$

em que: NNR_2 é o nitrogênio não recuperado (%); RN_2 é a recuperação total do ^{15}N aplicado (%) eq. (18).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variâncias pelo programa SAS[®] (SAS INSTITUTE, 2009). Para variáveis dependentes do nitrogênio marcado foram realizadas análises de variância

independente. Para produtividade do milho e produção de massa seca de braquiária foi realizada análise de variância conjunta a fim de testar a interação entre os locais e tratamentos. As médias foram comparadas pelo teste Fisher (LSD) $p \leq 0,05$.

2.3 Resultados

A massa seca de braquiária diferiu conforme a forma de implantação, mas se comportou da mesma forma nos dois locais de avaliação (Piracicaba e São Desidério), uma vez que não houve interação entre local e forma de implantação (Tabela 2.3). A produtividade de milho foi diferente nos locais, mas não foi influenciada pelas formas de implantação da braquiária em qualquer local avaliado. (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Análise de variância conjunta entre locais e formas de implantação da braquiária para as variáveis: massa seca de braquiária e produtividade de milho

	Massa Seca Braquiária	Produtividade de milho
	kg ha ⁻¹	
FV		Pr>F
Local (L)	0,0933 ^{ns}	0,0002**
Forma de implantação (F)	<0,0001***	0,8680 ^{ns}
L x F	0,3556 ^{ns}	0,7773 ^{ns}
CV%	17,45	5,67

^{ns} não significativo ** significativo a 1% *** significativo a menos de 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F

A produtividade de milho não foi afetada pela presença da braquiária em qualquer forma de implantação do consórcio de milho com braquiária, em ambos locais avaliados (Tabela 2.4).

A massa seca de braquiária variou em função das formas de implantação do consórcio. As implantações no mesmo momento do milho (B. Lanço, B. Entrelinha e B. + funda) produziram maior quantidade de massa seca em relação às implantações feitas quando o milho apresentava 4 folhas expandidas, em ambos locais estudados (Tabela 2.4). A produção de massa seca de braquiária nos métodos de implantação em pós-emergência do milho (B. Lanço pós e B. Linha pós) diferiram entre si, com o melhor desempenho obtido para a implantação da braquiária incorporada nas entrelinhas do milho tanto em Piracicaba como em São Desidério (Tabela 2.4).

As formas de implantação da braquiária no mesmo dia do milho (B. Lanço; B. entrelinha e B. + funda) produziram em média 1.042 kg ha⁻¹ de massa seca de braquiária em São Desidério, e 2.110 kg ha⁻¹ em Piracicaba. A braquiária incorporada nas entrelinhas do milho em pós-emergência (B. Linha pós) produziu 535 kg ha⁻¹ de massa seca em São Desidério e 614 kg ha⁻¹ em Piracicaba. Esta quantidade foi 48% menor em São Desidério, e 71% menor em Piracicaba em relação à massa seca de braquiária produzida pelas formas de implantação do consórcio no mesmo dia do milho. A distribuição a lanço da braquiária (B. Lanço pós) produziu apenas 11% em São Desidério e 3,7% em Piracicaba em relação à média das massas de braquiária nas formas B. Lanço; B. entrelinha e B. + funda.

Tabela 2.4 - Produção de massa seca (MS) da braquiária e produtividade do milho em São Desidério e Piracicaba

Tratamentos [†]	MS Braquiária (kg ha ⁻¹)		Produtividade milho (kg ha ⁻¹)	
	São Desidério	Piracicaba	São Desidério	Piracicaba
B. Lanço	985 a	2.085 ab	11.436	10.869
B. Entrelinha	1.126 a	1.306 ab	11.241	10.927
B. + funda	1.016 a	2.941a	11.954	10.910
B. Lanço pós	119 c	79 c	11.857	10.938
B. Linha pós	535 b	614 b	11.786	10.642
Milho sem B.	-	-	11.581	10.951
Média			11.643	10.873
Pr>F	<0,0001***	0,0012**	0,5406 ^{ns}	0,9853 ^{ns}
CV %	10,15	27,54	0,54	6,14

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo ** significativo a 1% *** significativo a menos do que 0,1% pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste LSD p ≤ 0,05

A concentração de N nas folhas no momento do florescimento do milho não variou de acordo com a presença da braquiária em qualquer forma de implantação (Tabela 2.5). A produção de massa seca do milho (parte aérea + grãos - MSM), e a massa seca total do consórcio de milho com braquiária (MSMB) não diferiram em relação às formas de implantação da braquiária (Tabela 2.5). A participação da massa de braquiária no total de massa seca do consórcio de milho e braquiária (MSMB) foi, em média, 8,4% para B. Lanço; B. entrelinha e B. + funda, 2,6% para B. Linha pós, e 0,3% para B. Lanço pós.

Tabela 2.5 - Teor de nitrogênio na folha coletada no florescimento do milho para avaliação do estado nutricional da planta (Nfolha); Massa seca total da planta de milho (MSM); Massa seca do consórcio milho e braquiária (MSMB) em Piracicaba-SP

Tratamento [†]	Nfolha	MSM	MSMB
	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	
B. Lanço	24,53	23.258	25.343
B. Entrelinha	23,51	24.076	25.382
B. + funda	25,93	21.543	24.484
B. Lanço pós	23,50	22.790	22.869
B. Linha pós	24,00	22.380	22.994
Milho sem B.	25,81	22.751	22.751
Média	24,55	22.800	23.971
Pr>F	0,7947 ^{ns}	0,7552 ^{ns}	0,4426 ^{ns}
CV%	28,81	10,29	9,81

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo

A quantidade de N na parte aérea, grãos, planta de milho e milho + braquiária, não foram influenciados pela presença da braquiária nas formas de implantação (Tabela 2.6). Por outro lado, foi encontrada menor quantidade de N nas raízes no Milho sem B.; B. Lanço; B. + funda (Tabela 2.6).

O acúmulo de N nas plantas de milho foi, em média, 244 kg ha⁻¹. A exportação de Nitrogênio pelos grãos de milho foi, em média, 162 kg ha⁻¹ que equivale a 66% do N absorvido pela planta (Tabela 2.6). Este resultado foi 10% maior do que o encontrado por Rimski-korsakov, Rubio e Lavado (2012) e igual ao encontrado por Tolessa, Du Preez e Ceronio (2007).

A quantidade de N total na braquiária foi maior nas formas de implantação no início da lavoura de milho (B. Lanço, B. Entrelinha e B. + funda), e menor quando a braquiária foi distribuída a lanço no momento que o milho tinha 4 folhas expandidas (B. Lanço pós). A incorporação da braquiária nas entrelinhas do milho nesta época (B. Entrelinha pós) promoveu desempenho intermediário na quantidade de N total da parte aérea da braquiária (Tabela 2.6).

A Braquiária contribuiu com 9% em média no total de N recuperado no consórcio de milho e braquiária (NtotMB) para as formas de implantação no dia da semeadura do milho (B. Lanço; B. entrelinha e B. + funda), 3% na implantação incorporada em pós-emergência (B. linha pós), e 0,7% quando foi implantada a lanço em pós-emergência (B. Lanço pós) (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Nitrogênio total na parte aérea do milho no momento da colheita (NtotPA); Nitrogênio total nos grãos de milho no momento da colheita (NtotG), Nitrogênio total nas raízes no dia da colheita (NtotR); Nitrogênio total na planta de milho na colheita (NtotM); Nitrogênio total na braquiária no momento da colheita (NtotB); Nitrogênio total absorvido pelas plantas de milho e braquiária na colheita do consórcio (NtotMB) em Piracicaba-SP

Tratamentos [†]	NtotPA	NtotG	NtotR	NtotM	NtotB	NtotMB
	kg ha ⁻¹					
B. Lanço	69,3	172,4	10,2c	252	26,6 ab	279
B. Entrelinha	66,0	163,2	17,6ab	247	12,6 ab	260
B. + funda	54,2	154,3	14,4bc	223	35,8 a	259
B. Lanço pós	68,3	156,4	18,1ab	243	1,7 c	245
B. Linha pós	64,8	161,7	22,2a	249	7,2 b	256
Milho sem B.	68,2	164,9	14,1bc	247	-	247
Média	65,1	162,2		244		258
Pr>F	0,2645 ^{ns}	0,9082 ^{ns}	0,0195*	0,8467 ^{ns}	0,001**	0,7395 ^{ns}
CV%	14,29	14,66	26,24	13,67	23,53	12,66

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo; * significativo a 5% ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste LSD p ≤ 0,05

As formas de implantação da braquiária não influenciaram a quantidade de nitrogênio proveniente do ¹⁵N-fertilizante nas partes da planta de milho (grãos, parte aérea e raízes), como também na planta de milho e na somatória do ¹⁵N-fertilizante no milho e braquiária (Tabela 2.7). A implantação da braquiária a lanço em pós-emergência do milho (B. Lanço pós) recuperou menos Nitrogênio do ¹⁵N-fertilizante (0,1 kg ha⁻¹) do que as outras formas de implantação avaliadas (média de 3,1 kg ha⁻¹) (Tabela 2.7).

O N proveniente do fertilizante nos grãos (NGPF) foi em média 24 kg ha⁻¹ (Tabela 2.7), quantidade equivalente a 15% do N contido nos grãos (NtotG). A outra parte (138 kg ha⁻¹ ou 85%) do N dos grãos foi proveniente de outras fontes como o N do solo e o N da adubação de semeadura no formulado N-P-K aplicado abaixo das sementes de milho. Para a planta toda de milho, também 15% de todo N absorvido foi oriundo da ¹⁵N-ureia.

A braquiária semeada a lanço quando a lavoura de milho se encontrava no estágio V4 (B. Lanço pós) conteve 0,1 kg ha⁻¹ do ¹⁵N-fertilizante (NBPF), referente a 1,3% de todo N absorvido pela braquiária (NtotB), e 0,3% do ¹⁵N-fertilizante do consórcio de milho e braquiária (NMBPF). Para as outras formas

de implantação do consórcio de milho com braquiária (B. Lanço; B. Entrelinha; B. + funda e B. Linha pós), o ^{15}N -fertilizante foi, em média, 15% de todo N absorvido pela braquiária (NtotB), 8% do ^{15}N -fertilizante do consórcio de milho e braquiária (NMBPF), e 1,2% de todo N absorvido pelo consórcio de milho com braquiária (NtotMB).

Tabela 2.7 - Nitrogênio na parte aérea do milho proveniente do fertilizante (NPAPF); Nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (NGPF); Nitrogênio nas raízes proveniente do fertilizante (NRPF); Nitrogênio na planta de milho proveniente do fertilizante (NMPF); Nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF); Nitrogênio no consórcio de milho e braquiária proveniente do fertilizante (NMBPF) em Piracicaba-SP

Tratamento [†]	NPAPF	NGPF	NRPF	NMPF	NBPF	NMBPF
	kg ha ⁻¹					
B. Lanço	12,5	23,0	0,98	36,5	4,1 a	40,6
B. Entrelinha	10,3	19,9	1,58	31,8	2,7 a	34,5
B. + funda	9,1	21,8	1,23	32,1	4,3 a	36,4
B. Lanço pós	11,9	23,0	2,45	37,4	0,1 b	37,5
B. Linha pós	10,9	29,9	2,19	43,0	1,52 a	44,5
Milho sem B.	11,2	23,9	1,54	36,6	-	36,6
Média	11,0	23,6	1,66	36,2		38,4
Pr>F	0,4341 ^{ns}	0,2138 ^{ns}	0,0766 ^{ns}	0,2461 ^{ns}	0,0131*	0,3098 ^{ns}
CV%	21,89	22,71	11,09	18,57	33,26	16,61

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste LSD $p \leq 0,05$

Os grãos de milho recuperaram, em média, 29% dos 80 kg ha⁻¹ do ^{15}N aplicado como ureia, e a eficiência da adubação nitrogenada nas plantas de milho (EANM) foi de 46%, e para o consórcio de milho e braquiária (EANMB) foi de 48% (Tabela 2.8).

Para as formas de implantação B. Lanço; B. Entrelinha; B. + funda e B. Linha pós, a recuperação do ^{15}N -fertilizante foi apenas 4% dos 80 kg ha⁻¹ de N aplicado como ureia (Tabela 2.8). Para a implantação da braquiária a lanço em pós-emergência do milho (B. Lanço pós), a recuperação foi insignificante, em torno de 0,1% do ^{15}N aplicado (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 – Recuperação do N na parte aérea do milho (RNPA); Recuperação do N nos grãos de milho (RNG); Recuperação do N nas raízes (RNR); Eficiência da adubação nitrogenada nas plantas de milho (EANM); Recuperação do N na braquiária (RNB); Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio de milho mais braquiária (EANMB) em Piracicaba-SP

Tratamento [†]	RNPA	RNG	RNR	EANM	RNB	EANMB
	%					
B. Lanço	15,7	28,8	1,22	45,7	5,1 a	50,8
B. Entrelinha	12,9	24,9	1,97	39,8	3,3 a	43,1
B. + funda	11,3	27,2	1,54	40,0	5,4 a	45,4
B. Lanço pós	14,9	28,8	3,06	46,8	0,1 b	46,9
B. Linha pós	13,6	37,5	2,74	53,8	1,90 a	55,7
Milho sem B.	14,0	29,8	1,92	45,7	-	45,7
Média	13,7	29,5	2,08	45,3		47,9
Pr>F	0,4341 ^{ns}	0,2138 ^{ns}	0,0766 ^{ns}	0,2461 ^{ns}	0,0131*	0,3098 ^{ns}
CV%	21,89	22,71	11,09	18,57	33,26	16,61

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste LSD $p \leq 0,05$

As formas de implantação da braquiária não influenciaram na quantidade de ¹⁵N-fertilizante nas camadas de solo até 0,8 m de profundidade, nem na somatória de todo ¹⁵N do solo (NSPF). Na camada de solo de 0,8-1,0 m foi encontrado 0,56 kg ha⁻¹ do ¹⁵N-fertilizante na média das formas de implantação da braquiária no mesmo dia do milho (B. Lanço; B. Entrelinha; B. + funda), valor 64% menor do que o encontrado no cultivo de milho solteiro e nas formas em que a braquiária foi implantada quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (B. Lanço pós; B. Linha pós) (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 - Nitrogênio no solo proveniente do fertilizante na camada de 00-0,2 m (NSPF₀₋₂); na camada de 0,2-0,4 m (NSPF₂₋₄); na camada de 0,4-0,6 m (NSPF₄₋₆); na camada de 0,6-0,8 m (NSPF₆₋₈); na camada de 0,8-1,0 m (NSPF₈₋₁₀); Nitrogênio total no solo proveniente do fertilizante (NSPF) em Piracicaba-SP

Tratamento [†]	NSPFS ₀₋₂	NSPF ₂₋₄	NSPF ₄₋₆	NSPF ₆₋₈	NSPF ₈₋₁₀	NSPF
	kg ha ⁻¹					
B. Lanço	20,1	2,13	1,73	0,44	0,49 bc	24,9
B. Entrelinha	17,7	2,23	1,43	0,55	0,38 c	22,3
B. + funda	20,4	2,35	2,04	0,60	0,82 ab	26,3
B. Lanço pós	21,7	2,87	1,69	1,33	1,24 a	28,9
B. Linha pós	20,8	3,45	2,22	1,24	1,45 a	29,2
Milho sem B.	16,9	2,36	1,10	0,45	1,99 a	22,8
Média	19,6	2,57	1,70	0,77		25,7
Pr>F	0,9713 ^{ns}	0,5279 ^{ns}	0,1107 ^{ns}	0,1586 ^{ns}	0,0055**	0,8768 ^{ns}
CV%	47,40	11,87	24,34	47,81	13,19	38,89

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste LSD p ≤ 0,05

As formas de implantação da braquiária não influenciaram na recuperação do ¹⁵N-fertilizante nas camadas de solo até 0,8 m, nem na somatória de todas as camadas avaliadas (RNS). Na camada de solo de 0,8-1,0 m foi encontrado, em média, 0,7% do ¹⁵N-fertilizante aplicado nas formas de implantação da braquiária no mesmo dia do milho (B. Lanço; B. Entrelinha; B. + funda), e 2% no cultivo de milho solteiro e nas formas de implantação em que a braquiária foi implantada quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (B. Lanço pós; B. Linha pós) (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 - Recuperação do ^{15}N no solo na camada de 00-0,2 m (RNS_{0-2}); Recuperação do ^{15}N no solo na camada de 0,2-0,4 m (RNS_{2-4}); Recuperação do ^{15}N no solo na camada de 0,4-0,6 m (RNS_{4-6}); Recuperação do ^{15}N no solo na camada de 0,6-0,8 m (RNS_{6-8}); Recuperação do ^{15}N no solo na camada de 0,8-1,0 m (RNS_{8-10}); Recuperação do ^{15}N no solo (RNS) em Piracicaba-SP

Tratamento [†]	RNS_{0-2}	RNS_{2-4}	RNS_{4-6}	RNS_{6-8}	RNS_{8-10}	RNS
	kg ha ⁻¹					
B. Lanço	25,1	2,66	2,16	0,55	0,61 bc	31,1
B. Entrelinha	22,1	2,79	1,79	0,69	0,48 c	27,9
B. + funda	25,6	2,93	2,55	0,75	1,03 ab	32,8
B. Lanço pós	27,2	3,59	2,11	1,66	1,55 a	36,1
B. Linha pós	26,1	4,31	2,77	1,55	1,81 a	36,5
Milho sem B.	21,1	2,95	1,38	0,56	2,48 a	28,5
Média	24,5	3,21	2,13	0,96		32,2
Pr>F	0,9712 ^{ns}	0,5279 ^{ns}	0,1107 ^{ns}	0,1586 ^{ns}	0,0055**	0,8768 ^{ns}
CV%	47,40	11,87	24,34	47,81	13,19	38,89

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste LSD $p \leq 0,05$

A presença da braquiária em qualquer forma de implantação não influenciou a recuperação total do ^{15}N -fertilizante no sistema solo-planta. Nesta pesquisa foi recuperado, em média, 64 kg ha⁻¹ ou 80% do ^{15}N aplicado, e o nitrogênio não recuperado no sistema foi, em média, 16 kg ha⁻¹ ou 20% dos 80 kg ha⁻¹ aplicados como ureia no centro das entrelinhas do milho no momento da semeadura (Tabela 2.11).

Tabela 2.11 - Recuperação total do ^{15}N aplicado (kg ha^{-1}) (RN_1); Recuperação total do ^{15}N aplicado (%) (RN_2); Nitrogênio não recuperado (kg ha^{-1}) (NNR_1); Nitrogênio não recuperado (%) (NNR_2) em Piracicaba-SP

Tratamento [†]	RN1	NNR1	RN2	NNR2
	kg ha^{-1}		%	
B. Lanço	65,5	14,5	81,9	18,2
B. Entrelinha	56,8	23,2	71,0	29,0
B. + funda	62,7	17,3	78,3	21,7
B. Lanço pós	66,3	13,7	82,9	17,1
B. Linha pós	73,8	6,2	92,2	7,8
Milho sem B.	59,4	20,6	74,3	25,7
Média	64,1	15,9	80,1	19,9
Pr>F	0,4997 ^{ns}	0,4997 ^{ns}	0,4997 ^{ns}	0,4997 ^{ns}
CV%	28,25	28,25	28,25	28,25

[†] B. Lanço = sementes de braquiária distribuídas a lanço momentos antes da semeadura do milho (Figura 2.1-i); B. Entrelinha = implantação da braquiária no centro das entrelinhas do milho (Figura 2.1-ii); B. + funda = sementes de braquiária implantada junto com fertilizante em maior profundidade que as sementes de milho (Figura 2.1-iii); B. Lanço pós = distribuição a lanço das sementes de braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-iv); B. Linha pós = Sementes de braquiária incorporadas no centro das entrelinhas do milho, quando este apresentava 4 folhas expandidas (Figura 2.1-v); Milho sem B. = milho sem braquiária (Figura 2.1-vi). ^{ns} não significativo

2.4 Discussão

A produção de milho em São Desidério foi maior que em Piracicaba (Tabela 2.3) por ser uma região de maior potencial produtivo (maior altitude), melhor fertilidade do solo ($V=71\% \times V=47\%$) (Tabelas 2.1 e 2.2) e aplicação de dose maior de nitrogênio e potássio.

A premissa para o sucesso do sistema de consórcio de plantas, sem prejuízos à planta dominante foi relatada por Zhang e Li (2003). Na presente pesquisa, o cultivo de milho com braquiária foi viável, pois as formas de implantação da braquiária se comportaram da mesma forma nos dois locais (Tabela 2.3), e em nenhuma situação a presença da braquiária interferiu na produtividade do milho (Tabela 2.4) nem na massa seca de milho (Tabela 2.5). Nos locais de estudo, o consórcio foi implantado com intuito de manter as plantas de milho como espécie dominante e as plantas de braquiária como subordinada, por meio de técnicas de manejo como semeadura desencontrada entre as espécies (B. lanço pós, B. Linha pós), semeadura em maior profundidade da braquiária (B. + funda) ou uso de subdose de herbicida seletivo ao milho (B. lanço, B. Entrelinha e B. + funda) (Figura 2.3). Trabalhos que relataram o sucesso do consórcio de milho com braquiária com priorização do milho como planta dominante, sem prejuízo na produção de grãos e

bom estabelecimento da braquiária são comuns na literatura (BALDÉ et al., 2011; BORGHİ et al., 2012, 2013; CRUSCIOL et al., 2012; CECCON et al., 2013).

As formas de implantação da braquiária no mesmo dia do milho (B. Lanço, B. entrelinha, B. + funda) produziram maior quantidade de massa seca de braquiária no dia da colheita, em ambos locais (Tabela 2.4). Este fato ocorreu, pois o crescimento inicial da braquiária foi em época anterior ao sombreamento das entrelinhas causado pelas plantas de milho, e desta forma, as plantas de braquiária tiveram incidência de luz até o seu perfilhamento. A emergência da braquiária implantada na entrelinha quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (B. Linha pós) ocorreu com menor incidência de luz direta, e por isso apresentou produção de massa seca intermediária entre as formas de implantação do consórcio avaliadas (Tabela 2.4). Borghi et al. (2013) também encontraram maior produção de massa de braquiária quando implantaram o consórcio de milho com braquiária de forma simultânea (mesmo dia), em relação à implantação das sementes de braquiária feita em pós-emergência do milho.

As formas de implantação do consórcio de milho com B. Lanço, B. Entrelinha, B. + funda e B. Linha pós foram eficientes em produzir massa de forragem para o pastejo de animais em sistema de integração lavoura pecuária, ou para cobertura do solo para a semeadura direta de culturas anuais na safra seguinte. Apesar da pouca quantidade de massa de braquiária produzida no dia da colheita do milho (Tabela 2.4), após este período, a planta subordinada tem crescimento complementar e se equipara a produção do que seria em seu sistema de cultivo exclusivo, caso a população de plantas na área seja a mesma (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.

A braquiária implantada a lanço em pós-emergência do milho (B. Lanço pós) produziu menor quantidade de massa seca nos dois locais, pois o estabelecimento da planta forrageira nesta situação foi ruim, com poucas plantas na área. Esta situação ocorreu devido à ausência de incorporação das sementes de braquiária ao solo, fato crucial para um bom estabelecimento das plantas. Portanto, não se recomenda a implantação do consórcio de milho com a B. Lanço pós, pelo motivo desta forma de implantação não conseguir população de braquiária

adequada para o estabelecimento de pastagem ou para cobertura do solo. Para a outra situação de distribuição a lanço de sementes de braquiária (B. Lanço), este problema não ocorreu, pois as sementes são distribuídas antes da semeadura do milho, e neste caso, a semeadora faz a incorporação necessária ao bom estabelecimento das plântulas de braquiária.

A produção de massa seca no consórcio de milho com braquiária foi, em média, $24.000 \text{ kg ha}^{-1}$, e não diferiu entre as formas de implantação avaliadas (Tabela 2.5). A produtividade de milho na presente pesquisa foi alta (média $10.870 \text{ kg ha}^{-1}$ em Piracicaba), e a braquiária foi adequadamente suprimida durante o período de coexistência das espécies, que resultou em pequena produção de massa seca (8,4% da MSMB). A quantidade de MSB foi da mesma ordem de grandeza do coeficiente de variação da MSMB, que justifica a não observação de maior produção de biomassa nos sistemas consorciados em relação ao cultivo de milho solteiro (Tabela 2.5). Ceccon et al. (2013) encontraram maior produção de massa vegetal no consórcio de milho com braquiária em relação ao milho solteiro, pois nesta situação a produtividade de milho foi de 3.300 kg ha^{-1} em média, e a massa de braquiária incrementou em 26% a massa seca total do consórcio de milho e braquiária. Zhou et al. (2000) encontraram maior produção de massa seca no consórcio de milho com azevém em relação ao milho solteiro, e a planta forrageira contribuiu com 12% e 16% da biomassa total do consórcio em dois anos de avaliação. Baldé et al. (2011) relataram incremento de 108% na produção de biomassa do consórcio de milho com braquiária em relação a produção de biomassa do cultivo de milho solteiro.

A concentração média de N nas folhas amostradas no florescimento do milho foi de $24,5 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2.5), nível inferior ao considerado adequado ($27,5 - 32,5 \text{ g kg}^{-1}$) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Isso ocorreu, pois nesta pesquisa a dose de N aplicada foi baixa (108 kg ha^{-1} de N), uma vez que o experimento teve o intuito de potencializar o efeito de competição entre as plantas consorciadas. Mesmo assim, a braquiária não reduziu a quantidade de N disponível no solo a ponto de prejudicar absorção de N pelo milho, uma vez que o tratamento sem braquiária não diferiu dos demais. Portanto, a concentração de N foliar abaixo do adequado é devido exclusivamente a pequena quantidade de N aplicada nesta pesquisa, e não pelo efeito da presença da braquiária. Crusciol et al. (2013) também não encontraram diferença na concentração foliar de N quando compararam milho em cultivo solteiro e consorciado com braquiária. Borghi et al. (2013) relataram a

mesma concentração de N foliar para o milho em cultivo solteiro e para duas formas de implantação do consórcio milho com braquiária (B. + funda e B. Linha pós).

Da mesma forma, o N no milho proveniente do fertilizante (NMPF) e a quantidade de nitrogênio total contida nas plantas de milho (NtotM), não foram afetadas pela presença da braquiária (Tabelas 2.6 e 2.7). A braquiária cultivada como planta subordinada ao milho absorve quantidade pequena de N, uma vez que o NtotB representou 9% do NtotMB para as formas de implantação que produziram mais biomassa (Tabela 2.6). Em relação ao ^{15}N -fertilizante, o N absorvido pela braquiária (NBPF) também ocorreu em pequena quantidade, com apenas 8% do NMBPF (Tabela 2.7), e 1,2% do NtotMB (Figura 2.12). Baldé et al. (2011) não observaram diferença na absorção de N em plantas de milho quando compararam o cultivo exclusivo com o consorciado com braquiária.

A quantidade de N encontrada na braquiária, tanto o total quanto o proveniente do fertilizante (NBPF e NtotB) (Tabelas 2.6 e 2.7) foram diferentes entre as formas de implantação da braquiária. As maiores quantidades ocorreram nas situações em que a braquiária foi implantada com êxito (B. Lanço, B. Entrelinha e B. + funda, B. Linha pós). Esta porção do N encontrado na braquiária trata-se de uma quantidade muito pequena em relação ao N aplicado (1,9 a 5,4%) (Tabela 2.8), e não fez falta para o milho, mesmo em situação de baixo aporte de N no sistema como na presente pesquisa. Portanto não é necessário recomendar aumento de dose de fertilizante nitrogenado quando se utiliza o consórcio de milho com braquiária. Baldé et al. (2011) encontraram 33 kg ha^{-1} e 56 kg ha^{-1} de N total em dois anos de avaliação em braquiária implantada no início da lavoura de milho, e não observaram alteração na absorção de N, nem na produtividade do milho em relação ao milho solteiro.

A eficiência da adubação nitrogenada no milho (EANM) foi, em média, 45%, e não foi afetada pela presença da braquiária em qualquer forma de implantação (Tabela 2.8). A eficiência da adubação nitrogenada no consórcio de milho com braquiária (EANMB) foi, em média, 48% e não foi influenciado pela presença da braquiária. Mais uma observação que comprova que a braquiária não prejudica o milho, e a quantidade do N aplicado como fertilizante que é absorvido pela braquiária até o momento da colheita do milho, não é fator limitante para o desenvolvimento do milho.

Desta forma, o cultivo de milho com B. Lanço, B. Entrelinha, B. + funda e B. Linha pós permite a produção de uma planta forrageira ao mesmo tempo em que se produz milho, para formação de pastagem, ou para cobertura do solo e formação de biomassa para realizar o plantio direto da próxima cultura. Outro benefício é a permanência de uma espécie de planta na área, que retoma o crescimento após a colheita do milho, absorve nutrientes que poderiam ser perdidos, como também, evita a erosão do solo (STROCK; PORTER; RUSSELLE, 2004; JOSHI; TAMBE, 2010; RESTOVICH; ANDRIULO; PORTELA, 2012; FRASER et al., 2013; MONTENEGRO et al., 2013; HASHEMI et al., 2013).

A EANM encontrada nesta pesquisa foi da mesma ordem de grandeza da relatada por Dourado-Neto et al. (2010) em experimentos de milho desenvolvidos no Sri Lanka e Vietnam (42 e 44% respectivamente), e superior aos encontrados nos experimentos de milho desenvolvidos no Chile e Malásia (34 e 20% respectivamente). Ding et al. (2011) demonstraram EAN de 50% no milho adubado com ureia marcada. Gabriel e Quemada (2011) obtiveram EAN de 40% a 51% em milho semeado após vários tipos de culturas de cobertura e pousio, durante 3 anos de avaliação. Portela et al. (2006) reportaram EAM de 39% na média de experimentos desenvolvidos em 2 tipos de solo.

A figura 2.12 ilustra a proporção do nitrogênio total acumulado no consórcio de milho com braquiária (N_{totMB}) que foi oriunda do ^{15}N -fertilizante absorvido pelo milho (NMPF), pela braquiária (NBPF), o nitrogênio proveniente de outras fontes (solo e fertilizante N-P-K) oriundo da braquiária e do milho. O N acumulado pela planta dominante (milho) representa, em média, 95% do N_{totMB} , o restante (5%) é resultante da contribuição da planta subordinada (braquiária). A maior parte do nitrogênio acumulado no milho e na braquiária vieram principalmente do solo (média de 85%). É comum trabalhos de pesquisa que identificaram maior contribuição do N do solo em comparação ao N-fertilizante no total de N absorvido em plantas de milho (DOURADO-NETO et al., 2010; RIMSKI-KORSAKOV; RUBIO; LAVADO, 2012; SUTER et al., 2013).

Figura 2.12 – Participação do nitrogênio no milho proveniente do fertilizante (NMPF); Nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF); Nitrogênio no milho proveniente de outras fontes (solo + N-P-K) (N-solo-M); Nitrogênio na braquiária proveniente de outras fontes (solo + N-P-K) (N-solo-B), no total de N absorvido no consórcio de milho-braquiária (NtotMB), para as formas de implantação do consórcio de milho com braquiária

As formas de implantação da braquiária não influenciaram a quantidade de ^{15}N fertilizante no solo até a camada de 0,8 m, nem o total de ^{15}N -fertilizante encontrado no solo (NSPF). A recuperação no solo foi, em média, 25,7 kg ha^{-1} equivalente a 32% de todo ^{15}N -fertilizante aplicado (Tabelas 2.9 e 2.10). Liang et al. (2013) encontraram no solo até 1,0 m de profundidade, 45% do ^{15}N -fertilizante aplicado. Ottman, Tickes e Husman (2000) recuperaram no solo, até 4,0 m de profundidade, 42% do ^{15}N aplicado na média de três locais estudados.

Apesar da adição de uma espécie ao sistema com abundante sistema radicular, a braquiária não manifestou efeito significativo na absorção de N do solo. A planta subordinada, por ser sombreada, tem menor captação de radiação fotossinteticamente ativa (MUNZ et al., 2014), e reduz a transpiração e absorção de N (SUGIURA; TATENO, 2013), e por isso, absorveu quantidade pequena de N (Tabela 2.6).

Na camada de 0,8 a 1,0 m foi encontrada maior quantidade de ^{15}N -fertilizante no cultivo de milho solteiro, e nas formas de implantação que produziram menor massa de braquiária (B. Lanço pós e B. Linha pós). Esta observação demonstra um indício de maior absorção de N em profundidade pela braquiária, que aproveita uma pequena parte do N que está passível de lixiviação, embora em quantidade diminuta (Tabelas 2.9 e 2.10; Figura 2.13). Fraser et al. (2013) relataram lixiviação de nitrato 50% menor quando a área foi cultivada com culturas de

cobertura durante o inverno. Restovich, Andriulo e Portela (2012) avaliaram sete tipos de plantas utilizadas para cobertura do solo, e verificaram redução da lixiviação de nitrato de 50% a 90% em relação ao solo mantido em pousio após a colheita da cultura principal. Qi et al. (2011) indicaram que 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 maior quantidade do ^{15}N -fertilizante encontrada no solo foi na camada superficial, de 0,0-0,2 m, correspondente a 76% de todo o ^{15}N encontrado no solo até a profundidade de 1,0 m (Tabela 2.9). Isso correu devido ao grande potencial de imobilização de N pelos micro-organismos dos solos de clima tropical úmido, uma vez que a temperatura, umidade e carbono, são abundantes nos agroecossistemas tropicais, e o N por sua vez, é o elemento essencial aos micro-organismos limitante no solo. A Figura 2.13 ilustra a proporção do ^{15}N -fertilizante encontrado na camada superficial do solo avaliado.

O alto potencial de imobilização de N do solo restringe a percolação do N no perfil do solo, fato que justifica a pouca quantidade de ^{15}N -fertilizante encontrada nas maiores profundidades do solo (Tabelas 2.9 e 2.10; Figura 2.13). Gabriel e Quemada (2011) também encontraram pequena quantidade do ^{15}N fertilizante nas maiores profundidades do solo (1 a 9% de todo N recuperado no solo), e 77% a 86% estavam na camada superficial de 0,0-0,4 m. Hancock et al. (2011) encontraram 90% do ^{15}N -fertilizante do solo na camada de 0,0-0,1 m. Ottman, Tickes e Husman (2000) determinaram 64% de todo ^{15}N -fertilizante encontrado no solo nos primeiros 0,3 m de solo. Portela et al. (2006) relataram que 15% a 29% do ^{15}N -fertilizante aplicado ficou imobilizado no solo.

Figura 2.13 - Participação do ^{15}N -fertilizante de cada camada do solo no total de ^{15}N -fertilizante encontrado no solo para cada forma de implantação do consórcio de milho e braquiária

A presença da braquiária não influenciou a recuperação total do ^{15}N -fertilizante em nenhuma forma de implantação do consórcio de milho com braquiária (Tabela 2.11). Foram recuperados nesta pesquisa, em média 64 kg ha^{-1} dos 80 kg ha^{-1} de N aplicados como ureia marcada, divididos em 38 kg ha^{-1} nas plantas de milho e braquiária, 26 kg ha^{-1} no solo até 1,0 m de profundidade, e os 16 kg ha^{-1} restantes, não foram encontrados (Tabelas 2.7, 2.9, 2.11). Estas quantidades representam uma recuperação no sistema de 80%, em que 48% do ^{15}N -fertilizante aplicado foram encontrados nas plantas de milho e braquiária e 32% no solo, e o restante, não foram encontrados (20%) (Tabelas 2.8, 2.10 e 2.11; Figura 2.14). Timmons e Baker (1992) relataram recuperação no sistema solo-planta de 58% a 70%, e o NNR foi de 30% a 42%. Gabriel e Quemada (2011) avaliaram a recuperação de ^{15}N -fertilizante no sistema solo planta e encontraram variação de 20% a 38% de perdas (NNR).

O NNR não foi alterado com a presença da braquiária. A absorção de N pela braquiária não foi significativa na soma do N encontrado no milho e na braquiária em relação ao cultivo de milho solteiro (Tabela 2.8), como também, não potencializou as perdas de N do sistema (Tabela 2.11). Os 20% do ^{15}N -fertilizante não recuperado nesta pesquisa são oriundos de erros metodológicos e analíticos, perdas por volatilização de amônia, lixiviação de N, desnitrificação e perdas de N pela parte aérea das plantas após antese.

A ureia foi incorporada ao solo neste trabalho, fato que reduziu consideravelmente a volatilização da amônia (NATHAN; MALZER, 1994; CAI et al., 2002; ROCHETTE et al., 2013). A lixiviação admite-se ser um processo pouco intenso nesta pesquisa, uma vez que a maior quantidade do ^{15}N -fertilizante do solo estava na camada superficial do solo devido a imobilização do N aplicado, e pequena quantidade de N foi encontrada na profundidade de 0,2-1,0 m (Figura 2.13). Trabalhos que relatam a pequena lixiviação do N do fertilizante nitrogenado aplicado durante uma safra agrícola são comuns na literatura. Baker e Timmons (1994) aplicaram ^{15}N -fertilizante e encontraram lixiviação de 2,4% a 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 é proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo, e o ^{15}N -fertilizante representa 11% a 16% do total lixiviado, ou 3% a 6% do N aplicado via fertilizante. Rimski-Korsakov, Rubio e Lavado (2012) relataram lixiviação de apenas 0,8% do N aplicado como fertilizante. Fernandes, Libardi e Carvalho (2006) descreveram lixiviação de nitrato de 68 kg ha⁻¹ a 96 kg ha⁻¹, mas apenas 1 kg ha⁻¹ a 3 kg ha⁻¹ foi proveniente do fertilizante. Ghiberto et al. (2011) declaram lixiviação de 1,1 kg ha⁻¹ de N dos quais apenas 54 g ha⁻¹ foram oriundos do N-fertilizante em cultivo de cana de açúcar em ano mais seco que a média do local.

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, e nos momentos de encharcamento do solo após as chuvas, estabelece-se condição anaeróbica que favorece o processo de desnitrificação (VENTEREA; BURGER; SPOKAS, 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, Schepers e Vigil (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.

A Figura 2.14 ilustra o balanço do ^{15}N -fertilizante para cada forma de implantação do consórcio de milho com braquiária.

Figura 2.14 - Balanço do ^{15}N -fertilizante com a participação do Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante (Solo); Nitrogênio no milho proveniente do fertilizante (Milho); Nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (Braquiária) e Nitrogênio não recuperado (NNR) nas formas de implantação do consórcio de milho com braquiária

2.5 Conclusões

A implantação da braquiária distribuída a lanço momentos antes da semeadura do milho (B. Lanço); Implantação da braquiária no centro das entrelinhas de milho (B. Entrelinha); Implantação da braquiária junto com o fertilizante de semeadura do milho (B. + funda) e a implantação da braquiária posterior ao milho, junto com o fertilizante de cobertura incorporado nas entrelinhas do milho (B. Linha pós) são recomendadas para o estabelecimento de um sistema de consórcio de milho com braquiária, com garantia de produção de massa vegetal para o pastejo de animais na entressafra ou para cobertura do solo e realização da semeadura direta da próxima safra.

A braquiária em qualquer forma de implantação do consórcio, não causa redução da produtividade de grãos de milho e não afeta a absorção de N pelo milho.

Não é necessário aumentar a dose do fertilizante nitrogenado em sistema de milho consorciado com braquiária, uma vez que a braquiária absorve no máximo 5,4 % do N-fertilizante.

Referências

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.

AMOSSÉ, C.; JEUFFROY, M.H.; CELETTE, F.; DAVID, C. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. . **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 49, p. 158-167, Aug. 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.

BEDOUSSAC, L.; JUSTES, E. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 330, n. 1-2, p. 37-54, May. 2010a.

_____. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 330, n. 1-2, p. 19-35, May. 2010b.

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.

CAI, G.; CHEN, D.; WHITE, R.E.; FAN, X.H.; PACHOLSKI, A.; ZHU, Z.L.; DING, H. Gaseous nitrogen losses from urea applied to maize on a calcareous fluvo-aquic soil in the North China Plain. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, Victoria, v. 40, n. 5, p. 737-748, Aug. 2002.

CAROF, M.; TOURDONNET, S. de; SAULAS, P.; LE FLOCH, D.; ROGER-ESTRADE, J. Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. II. Competition for light and nitrogen. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 27, n. 4, p. 357-365, Nov. 2007.

CECCON, G.; STAUT, L.A.; SAGRILO, 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.

DERKSEN, D.A.; ANDERSON, R.L.; BLACKSHAW, R.E.; MAXWELL, B. Weed dynamics and management strategies for cropping systems in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 2, p. 174-185, Mar. 2002.

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.

FISHER, J.; TOZER, P.; ABRECHT, D. Livestock in no-till cropping systems – a story of trade-offs. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 52, n. 4, p. 197-214, Mar. 2012.

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.

HANCOCK, J.M.; McNEILL, A.M.; McDONALD, G.K.; HOLLOWAY, R.E. Fate of fertiliser N applied to wheat on a coarse textured highly calcareous soil under simulated semi-arid conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 348, n.1/2, p. 139-153, Nov. 2011.

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.

HAUGGAARD-NIELSEN, H.; AMBUS, P.; JENSEN, E.S. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 101-109, Apr. 2001.

_____. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 65, n. 3, p. 289-300, Mar. 2003.

HAUGGAARD-NIELSEN, H.; ANDERSEN, M.K.; JØRNSGAARD, B.; JENSEN, E.S. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, n. 2/3, p. 256-257, Feb. 2006.

HILTBRUNNER, J.; STREIT, B.; LIEGGENS, M. Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover? **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 102, n. 3, p. 163-171, June 2007.

HILTBRUNNER, J.; LIEDGENS, M.; BLOCH, L.; STAMP, P.; STREIT, B. Legume cover crops as living mulches for winter wheat: components of biomass and the control of weeds **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 26, n. 1, p. 21-29, Jan. 2007.

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.

KOSINSKI, S.M.; KING, J.R.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K.; SPANER, D. Barley and triticale underseeded with a kura clover living mulch: Effects on weed pressure, disease incidence, silage yield, and forage quality. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 91, n. 4, p. 677-687, July 2011.

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.

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

LIANG, B.; ZHAO, W.; YANG, X.; ZHOU, J. Fate of nitrogen-15 as influenced by soil and nutrient management history in a 19-year wheat–maize experiment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 144, p. 126-134. Mar. 2013.

LIEDGENS, M.; FROSSARD, E.; RICHNER, W. Interactions of maize and Italian ryegrass in a living mulch system: (2) Nitrogen and water dynamics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 259, n. 1-2, p. 243-258, Feb. 2004.

LITHOURGIDIS, A.S.; VLACHOSTERGIOS, D.N.; DORDAS, C.A.; DAMALAS, C.A. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 34, n. 4, p. 287-294, May. 2011.

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

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.

NATHAN, M.V.; MALZER, G.L. Dynamics of ammonia volatilization from Turkey manure and urea applied to soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 3, p. 985-990, May 1994.

OTTMAN, M.J.; TICKES, B.R.; HUSMAN, S.H.; Nitrogen-15 and bromide tracers of nitrogen fertilizer movement in irrigated wheat production. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, n. 5, p. 1500-1508, Sept. 2000.

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. Effect of water stress in maize crop production and nitrogen fertilizer fate. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 32, n. 4, p. 565-578, Apr. 2009.

_____. Fate of the nitrogen from fertilizers in field-grown maize. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 93, n. 3, p. 253-263, July 2012.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; GASSER, M.O.; MACDONALD, J.D.; PELSTER, D.E.; BERTRAND, N. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, Nov. 2013.

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

SAWYER, J.; PEDERSEN, P.; BARKER, D.W.; DIAZ, D.A.R.; ALBRECHT, K. Intercropping corn and Kura Clover: response to nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 568-574, Mar. 2010.

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.

STEVENS, W.B.; HOEFT, R.G.; MULVANEY, R.L. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study: II. Nitrogen uptake efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 4, p. 1046-1053, July 2005.

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.

SUTER, H.; SULTANA, H.; TURNER, D.; DAVIES, R.; WALKER, C.; CHEN, D. Influence of urea fertiliser formulation, urease inhibitor and season on ammonia loss from ryegrass. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 95, n. 2, p. 175-185, Mar. 2013.

THORSTED, M.D.; OLESEN, J.E.; WEINER, J. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, n. 2/3, p. 280-290, Feb. 2006.

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.

TOLESSA, D.; DU PREEZ, C.C.; CERONIO, G.M. Fate of nitrogen applied to maize on conventional and minimum tilled Nitisols in Western Ethiopia. **South African Journal of Plant and Soil**, Bethlehem, v. 24, n. 2, p.77-83, 2007.

TRAN, T.S.; GIROUX, M. Fate of ^{15}N -labelled fertilizer applied to corn grown on different soil types. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 78, n. 4, p. 597-605, Nov. 1998.

UCHINO, H.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y.; YUDATE, T.; NAKAMURA, S. Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 113, n. 3/4, p. 342-351, Sept. 2009.

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.

YANG, C.; HUANG, G.; CHAI, Q.; LUO, Z. Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, n. 3, p. 426-432, Dec. 2011.

ZEMENCHIK, R.A.; ALBRECHT, K.A.; BOERBOOM, C.M.; LAUER, J.G. Corn Production with Kura Clover as a living mulch. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 4, p. 698-705, July 2000.

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.

ZHANG, G.; YANG, Z.; DONG, S. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 66-73, Oct. 2011.

ZHOU, X.; MADRAMOOTOO, C.A.; MACKENZIE, A.F.; KALULI, J.W.; SMITH, D.L. Corn yield and fertilizer N recovery in water-table-controlled corn-rye-grass systems. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 12, n. 2, p. 83-92, Mar. 2000.

ZIYOMO, C.; ALBRECHT, K.A.; BAKER, J.M.; BERNARDO, R. Corn performance under managed drought stress and in a Kura Clover living mulch intercropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 3, p. 579-586, Feb. 2013.

3 EFICIÊNCIA DA UREIA RECOBERTA COM POLÍMERO PARA LIBERAÇÃO CONTROLADA NO CONSÓRCIO DE MILHO COM BRAQUIÁRIA

Resumo

O aumento da eficiência do uso de fertilizantes é uma das metas dos centros de pesquisa de nutrição e adubação de plantas, assim como das indústrias de fertilizantes. A ureia de liberação controlada com grânulos revestidos com polímero de poliuretano tem a proposta de aumentar a eficiência de uso pelo fornecimento gradual do nitrogênio, de acordo com a necessidade da planta, e reduzir perdas por volatilização e desnitrificação. Existe expectativa da viabilidade do uso de ureia aplicada a lanço com o advento desta nova tecnologia. Não se sabe qual a eficiência da adubação nitrogenada (EAN) com uso de ureia de liberação controlada no consórcio de milho com braquiária. Esta pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar a EAN com fertilizante de liberação gradual, em razão do modo de aplicação no consórcio milho – braquiária, e a provável viabilidade de aplicação a lanço da ureia revestida. Foram desenvolvidos experimentos nos municípios de Taquarituba-SP e Uberlândia-MG em esquema fatorial 4x2 (4 formas de adubação e 2 modos de aplicação) no consórcio de milho com braquiária. As formas de adubação foram: 1 – Ureia comum aplicada na cobertura (UCC); 2 – Ureia comum aplicada na semeadura do milho (UCS); 3 – Ureia revestida com polímero para liberação em 30 dias aplicada na semeadura do milho (ULC30); 4 – Mistura de ureia revestida com polímero para liberação em 30 e 60 dias aplicada na semeadura do milho (ULC30+60); e dois modos de aplicação: 1 – a lanço; 2 – Incorporado. Para determinação da EAN foi utilizado ^{15}N -ureia em microparcelas. A produtividade de milho e a massa seca de braquiária não foram afetadas pelos modos e formas de adubação. Em Taquarituba a distribuição de chuvas foi favorável à aplicação a lanço e em Uberlândia o potencial de volatilização foi elevado. As ureias de liberação controlada não promoveram efeito positivo no acúmulo de N, Nitrogênio proveniente do fertilizante e EAN nas plantas de milho, e no consórcio de milho e braquiária, assim como na recuperação do N no solo. As ureias de liberação controlada não promovem maior recuperação do ^{15}N -fertilizante pelo milho e pela braquiária em relação à ureia comum. A UCC, UCS, ULC30 e ULC30+60 aplicadas a lanço e incorporada não alteram a produção de biomassa da braquiária. O N do fertilizante absorvido pela braquiária consorciada com milho é menos de 1% de todo N acumulado, e no máximo 2% do N-fertilizante. As ureias de liberação controlada não viabilizam a aplicação a lanço, e dependem das mesmas condições climáticas que a ureia comum para obterem bom desempenho.

Palavras-chave: Nitrogênio marcado ^{15}N ; *Brachiaria* spp.; *Urochloa* spp; Aplicação a lanço e incorporada

Abstract

The increase of fertilizer use efficiency is one of the main goals of the plant nutrition research, as well as the fertilizer industries. A slow release urea in coated granules made of polyurethane polymer was proposed to increase the use efficiency by the gradual nitrogen supply, according to the plant needs, and to reduce losses by volatilization and denitrification. There is a belief that the usage of slow release

fertilizer can turn the nitrogen (N) broadcast application feasible. Besides that, the nitrogen use efficiency (NUE) of slow release urea at the intercropping corn and palisadegrass it is not know. The aim of this research was to evaluate the NUE from slow release fertilizer, according to application forms and the viability of broadcast application of polymer coated urea. Experiments were conducted in two sites (Taquarituba-SP and Uberlândia-MG), in a 4x2 factorial design (4 fertilization treatments and 2 application forms) in the intercropping of corn and palisadegrass. The fertilization treatments were: 1 - Common Urea topdressing (CUT), 2 - Common Urea at corn sowing (CUS), 3 - Polymer coated urea to release in 30 days applied at sowing (PCU30) 4 - Mixing of polymer coated urea to release in 30 and 60 days applied at sowing (PCU30+60) and two forms of application: 1 – broadcast placement and 2 – in furrow. For the determination of NUE was used ^{15}N -urea. The corn yield and palisadegrass above ground biomass were not affected by the fertilization treatments and forms of application. The climatic conditions were different at the two sites. In Taquarituba the rainfall distribution was favorable to broadcast placemen and in Uberlândia the volatilization potential was high. Slow release urea did not increase the total N uptake, nitrogen uptake from fertilizer and NUE in the intercropping system, as well as in the N recovery from soil. The slow release urea does not promote a greater recovery of ^{15}N -fertilizer by the corn and palisadegrass in relation to common urea. The CUT, CUS, PCU30 and PCU30+60 placed broadcasted and in furrow produced the same biomass of corn and palisadegrass. The N uptake from fertilizer by palisadegrass intercropped with corn is less than 1% of all N uptake on the intercropping system and at most 2% of N fertilizer applied. The slow release urea does not enable the broadcast placement, and its efficiency depends upon the same climatic conditions of the common urea.

Keywords: ^{15}N - labeled nitrogen; *Brachiaria* spp.; *Urochloa* spp; Broadcast and in furrow placement

3.1 Introdução

A produção agrícola e pecuária evoluiu nos últimos anos em circunstância do avanço tecnológico da humanidade. A produção mundial e a produtividade dos alimentos aumentaram significativamente devido ao avanço das pesquisas nas áreas de máquinas agrícolas, melhoramento genético de plantas e animais, defensivos agrícolas para o controle de plantas daninhas, pragas e doenças das plantas cultivadas e medicamentos para controle de parasitas e enfermidades dos animais domésticos. A área de nutrição animal por meio do conhecimento das exigências nutricionais para altas produtividades e em nutrição de plantas com o aperfeiçoamento de corretivos de acidez do solo, fertilizantes e promotores de crescimento vegetal, também foram importante para o desenvolvimento da agropecuária.

O consumidor dos grandes centros urbanos aumentou as exigências em relação à qualidade dos alimentos, criação e produção sustentável no ponto de

vista de preservação do ambiente e bem estar animal e, também, em relação ao uso de defensivos agrícolas e hormônios que podem gerar resíduos no produto final. Outra preocupação é com a emissão de gases do efeito estufa gerada no desmatamento, queima de combustível fóssil, queima de biomassa, eliminação de metano por eructação de ruminantes e aplicação de fertilizante nitrogenado na agricultura (HOWDEN; REYENGA, 1999; BHATTA; ENISHI; KURIHARA, 2007; ALLEN et al., 2010; DENMEAD et al., 2010).

Entre várias exigências de mitigação e para desenvolver um manejo sustentável das áreas agrícolas (BRANCA et al., 2013; MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2013), o aumento da eficiência do uso de fertilizantes é um dos desígnios importante dos centros de pesquisa de nutrição e adubação de plantas, assim como das indústrias de fertilizantes.

A principal estratégia das indústrias para aumentar a eficiência dos fertilizantes é o advento de novas tecnologias denominada fertilizantes “inteligentes”, que podem ser divididos em fertilizantes com inibidores de reações bioquímicas (inibidores da enzima urease ou inibidores da nitrificação) e fertilizantes de liberação lenta ou controlada, que são caracterizados por grânulos revestidos com substâncias orgânicas (resinas, borracha) ou inorgânicas (polímeros sintéticos, enxofre ou minerais).

Os fertilizantes “inteligentes” vêm com a asserção de aumentar a eficiência de uso dos nutrientes, por reduzir perdas por lixiviação, volatilização, fixação e emissão de óxido nitroso (depende da fonte N, P ou K), ou por aumentar a absorção pelas plantas por meio do fornecimento gradual, de acordo com a demanda da planta.

A ureia é a fonte de nitrogênio com maior potencial de uso em detrimento do menor custo nas condições brasileiras. As limitações de uso são em relação à aplicação a lanço que potencializa a perda do N na forma de NH_3 . O aumento do rendimento operacional da semeadura, principalmente nas grandes propriedades do cerrado, é importante para otimizar os conjuntos de trator e semeadora, e conseguir realizar a semeadura da safra no período adequado que garante maior potencial produtivo. A alternativa mais utilizada para este propósito é a redução da quantidade de fertilizante na semeadora, com a aplicação deste a lanço. Existe expectativa da viabilidade do uso de ureia aplicada a lanço com o advento destas novas tecnologias dos fertilizantes “inteligentes”.

A ureia de liberação controlada com grânulos revestidos com polímero de poliuretano tem a proposta de aumentar a eficiência de uso pelo fornecimento gradual do nitrogênio, de acordo com a necessidade da planta, e reduzir perdas por volatilização, uma vez que a ureia está protegida das condições ambientais favoráveis à volatilização da amônia, e a sua liberação ocorre, em tese, em um evento chuvoso favorável para a incorporação do N no solo. Outro argumento é a redução da emissão de N_2O , uma vez que a liberação gradual distribui o nitrogênio no tempo, e reduz altas concentrações de N no solo em todos os momentos, inclusive nos de anaerobiose que ocorrem em situações de excesso de umidade, condições favoráveis a desnitrificação.

O processo de desnitrificação em fertilizantes de liberação controlada foi investigado por Hyatt et al. (2010) que observaram redução da emissão de N_2O quando utilizaram ureia revestida com polímero quando comparado a aplicações parceladas de ureia comum em batata. Hadi et al. (2008) relataram para aplicação de fertilizantes em milho a emissão de N_2O de 57,3 mg m² no tratamento com fertilizante revestido com polímero, que foi 91% menor do que o tratamento com ureia comum aplicada de forma parcelada, embora neste trabalho, o desempenho da ureia com inibidor de nitrificação teve desempenho ainda melhor. Halvorson, Del Grosso e Alluvione (2010) determinaram emissão de N_2O 49% menor com a utilização de fertilizante recoberto com polímero em relação à ureia comum, ambos aplicados em superfície em sistema de plantio direto com rotação milho-milho.

Em relação à volatilização da amônia com aplicação de fertilizantes “inteligentes”, Zhao et al. (2013) relataram menor perda com aplicação de fertilizante nitrogenado recoberto com resina (5,65 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de NH_3), 46% menor do que a aplicação com o fertilizante comum (10,53 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de NH_3). Nascimento et al. (2013) estudaram a perda por volatilização de vários tipos de recobrimento de ureia, e concluíram que o uso dos fertilizantes protegidos reduzem as perdas por volatilização da amônia quando comparado com a ureia comum, mas a volatilização da amônia destes fertilizantes protegidos é maior do que as fontes nitrato de amônio e sulfato de amônio. Massey et al. (2011) mencionaram menor volatilização da amônia em ureia com inibidor de urease quando paragonado com ureia comum, mas a perda de amônia do fertilizante com inibidor foi maior do que a fonte nitrato de amônio. Cantarella et al. (2008) avaliaram a volatilização de NH_3 de ureia, ureia com inibidor de urease e nitrato de amônio em área de cana de açúcar com colheita sem

queima, e deduziram que o inibidor de urease reduz a perda por volatilização quando equiparado com a ureia comum, mas a eficácia do produto é dependente das condições climáticas (ocorrência de eventos chuvosos após a aplicação), e não se equipara às mínimas perdas da fonte de nitrato de amônio.

Trabalhos que avaliaram o efeito de fertilizantes de liberação controlada são controversos em relação a respostas em produtividade ou maior aproveitamento do N do fertilizante. Zhao et al. (2013) descreveram que o fertilizante nitrogenado de liberação controlada promoveu absorção constante durante o ciclo do milho e retardou a senescência das folhas no final do ciclo quando comparado a ureia comum, que promoveu grande absorção de N no período vegetativo. Estes mesmos autores inferiram produtividade de grãos 13% maior para o milho adubado com fertilizante de liberação controlada em comparação ao fertilizante comum. Hu et al. (2013) relataram maior quantidade de nitrato disponível no solo após o florescimento do milho nas parcelas adubadas com fertilizante de liberação controlada (recobrimento com resina), que resultou em maior aproveitamento do N aplicado, maior eficiência no uso da água e maior produtividade de grãos de milho. Ding et al. (2011) testaram fertilizante marcado (^{15}N) de liberação controlada em milho, através de um mecanismo de revestimento dos grânulos do fertilizante com gel, e relataram aumento de 8% na eficiência da adubação nitrogenada (EAN) e redução de 8,9% nas perdas de N no sistema. Shao et al. (2013) relataram aumento da produtividade de milho com uso de ureia de liberação controlada tanto em situação de irrigação como em sequeiro. Yang et al. (2011) avaliaram a eficácia de ureia de liberação controlada em trigo, e encontraram efeitos positivos no uso desta fonte como maior produtividade e aproveitamento do N-fertilizante, e sugeriram inclusive, a redução de até 1/3 da dose de N quando se utiliza a ureia revestida. Ye et al. (2013) sugeriram um sistema de manejo com irrigação intermitente e fertilizante revestido com polímero em cultivo de arroz para aumentar o uso eficiente de água, nitrogênio e obter maior produtividade. Nash, Nelson e Motovalli (2013) desenvolveram pesquisas com N de liberação controlada em sistemas de cultivo e formas de aplicação em solos argilosos mal drenados com alto potencial de perda de N, e concluíram que a ureia revestida com polímero aumenta a produtividade de milho em 12% a 14% em relação à ureia comum quando aplicadas de forma incorporada, e os piores desempenhos tanto da ureia protegida quanto da comum ocorre em aplicações a lanço.

Existem trabalhos que demonstraram respostas variáveis em relação ao desempenho de fertilizantes de liberação controlada, como o de Noellsch et al. (2009) que avaliaram o desempenho de ureia revestida com polímero, ureia comum e amônia anidra em três posições do relevo (topo, meia encosta e pediplano) durante dois anos, e relataram maior produtividade de grãos de milho nos tratamentos de amônia anidra e ureia revestida apenas na posição mais baixa do relevo onde o solo estava sempre mais úmido que as outras posições da paisagem. Para estes autores, a EAN foi maior para estas duas fontes em relação a ureia comum no pediplano, apenas no ano em que houve maior precipitação pluvial. A justificativa destes autores para estes resultados, foi devido ao excesso de água no solo na posição de pediplano que potencializou as perdas de N da ureia. Linquist et al. (2013) fizeram um levantamento bibliográfico de várias situações que utilizaram fertilizantes “inteligentes”, em um total de 18 produtos que prometem aumentar a eficiência de uso do fertilizante (inibidores de reações bioquímicas e fertilizante protegido), e concluíram que o aumento da eficiência destes produtos é modesto (5,7% para produtividade e 8% para absorção de N), e que os benefícios são maiores em condições de solos com pH elevado. Gagnon, Ziadi e Grant (2012) encontraram melhor desempenho da ureia revestida com polímero apenas nos anos chuvosos (incremento de 0,8 Mg ha⁻¹ a 1,6 Mg ha⁻¹ de grãos de milho), e no ano seco não houve benefício no uso do fertilizante de liberação controlada. Malhi et al. (2011) conduziram experimentos com fertilizante de liberação controlada em dois locais durante 1983 e 2009, e encontraram melhor desempenho para a ureia revestida com polímero entre os anos de 1983 e 1996 no local de solo de textura mais arenosa, e sem diferença entre ureia revestida e ureia comum no período de 1997-2009. Por outro lado, no local de textura mais argilosa, a ureia comum promoveu melhor resposta no período de 1983 a 1996, sem diferenças entre as fontes nos outros anos. Malhi et al. (2010) avaliaram o efeito da ureia revestida com polímero em 7 ocasiões (entre anos e locais), e relataram vantagem do uso da ureia protegida em relação à ureia comum em apenas dois dos sete experimentos, na situação de aplicação incorporada, durante a primavera e antes da semeadura. Para estes autores, a melhor opção, com menor risco, foi o tratamento de ureia comum parcelada (incorporada antes da semeadura e em pós-emergência).

Por outro lado, existem trabalhos que não identificaram qualquer benefício na produtividade ou absorção de N com uso de fertilizantes “inteligentes”.

Massey et al. (2011) não observaram diferenças de produção de forragem (*Cynodon dactylon*) em qualquer dose de N avaliada para ureia comum e ureia com inibidor de urease. Hyatt et al. (2010) não observaram diferença na produtividade de batata entre o uso de fertilizante recoberto com polímero aplicado na semeadura e ureia em aplicações parceladas, a vantagem do fertilizante de liberação controlada estaria apenas na redução do custo de produção pela eliminação das operações de parcelamento de N. Khakbazan et al. (2013) conduziram experimentos em seis localidades por três anos agrícolas e em várias culturas, e concluíram que em geral a ureia comum tem o mesmo desempenho da ureia revestida com polímero, e nas poucas ocasiões que a ureia revestida promoveu maior produtividade, o uso da ureia protegida não se justifica pelo maior custo do fertilizante. Grant et al. (2012) estudaram ureia revestida com polímero em cinco locais durante três safras agrícolas e aferiram que a ureia comum aplicada no manejo tradicional de cada região é igual ou melhor que a ureia protegida em todos os parâmetros avaliados (produtividade de milho, concentração de N nos grãos, acúmulo de N total e aproveitamento do N do fertilizante). Rodrigues et al. (2010) avaliaram o efeito de fertilizantes de liberação controlada e não encontraram qualquer vantagem em relação ao uso da ureia comum. Halvorson e Del Grosso (2013) encontraram a mesma produtividade de milho em vários estudos quando compararam ureia comum e revestida com polímero em duas formas de aplicação (lanço e incorporado).

O consórcio de milho com braquiária é uma técnica de cultivo que permite a produção de grãos de milho e massa de braquiária que pode ser utilizada para pastejo de animais durante o inverno ou formação de uma pastagem, como também para manter o solo coberto durante a entressafra e produção de resíduos vegetais para realizar a semeadura direta da lavoura seguinte (BALDÉ et al., 2011; BORGHI et al., 2012, 2013; COSTA et al., 2012; CRUSCIOL et al., 2013). A adubação nitrogenada neste sistema deve ser feita em quantidade e época adequada para garantir vantagem competitiva ao milho, e se tornar a planta dominante do consórcio, e sombrear a braquiária para que esta tenha o comportamento de planta dominada, e assim conseguir o sucesso deste sistema sem redução de produtividade do milho (ZHANG; LI, 2003). Não se sabe qual a resposta do uso de ureia de liberação controlada no consórcio de milho com braquiária.

Esta pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar a eficiência do N proveniente de fertilizante de liberação gradual, em razão do modo de aplicação no consórcio milho – braquiária, e a provável viabilidade de aplicação a lanço da ureia revestida.

3.2 Material e Métodos

Para verificar a viabilidade do uso de ureia de liberação controlada no consórcio de milho com braquiária foi desenvolvido dois experimentos, um no município de Taquarituba-SP e o outro em Uberlândia-SP, ambos na safra 2011-2012.

A forma de implantação do consórcio de milho com braquiária utilizada foi com a semeadura da *Urochloa ruziziensis* (sinônimo *Brachiaria ruziziensis*) em sulcos no centro das entrelinhas do milho (Figura 3.1), quando o milho apresentava 4 folhas expandidas (25 dias após a semeadura em Taquarituba e 23 dias após a semeadura em Uberlândia). A dose de sementes utilizada foi 7,0 kg ha⁻¹ (valor cultural 51%) nos dois locais de estudo.

Figura 3.1 - Esquema da implantação do consórcio de milho com braquiária quando o milho apresentava 4 folhas expandidas, e sementes de braquiária semeadas no centro das entrelinhas do milho. i – vista superficial; ii – vista em corte longitudinal

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial 4x2 (4 formas de adubação e 2 modos de aplicação) no consórcio de milho com braquiária. As formas de adubação foram: 1 – Ureia comum aplicada na cobertura (milho com 4 folhas expandidas) (UCC); 2 – Ureia comum aplicada na semeadura do milho (UCS); 3 – Ureia revestida com polímero

para liberação em 30 dias aplicada na semeadura do milho (ULC30); 4 – Mistura de ureia revestida com polímero para liberação em 30 e 60 dias aplicada na semeadura do milho (ULC30+60); e dois modos de aplicação: 1 – a lanço; 2 – Incorporado. A Figura 3.2 contém esquema das formas de adubação e modos de aplicação utilizados nesta pesquisa.

Figura 3.2 - Esquema do momento de implantação de cada um dos tratamentos utilizados na pesquisa. i – UCC lanço; ii – UCC incorporada; iii – UCS lanço; iv - UCS incorporada; v – ULC30 lanço; vi – ULC30 incorporada; vii – ULC30+60 lanço; viii – ULC30+60 incorporada

A adubação nitrogenada que variou de acordo com os tratamentos (Figura 3.2), é relativa à quantidade de N recomendada para cobertura em cada região de estudo, ou seja, todas as parcelas receberam fertilizante N-P-K na semeadura de acordo com o recomendado, a fim de garantir uma pequena quantidade de N inicial para o desenvolvimento das plantas nos tratamentos de aplicação ou liberação tardia (UCC, ULC30 e ULC30+60).

As ureias de liberação controlada (30 e 60 dias) utilizadas foram desenvolvidas pela empresa Agropianta por meio da tecnologia do revestimento dos grânulos de ureia com polímero a base de poliuretano (cadeia de unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas). O produto comercial foi elaborado com o revestimento dos grânulos com polímero com base na massa da ureia. Para liberação em 30 dias adicionou-se 3,7% de polímero em relação à massa de ureia, e para liberação em 60 dias acrescentou-se 4,55% de polímero em relação à massa de ureia, mas as garantias do produto comercial especificadas foram 43% de N para ureia de liberação em 30 dias e 42% para ureia de liberação em 60 dias. Mathews e Narine (2010) demonstraram que polímeros a base de poliuretano são alternativa promissora para o revestimento de ureia para promover a liberação controlada do N. Mota (2013) realizou estudo com o mesmo produto utilizado nesta pesquisa em condições controladas e observou atraso na hidrólise da ureia e liberação do N.

A eficiência da adubação nitrogenada nos locais de estudo foi determinada pela técnica do fertilizante marcado com o isótopo estável ^{15}N . No centro de todas as parcelas foram demarcadas microparcels que receberam ureia marcada com 2,53% de átomos ^{15}N (Figuras 3.5 e 3.8).

Foi necessário desenvolver uma metodologia de revestimento da ureia marcada com o polímero, uma vez que o alto valor do produto exige um processo em escala diminuta, com o mínimo de perdas possíveis, e que não ultrapassasse a temperatura de 100° C que proporcionaria a formação de biureto, tóxico às plantas. A ureia marcada produzida pelo laboratório de isótopos estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP) apresentava granulometria grosseira e desuniforme, e para o revestimento com polímero, é necessário ter grânulos perfeitos e rígidos.

Para realizar a granulação da ureia marcada foi necessário reduzir o tamanho das partículas do fertilizante (passante em peneira de 2 μm), para isso a cominuição foi feita em moinho de rotor com martelos fixos e conversor de frequência termostatizado, e posteriormente procedeu-se a granulação em um disco pelletizador modelo Ø 400 (sistema de prato granulador), regulado com ângulo de inclinação de 50° e 26 rotações por minuto. A ureia granulada marcada foi encaminhada ao laboratório da empresa Agropianta onde foi feito o revestimento dos grânulos com poliuretano para liberação em 30 e 60 dias.

Testes empíricos comparativos entre o fertilizante de liberação controlada produzido por esta metodologia e o produto comercial comprovaram a qualidade do produto, e posteriormente a ureia marcada revestida foi analisada no CENA-USP, e constatou-se 42,26% de N para ureia com revestimento para liberação em 30 dias, e 41,03% para ureia revestida com polímero para liberação em 60 dias.

O manejo de plantas daninhas foi feito com dessecação 30 dias antes da semeadura, e aplicação de herbicidas em pós-emergência antes da implantação da braquiária de acordo com o manejo de plantas daninhas de cada local de condução dos experimentos.

No momento do florescimento das plantas de milho (emissão do pendão), foram coletadas folhas para diagnosticar a concentração foliar do nitrogênio. As folhas coletadas foram aquelas em posição abaixo e oposta às espigas de milho de 4 plantas por parcela, no exterior das microparcels (plantas não marcadas com ^{15}N). Das folhas para fins de diagnóstico nutricional separou o terço médio, e foi descartada a nervura central (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Estas folhas foram desidratadas em estufa de ventilação forçada regulada a 65 °C por 72 h, e posteriormente cominuídas em moinho de facas tipo Willey e encaminhadas para análise de teor de nitrogênio no tecido vegetal no laboratório de solos e nutrição de plantas da ESALQ-USP.

TAQUARITUBA-SP

O experimento foi desenvolvido na safra 2011/2012 na fazenda Serrado Chão Quente no município de Taquarituba-SP localizada a 23° 35' 23" de latitude sul e 49° 15' 11" de longitude oeste e 654 m de altitude.

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. A estrutura do Horizonte B foi classificada como blocos angulares de grau moderado. Na Tabela 3.1 estão apresentados os resultados de análises químicas em amostra de terra coletada do solo antes da instalação do experimento.

Tabela 3.1 - Resultados da análise química da terra coletada na área experimental de Taquarituba-SP entre as profundidades de 00-0,2 m

pH	M.O.	S	P*	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				%
6,3	27	18	61	2,0	52	30	16	0	100	84

pH - CaCl₂ 0,01mol.L⁻¹; M.O - Dicromato/Colorimétrico; S - extração Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹-Turbidimetria; P - *Resina trocadora de íons; K, Ca e Mg - extração pela Resina trocadora de íons; Al - Titulometria (1mol L⁻¹); H+Al - pH SMP; CTC - (Ca + Mg + K + H + Al); V - referente a porcentagem de bases (Ca + Mg+ K) na CTC

O Clima de Taquarituba é classificado como Cfa, subtropical com chuvas bem distribuídas e verões quentes (KÖPPEN, 1936), e temperatura média anual de 20°C. Os dados de precipitação pluvial durante a safra agrícola 2011-2012 estão representados na Figura 3.3, e o balanço hídrico desta safra na Figura 3.4.

Figura 3.3 - Dados de chuva em Taquarituba na safra 2011/2012

Figura 3.4 - Balanço hídrico sequencial da safra 2011-2012 na cidade de Taquarituba com dados coletados na estação meteorológica da cidade

O milho foi implantado em sistema de plantio direto no dia 2 de novembro de 2011 com sementes do híbrido DKB 390 VT PRO, espaçadas em 0,9 m entrelinhas e 6 plantas por metro ($66.666 \text{ sementes ha}^{-1}$) e população final prevista de $60.000 \text{ plantas ha}^{-1}$.

A adubação de semeadura foi feita com 30 kg ha^{-1} de nitrogênio; 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O . O restante do nitrogênio (120 kg ha^{-1}) referente à recomendação de adubação de cobertura foi feita com ureia comum ou de liberação controlada de acordo com os tratamentos propostos. O total de N aplicado no consórcio de milho - braquiária foi 150 kg ha^{-1} .

As parcelas continham 72 m^2 e eram constituídas de 8 linhas de milho com 10 m de comprimento (Figura 3.5) No centro das parcelas foram instaladas microparcels com dimensões de 1,0 m de comprimento e 2,7 m de largura (três linhas de milho), onde foi aplicada a ureia marcada. O fertilizante marcado foi aplicado apenas na linha de milho central da microparcela (Figura 3.5), e a dose marcada foi 120 kg ha^{-1} de N relativo à parte do nitrogênio recomendada para a cobertura.

A colheita do experimento foi no final de março de 2012 com coleta das espigas de milho das quatro linhas centrais da parcela, descartando-se 2,5 m de bordadura de cada extremidade da parcela. A figura 3.5 contém o esquema de colheita nas parcelas do experimento.

Figura 3.5 - Parcela de 72 m² em Taquarituba; área de colheita de milho (18 m²); microparcela com ureia ^{15}N (2,7 m²) e área de corte da braquiária (0,36 m²)

UBERLÂNDIA-MG

O experimento foi desenvolvido na safra 2011/2012 na fazenda Beija Flor II no município de Uberlândia-SP localizada a 19° 12' 22,2" de latitude sul e 47° 59' 43,1" de longitude oeste e 940 m de altitude.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006) com 792 g kg⁻¹ de argila no horizonte A e 803 g kg⁻¹ de argila no horizonte B latossólico. A estrutura do Horizonte B foi classificada como granular em tamanho muito pequeno de grau fraco e consistência macia quando seco e muito friável quando úmido. Na Tabela 3.2 estão apresentados os resultados de análises químicas em amostra de terra coletada do solo antes da instalação do experimento.

Tabela 3.2 - Resultados da análise química da terra coletada do solo da área experimental de Uberlândia entre as profundidades de 00-0,2 m

pH	M.O.	S	P*	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				%
6,1	25	28	61	2,1	39	10	22	0	73	70

pH - CaCl₂ 0,01mol.L⁻¹; M.O. - Dicromato/Colorimétrico; S - extração Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹-Turbidimetria; P - *Resina trocadora de íons; K, Ca e Mg - extração pela Resina trocadora de íons; Al - Titulometria (1mol L⁻¹); H+Al - pH SMP; CTC - (Ca + Mg + K + H + Al); V - referente a porcentagem de bases (Ca + Mg+ K) na CTC

O Clima de Uberlândia é classificado como Cwa, tropical de altitude (KÖPPEN, 1936), com chuvas de verão, inverno seco e ameno e verões quentes, e temperatura média anual de 22°C. Os dados de precipitação pluvial durante a safra agrícola 2011-2012 estão representados na Figura 3.6, e o balanço hídrico desta safra na Figura 3.7.

Figura 3.6 - Dados de chuva em Uberlândia safra 2011-2012

Figura 3.7 - Balanço hídrico sequencial da safra 2011-2012 na cidade de Uberlândia com dados coletados na estação meteorológica da fazenda Beija Flor II

O milho foi implantado em sistema de plantio direto no final de outubro de 2011 com sementes do híbrido 30F53Hx, espaçadas em 0,7 m entrelinhas e 5 plantas por metro ($71428,5$ sementes ha^{-1}) e população final prevista de 70.000 plantas ha^{-1} .

A adubação de semeadura foi feita com $33,6$ kg ha^{-1} de nitrogênio; 122 kg ha^{-1} de P_2O_5 e $33,6$ kg ha^{-1} de K_2O . O restante do nitrogênio ($116,4$ kg ha^{-1}) referente à recomendação de adubação de cobertura foi feita com ureia comum ou de liberação controlada de acordo com os tratamentos propostos. A dose total de N aplicada no consórcio de milho – braquiária foi de 150 kg ha^{-1} .

As parcelas continham $73,5$ m² e eram constituídas de 7 linhas de milho com 15 m de comprimento (Figura 3.8) No centro das parcelas foram instaladas microparcels com dimensões de $1,0$ m de comprimento e $2,1$ m de largura (três linhas de milho), onde foi aplicada a ureia marcada. O fertilizante marcado foi aplicado apenas na linha de milho central da microparcela (Figura 3.8), e a dose marcada foi $116,4$ kg ha^{-1} de N relativo à parte do nitrogênio aplicado em cobertura.

A colheita do experimento foi no início de abril de 2012 com coleta das espigas de milho das três linhas centrais da parcela, descartando-se 5 m de bordadura de cada extremidade da parcela. A figura 3.8 contém esquema de colheita nas parcelas do experimento.

$$MC\ 130 = \frac{MC \times \left(1 - \left(\frac{U}{100}\right)\right)}{1 - \left(\frac{13}{100}\right)} \quad (2)$$

em que: MC 130 = Massa corrigida a 130 g kg⁻¹ de água (kg ha⁻¹); MC = Massa colhida (kg ha⁻¹); U = umidade (%) eq. (1).

A colheita das plantas de milho nas microparcelas foi feita no terço central de cada microparcela (1/3 de cada extremidade foi bordadura). Foi feito uma amostra com as duas plantas da linha central das microparcelas e outra amostra com 4 plantas das linhas adjacentes (duas de cada linha adjacente àquela que recebeu a ureia ¹⁵N), (Figuras 3.5 e 3.8). As plantas foram divididas em parte aérea e grãos, e determinou-se a massa seca após desidratação em estufa de circulação de ar forçada regulada em 65 °C por 72 h, e posteriormente foram cominuídas em moinho de facas tipo Willey e encaminhadas ao laboratório de isótopos estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP) para análise de nitrogênio total (%) na parte aérea e grãos (NtotalPA e NtotalG) e abundância de átomos ¹⁵N (%) na parte aérea e grãos (¹⁵NPA e ¹⁵NG).

A determinação da massa seca da braquiária (MSB) foi feita no dia da colheita do milho, e a parte aérea das plantas recolhidas na área de corte de braquiária, dentro das microparcelas que receberam ureia marcada (Figuras 3.5 e 3.8) foram desidratadas em estufa de ventilação forçada por 72 h com temperatura de 65° C. Após este processo, a braquiária foi cominuída em moinho de faca tipo Willey e encaminhada ao laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP para análise de nitrogênio total (%) na braquiária (NtotalB) e abundância de átomos ¹⁵N (%) na braquiária (¹⁵NB).

Após a retirada das plantas de milho e braquiária, procedeu-se a coleta do solo para verificar a recuperação do ¹⁵N neste compartimento e nas raízes. Foi aberto minitrincheiras no centro das microparcelas em área de 0,9 m de largura em Taquarituba e 0,7 m em Uberlândia (a linha central de milho no centro da minitrincheira), e 0,16 m de comprimento. A cada 0,2 m de profundidade até a profundidade de 0,6 m obteve-se a massa de todo volume de solo para então retirar amostras de terra das camadas de 00-0,2 m; 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m para determinação do teor de água eq. (1), e amostras que foram desidratadas ao ar e cominuídas em moinho de bolas e encaminhadas ao laboratório de isótopos estáveis

do CENA-USP para análise de N total (%) em cada camada do solo ($N_{totalSx_1-x_2}$) e abundância de átomos ^{15}N (%) em cada camada do solo ($^{15}NSx_1-x_2$).

Ao fundo das minitrincheiras foram coletadas amostras nas camadas de 0,6-0,8 m, 0,8-1,0 m 1,0-1,2 m com amostrador de solo do tipo sonda. As amostras foram desidratadas ao ar e cominuídas em moinho de bolas e encaminhadas ao laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP para determinação de N total (%) em cada camada do solo ($N_{totalSx_1-x_2}$) e abundância de átomos ^{15}N (%) em cada camada do solo ($^{15}NSx_1-x_2$).

As raízes foram coletadas da terra recolhida nas minitrincheiras na profundidade de 00-0,4 m com auxílio de peneira de 2 mm de malha, e foram lavadas em água corrente, desidratadas ao ar e acondicionadas em sacos de papel para determinação da massa seca após desidratação em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h. Todo volume de raiz foi cominuído em moinho de facas tipo Willey e encaminhadas para análise de N total (%) nas raízes (N_{totalR}) e abundância de átomos ^{15}N (%) nas raízes (^{15}NR) no laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP.

O N total ($kg\ ha^{-1}$) na parte aérea (PA) e nos grãos (G) analisados da planta de milho (N_{totPA} e N_{totG}) foi obtido pela multiplicação do resultado de N total (%) contido no laudo do laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP com a quantidade de massa seca de cada parte da planta em $kg\ ha^{-1}$ eq. (3).

$$N_{totPA\ ou\ G} = \left(\frac{N_{totalPA\ ou\ G} \times M_{SPA\ ou\ G}}{100} \right) \quad (3)$$

em que: N_{totPA} é a quantidade de nitrogênio total na parte aérea ($kg\ ha^{-1}$); N_{totG} é a quantidade de nitrogênio total nos grãos ($kg\ ha^{-1}$); $N_{totalPA}$ (%) é a concentração de N na parte aérea (resultado de análise); N_{totalG} (%) é a concentração de nitrogênio nos grãos (resultado de análise); M_{SPA} é a massa seca da parte aérea ($kg\ ha^{-1}$) e M_{SG} é a massa seca dos grãos ($kg\ ha^{-1}$) obtidas pelas massas seca de cada parte (PA ou G) por planta colhida multiplicada pela população de plantas de cada parcela. Os dados de N_{totPA} e N_{totG} foram apresentados com a média dos valores obtidos das amostras de linhas centrais e adjacentes.

O N total (kg ha^{-1}) nas raízes da planta (N_{totR}) foi obtido pela multiplicação do resultado de N total (%) contido no laudo do laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP com a massa seca de raízes em kg ha^{-1} eq. (4).

$$N_{\text{totR}} = \left(\frac{N_{\text{totalR}} \times \text{MSR}}{100} \right) \quad (4)$$

em que: N_{totR} é a quantidade de nitrogênio total nas raízes (kg ha^{-1}); N_{totalR} (%) é a concentração de N nas raízes (resultado de análise); MSR é a massa seca das raízes (kg ha^{-1}) obtida pela massa seca de raízes até 0,4 m de profundidade dividido pelo volume de solo (m^3) de cada minitrincheira (00-0,4 m de profundidade), multiplicado pelo volume de solo até esta profundidade em 1 hectare ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

O N total (kg ha^{-1}) na planta de milho (N_{totM}) foi obtido pela soma do nitrogênio total de todas as partes das plantas (N_{totPA} , N_{totG} , N_{totR}).

O N total (kg ha^{-1}) da braquiária (N_{totB}) foi calculado com a multiplicação da massa seca de braquiária (kg ha^{-1}) pela quantidade de N total (%) analisado nos tecidos da planta eq. (5)

$$N_{\text{totB}} = \left(\frac{N_{\text{totalB}} \times \text{MSB}}{100} \right) \quad (5)$$

em que: N_{totB} é a quantidade de nitrogênio total na braquiária (kg ha^{-1}); N_{totalB} (%) é a concentração de N na parte aérea da braquiária (resultado de análise); MSB é a massa seca de braquiária (kg ha^{-1}) obtida pela massa seca de braquiária coletada na área de corte (Figuras 3.5 e 3.8) multiplicada pela quantidade de m^2 em 1 hectare dividido pela área de corte da braquiária.

O nitrogênio total nas plantas de milho + braquiária (N_{totMB}) foi obtido pela soma do N_{totM} e N_{totB} .

O N total (kg ha^{-1}) do solo (N_{totS}) foi obtido pela soma do N total de todas as camadas amostradas do solo (00-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8; 0,8-1,0; 1,0-1,2 m). O N total (kg ha^{-1}) de cada camada do solo ($N_{\text{totS}_{x1-x2}}$) foi gerado pela multiplicação da quantidade de solo seco em kg ha^{-1} e o resultado da análise de N total (%) em cada camada do solo amostrada eq. (6).

$$NtotS_{x1-x2} = \left(\frac{NtotalS_{x1-x2} \times MSS_{x1-x2}}{100} \right) \quad (6)$$

em que: $NtotS_{x1-x2}$ é o nitrogênio total em cada camada do solo (kg ha^{-1}); x_1 é o valor da profundidade inicial da camada amostrada, x_2 é o valor da profundidade final da camada amostrada (exemplos $NtotS_{0-2}$ é o nitrogênio total na camada de 0,0-0,2 m; $NtotS_{6-8}$ é o nitrogênio total na camada de 0,6-0,8 m); $NtotalS_{x1-x2}$ (%) é o teor de nitrogênio em cada camada do solo (resultado de análise); MSS_{x1-x2} é a massa seca do solo de cada camada do solo (kg ha^{-1}) obtida com o desconto da massa de água eq.(1) da massa de solo úmida de cada camada, dividido pelo volume de solo da camada de cada minitrincheira (m^3), multiplicado pelo volume de solo em um hectare ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de cada camada. A $MSS_{6-8; 8-10; 10-12}$ foram obtidas com a massa de solo obtida na profundidade de 0,4-0,6 m, por admitir-se que a partir desta profundidade já se encontra no Horizonte B de cada solo estudado, e a densidade do solo é inalterada pela ação antrópica.

A quantidade de nitrogênio (kg ha^{-1}) na parte aérea, grãos e raízes provenientes do fertilizante (NPAPF, NGPF e NRPF) foram obtidas por meio das eqs. (7, 8 e 9)

$$NPAPF = \left(\left(\frac{{}^{15}NPA - {}^{15}Nnat_1}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotPA \right) \quad (7)$$

em que: NPAPF é o nitrogênio na parte aérea do milho proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}); ${}^{15}NPA$ é a abundância de átomos ${}^{15}\text{N}$ (%) em amostras da parte aérea do milho (resultado de análise); ${}^{15}Nnat_1$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}\text{N}$ na parte aérea do milho (0,366%); ${}^{15}Nfert$ é a abundância de átomos ${}^{15}\text{N}$ no fertilizante enriquecido (2,53%); ${}^{15}Nnat_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}\text{N}$ no fertilizante (0,366%); $NtotPA$ (kg ha^{-1}) é a quantidade de nitrogênio total na parte aérea do milho eq. (3). Nas amostras das linhas adjacentes (compostas por 4 plantas, 2 de cada linha adjacente) foi feita multiplicação por 2 no resultado de NPAPF pois se admitiu que as plantas amostradas destas duas linhas (Figuras 3.5 e 3.8) são em média 50% marcadas (plantas amostradas de duas linhas para o fertilizante de uma linha). O resultado final de NPAPF foi obtido pela soma dos valores encontrados nas amostras de linhas centrais e adjacentes.

$$NGPF = \left(\left(\frac{{}^{15}NG - {}^{15}Nnat_1}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotG \right) \quad (8)$$

em que: NGPF é o nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}); ${}^{15}NG$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ (%) em amostras de grãos de milho (resultado de análise); ${}^{15}Nnat_1$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ nos grãos de milho (0,366%); ${}^{15}Nfert$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ no fertilizante enriquecido (2,53%); ${}^{15}Nnat_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ no fertilizante (0,366%); $NtotG$ é a quantidade de nitrogênio total nos grãos de milho (kg ha^{-1}) eq. (3). Nas amostras das linhas adjacentes foi feita multiplicação por 2 no resultado de NGPF pois se admitiu que as plantas amostradas destas duas linhas (Figuras 3.5 e 3.8) são em média 50% marcadas (plantas amostradas de duas linhas para o fertilizante de uma linha). O resultado final de NGPF foi obtido pela soma dos valores encontrados nas amostras de linhas centrais e adjacentes.

$$NRPF = \left(\left(\frac{{}^{15}NR - {}^{15}Nnat_1}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotR \right) \quad (9)$$

em que: NRPF é o nitrogênio nas raízes de milho + braquiária proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}); ${}^{15}NR$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ (%) em amostras de raízes de milho + braquiária (resultado de análise); ${}^{15}Nnat_1$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ nas raízes de milho ou milho + braquiária (0,366%); ${}^{15}Nfert$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ no fertilizante enriquecido (2,53%); ${}^{15}Nnat_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ no fertilizante (0,366%); $NtotR$ é a quantidade de nitrogênio total nas raízes de milho + braquiária (kg ha^{-1}), eq. (4).

O Nitrogênio na planta de milho proveniente do fertilizante (NMPF- kg ha^{-1}) foi obtido pela soma desta variável em todas as partes da planta de milho (NPAPF, NGPF e NRPF) eqs. (7, 8 e 9).

O nitrogênio (kg ha^{-1}) na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF) foi calculado de acordo com a eq. (10).

$$NBPF = \left(\left(\frac{{}^{15}NB - {}^{15}Nnat_1}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotB \right) \times 2 \quad (10)$$

em que: NBPF é o nitrogênio na parte aérea da braquiária proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}); ${}^{15}NB$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ (%) em amostras de braquiária (resultado de análise); ${}^{15}Nnat_1$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ na braquiária (0,366%); ${}^{15}Nfert$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ no fertilizante enriquecido (2,53%); ${}^{15}Nnat_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ no fertilizante (0,366%); $NtotB$ é a quantidade de nitrogênio total na braquiária (kg ha^{-1}) eq. (5). A multiplicação por 2 na fórmula se deve ao arranjo do experimento pois o fertilizante marcado foi aplicado na linha central de milho, então admite-se que as plantas amostradas na área de corte da braquiária que provieram de duas entrelinhas (Figuras 3.5 e 3.8), são em média 50% marcadas.

O nitrogênio nas plantas de milho e braquiária proveniente do fertilizante ($NMBPF\text{-kg ha}^{-1}$) foi obtido pela soma do NMPF e o NBPF.

O nitrogênio nas seis camadas do solo de 0,2 m cada até 1,2 m de profundidade proveniente do fertilizante ($NSPF_{x_1-x_2}$) foi calculado por meio da eq. (11).

$$NSPF_{x_1-x_2} = \left(\frac{{}^{15}NS_{x_1-x_2} - {}^{15}Nnat_1x_1-x_2}{{}^{15}Nfert - {}^{15}Nnat_2} \right) \times NtotS_{x_1-x_2} \quad (11)$$

em que: $NSPF_{x_1-x_2}$ é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante em cada camada de 0,2 m (kg ha^{-1}); x_1 é o valor da profundidade inicial da camada amostrada, x_2 é o valor da profundidade final da camada amostrada (exemplos $NSPF_{0-0,2}$ é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante na camada de 0,0-0,2 m; $NSPF_{0,6-0,8}$ é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante na camada de 0,6-0,8 m) ${}^{15}NS_{x_1-x_2}$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ (%) nas amostras de cada camada do solo (resultado de análise); ${}^{15}Nnat_1x_1-x_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ em cada camada do solo (utilizou-se o resultado de uma amostra sem aplicação de ${}^{15}N$); ${}^{15}Nfert$ é a abundância de átomos ${}^{15}N$ do fertilizante enriquecido (2,53%); ${}^{15}Nnat_2$ é a abundância natural de átomos ${}^{15}N$ no fertilizante (0,366%); $NtotS_{x_1-x_2}$ é a quantidade de nitrogênio total na camada do solo (kg ha^{-1}) eq. (6).

O Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante na camada de 0,0-0,6 m (NSPF₀₋₆) foi obtido com a somatória do NSPF₀₋₂, NSPF₂₋₄ e NSPF₄₋₆. O Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante na camada de 0,6-1,2 m (NSPF₆₋₁₂) foi obtido com a somatória do NSPF₆₋₈, NSPF₈₋₁₀, NSPF₁₀₋₁₂.

O nitrogênio do solo proveniente do fertilizante (NSPF) até 1,2 m de profundidade foi obtido a partir da soma de todo nitrogênio no solo proveniente do fertilizante de cada camada (NSPF₀₋₆ + NSPF₆₋₁₂).

A eficiência da adubação nitrogenada (EAN) é definida neste trabalho como a porcentagem do nitrogênio aplicado via fertilizante (ureia) que é absorvida pelas plantas de interesse (milho e braquiária), portanto, foi determinada a recuperação do nitrogênio na parte aérea do milho (RNPA), nos grãos de milho (RNG), nas raízes de milho + braquiária (RNR) e na braquiária (RNB), e foi calculada de acordo com as seguintes equações:

$$RNPA = \left(\frac{NPAPF}{DN} \right) \times 100 \quad (12)$$

em que: RNPA é a recuperação do nitrogênio na parte aérea do milho (% do N aplicado); NPAPF é o nitrogênio na parte aérea do milho proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹) eq. (7); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada para cada local de estudo. O resultado final de RNPA foi obtido pela soma dos valores encontrados nas amostras de linhas centrais e adjacentes.

$$RNG = \left(\frac{NGPF}{DN} \right) \times 100 \quad (13)$$

em que: RNG é a recuperação do nitrogênio nos grãos de milho (% do N aplicado); NGPF é o nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹) eq. (8); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada em cada local de estudo. O resultado final de RNG é obtido pela soma dos valores encontrados nas amostras de linhas centrais e adjacentes.

$$RNR = \left(\frac{NRPF}{DN} \right) \times 100 \quad (14)$$

em que: RNR é a recuperação do nitrogênio nas raízes de milho + braquiária (% do N aplicado); NRPF é o nitrogênio nas raízes de milho + braquiária proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹) eq. (9); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada em cada local de estudo.

A eficiência da adubação nitrogenada nas plantas de milho (EANM) foi obtida pela soma das recuperações da parte aérea, grãos e raízes (RNPA, RNG, RNR).

$$RNB = \left(\frac{NBPF}{DN} \right) \times 100 \quad (15)$$

em que: RNB é a recuperação do nitrogênio na braquiária (% do N aplicado); NBPF é o nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (kg ha⁻¹) eq. (10); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada em cada local de estudo.

A eficiência da adubação nitrogenada do consórcio de milho com braquiária (EANMB) foi calculada pela soma da EANM e RNB.

A recuperação do nitrogênio aplicado via fertilizante no solo (RNS) foi obtido pela eq. (16).

$$RNS_{x_1-x_2} = \left(\frac{NSPF_{x_1-x_2}}{DN} \right) \times 100 \quad (16)$$

em que: RNS_{x₁-x₂} é a recuperação do ¹⁵N em cada camada de 0,2 m do solo (% do N aplicado); x₁ é o valor da profundidade inicial da camada amostrada, x₂ é o valor da profundidade final da camada amostrada (exemplos RNS₀₋₂ é a recuperação do ¹⁵N no solo na camada de 0,0-0,2 m de profundidade; RNS₆₋₈ é a recuperação do ¹⁵N no solo na camada de 0,6-0,8 m profundidade) NSPF_{x₁-x₂} é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante em cada camada de 0,2 m (kg ha⁻¹) eq. (11); DN é a dose de nitrogênio marcada (¹⁵N) aplicada em cada local de estudo.

A recuperação do nitrogênio no solo na camada de 0,0-0,6 m (RNS₀₋₆) foi obtida com a somatória do RNS₀₋₂, RNS₂₋₄ e RNS₄₋₆. A recuperação do nitrogênio

no solo na camada de 0,6-1,2 m (RNS_{6-12}) foi obtida com a somatória do RNS_{6-8} , RNS_{8-10} , RNS_{10-12} .

A recuperação do nitrogênio total no solo (RNS) até 1,2 m de profundidade foi obtida com a soma de todo nitrogênio no solo proveniente do fertilizante de cada camada ($RNS_{0-6} + RNS_{6-12}$).

A recuperação total do nitrogênio aplicado (RN) foi obtida pela soma de todos os compartimentos avaliados eqs. (17 e 18).

$$RN_1 = NMBPF + NSPF \quad (17)$$

em que: RN_1 é a recuperação total do ^{15}N aplicado ($kg\ ha^{-1}$); NMBPF é o nitrogênio no milho + braquiária proveniente do fertilizante ($kg\ ha^{-1}$); NSPF é o nitrogênio no solo proveniente do fertilizante ($kg\ ha^{-1}$).

$$RN_2 = EANMB + RNS \quad (18)$$

em que: RN_2 é a recuperação total do ^{15}N aplicado (%); EANMB é a eficiência da adubação nitrogenada no milho + braquiária (%); RNS é a recuperação do ^{15}N aplicado no solo (%).

O nitrogênio não recuperado ($kg\ ha^{-1}$) (NNR_1) foi obtido pela subtração da quantidade total aplicada e a recuperação total do ^{15}N ($kg\ ha^{-1}$) eq. (19).

$$NNR_1 = DN - RN_1 \quad (19)$$

em que: NNR_1 é o nitrogênio não recuperado ($kg\ ha^{-1}$); DN é a dose de ^{15}N aplicada em cada local de estudo ($Kg\ ha^{-1}$); RN_1 é a recuperação total do ^{15}N aplicado ($kg\ ha^{-1}$) eq. (17).

O nitrogênio não recuperado (%) (NNR_2) foi obtido pela eq. (20).

$$NNR_2 = 100 - RN_2 \quad (20)$$

em que: NNR_2 é o nitrogênio não recuperado (%); RN_2 é a recuperação total do ^{15}N aplicado (%) eq. (18).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variâncias pelo programa SAS® (SAS INSTITUTE, 2009), e submetidos à análise de variância conjunta a fim de testar a interação entre os locais e tratamentos. Depois da análise conjunta foi realizada análise de variância para cada local independente. As médias foram comparadas pelo teste Fisher (LSD) $p \leq 0,05$.

3.3 Resultados

As formas de adubação e os modos de aplicação não influenciaram a massa de braquiária e se comportaram da mesma forma nos dois locais, uma vez que não houve interação entre local e forma de adubação, ou local e modo (Tabela 3.3). Entretanto, houve interação tripla entre local, modo e forma de adubação (Tabela 3.3).

A produtividade de milho e a concentração de N na folha amostrada no florescimento foram diferentes nos locais de avaliação, mas os tratamentos se comportaram da mesma forma nos dois locais, pois não houve interação entre nenhum dos fatores (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Análise de variância conjunta entre locais, formas de adubação e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis: Massa seca de braquiária, Produtividade de milho e concentração foliar de N

	Massa Seca Braquiária kg ha ⁻¹	Produtividade milho Pr>F	N folha g kg ⁻¹
FV			
Local (L)	0,5590 ^{ns}	<0,0001***	<0,0001***
Adubação (A)	0,5839 ^{ns}	0,1519 ^{ns}	0,2549 ^{ns}
Modo (M)	0,8139 ^{ns}	0,8665 ^{ns}	0,2456 ^{ns}
L x A	0,8588 ^{ns}	0,5752 ^{ns}	0,0541 ^{ns}
L x M	0,2167 ^{ns}	0,6599 ^{ns}	0,7713 ^{ns}
A x M	0,9039 ^{ns}	0,8060 ^{ns}	0,5815 ^{ns}
L x A x M	0,0170*	0,3401 ^{ns}	0,7553 ^{ns}
CV%	27,84	6,19	5,67

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro

A massa seca de braquiária não alterou com as formas de adubação nem com os modos de aplicação, em ambos locais avaliados (Tabela 3.4). A braquiária produziu em média, 751 kg ha⁻¹ em Taquarituba, e 815 kg ha⁻¹ em Uberlândia, sem diferenças entre locais (Tabela 3.3).

Tabela 3.4 - Massa seca de braquiária em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	518	876	697	918	383	651
UCS	1021	555	788	772	1069	920
ULC30	788	615	702	600	1020	810
ULC30+60	968	664	816	731	1029	880
Média (M)	824	678		755	875	
Adubação (A)		0,9441 ^{ns}			0,5289 ^{ns}	
Modo (M)		0,3325 ^{ns}			0,3880 ^{ns}	
A x M		0,2925 ^{ns}			0,0779 ^{ns}	
CV %		30,22			47,23	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo

A produtividade de milho foi igual em todos os modos e formas de adubação avaliados (Tabela 3.5). Em Taquarituba a produtividade média foi de 7.916 kg ha⁻¹, menor do que a produtividade de Uberlândia que foi de 10.603 kg ha⁻¹ (Tabela 3.3).

A adubação feita com ureia de liberação controlada não resultou em desempenho diferente em relação à ureia comum (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 - Produtividade de milho em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	8.344	7.941	8.143	10.764	11.110	10.937
UCS	7.492	7.924	7.708	10.554	10.377	10.466
ULC30	7.991	7.560	7.776	10.598	10.665	10.632
ULC30+60	7.914	8.159	8.037	10.319	10.435	10.377
Média (M)	7.935	7.896		10.559	10.647	
Adubação (A)		0,2438 ^{ns}			0,3572 ^{ns}	
Modo (M)		0,8187 ^{ns}			0,7083 ^{ns}	
A x M		0,1941 ^{ns}			0,8847 ^{ns}	
CV %		6,05			6,17	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo

A concentração de N nas folhas de milho amostradas no florescimento não foi influenciada pelas variáveis em Taquarituba com média de 31,5 g kg⁻¹ (Tabela 3.6), valor menor do que o encontrado em Uberlândia (Tabela 3.3). A

concentração de N foliar em Uberlândia não foi influenciada pelos modos de aplicação de fertilizante, porém a ureia de liberação controlada 30-60 resultou em maior concentração de N nas folhas ($37,3 \text{ g kg}^{-1}$), 6,6% a mais que a média dos demais tratamentos.

Tabela 3.6 - Concentração do N em folhas de milho amostradas no florescimento em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	g kg^{-1}					
UCC	31,89	32,28	32,09	34,04	34,81	34,4 b
UCS	31,87	31,53	31,70	35,78	35,76	35,8 ab
ULC30	30,72	31,58	31,15	35,03	34,63	34,8 b
ULC30+60	30,80	31,59	31,20	36,12	38,57	37,3 a
Média (M)	31,32	31,74		35,24	35,94	
Adubação (A)		0,7109 ^{ns}			0,0478*	
Modo (M)		0,5275 ^{ns}			0,3349 ^{ns}	
A x M		0,9098 ^{ns}			0,5781 ^{ns}	
CV %		5,87			8,15	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

As formas de adubação e os modos de aplicação não influenciaram o nitrogênio total na braquiária (NtotB), o nitrogênio total nas plantas de milho (NtotM) nem no milho + braquiária (NtotMB), e se comportaram da mesma forma nos dois locais uma vez que não houve interação entre local e forma de adubação, ou local e modo (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 - Análise de variância conjunta entre locais, formas de adubação e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis: Nitrogênio total na braquiária (NtotB), Nitrogênio total no milho (NtotM) e Nitrogênio total no consórcio de milho e braquiária (NtotMB)

	NtotB	NtotM kg ha ⁻¹	NtotMB
FV		Pr>F	
Local (L)	0,1217 ^{ns}	0,0602 ^{ns}	0,0506 ^{ns}
Adubação (A)	0,5486 ^{ns}	0,2601 ^{ns}	0,5544 ^{ns}
Modo (M)	0,9062 ^{ns}	0,5998 ^{ns}	0,5952 ^{ns}
L x A	0,8065 ^{ns}	0,2494 ^{ns}	0,3775 ^{ns}
L x M	0,1395 ^{ns}	0,0647 ^{ns}	0,1115 ^{ns}
A x M	0,9244 ^{ns}	0,3952 ^{ns}	0,3673 ^{ns}
L x A x M	0,0622 ^{ns}	0,5720 ^{ns}	0,5337 ^{ns}
CV%	43,50	3,45	13,22

^{ns} não significativo

O acúmulo de N na braquiária (NtotB), nas plantas de milho (NtotM) e no consórcio de milho e braquiária (NtotMB) não foi diferente entre as formas e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenado (Tabela 3.8). A Figura 3.9 ilustra a quantidade de N acumulado na braquiária, milho e milho + braquiária.

Os fertilizantes de liberação controlada não promoveram alterações no acúmulo de nitrogênio total nas plantas de milho e braquiária (Tabela 3.8).

O N total encontrado na braquiária foi em média 19 kg ha⁻¹ em Taquarituba e 16 kg ha⁻¹ em Uberlândia. O N total nas plantas de milho foi, em média, 223 kg ha⁻¹ em Taquarituba e 210 kg ha⁻¹ em Uberlândia. O acúmulo de N no consórcio de milho e braquiária foi em média de 242 kg ha⁻¹ em Taquarituba e 226 kg ha⁻¹ em Uberlândia.

O N total da braquiária contribuiu com apenas 8% do N total do consórcio de milho e braquiária em Taquarituba, e 7% em Uberlândia.

Tabela 3.8 – Análise de variância para N total na braquiária (NtotB), N total nas plantas de milho (NtotM) e N total no consórcio de milho e braquiária (NtotMB) em Taquarituba e Uberlândia

Fonte de Variação	Taquarituba			Uberlândia		
	NtotB	NtotM	NtotMB	NtotB	NtotM	NtotMB
Adubação (A)	0,9358 ^{ns}	0,2424 ^{ns}	0,4152 ^{ns}	0,2992 ^{ns}	0,3433 ^{ns}	0,4924 ^{ns}
Modo (M)	0,3331 ^{ns}	0,1512 ^{ns}	0,3418 ^{ns}	0,2388 ^{ns}	0,1456 ^{ns}	0,2060 ^{ns}
A x M	0,5752 ^{ns}	0,5839 ^{ns}	0,8803 ^{ns}	0,0607 ^{ns}	0,4754 ^{ns}	0,3246 ^{ns}
CV %	46,46	9,81	10,14	38,5	17,21	16,01

^{ns} não significativo

Figura 3.9 – Nitrogênio total na braquiária (NtotB), nas plantas de milho (NtotM) e no consórcio de milho com braquiária (NtotMB) para ureia comum cobertura (UCC), ureia comum semeadura (UCS), ureia de liberação controlada 30 dias (ULC30) e ureia de liberação controlada 30 e 60 dias (ULC30+60) aplicadas a lanço e incorporada nas cidades de Taquarituba (a) e Uberlândia (b)

O nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF) apresentou comportamento diferente entre os modos de aplicação nos locais de avaliação, conforme a interação L x M apresentada na Tabela 3.9. Para as demais interações do NBPF, não houve diferenças significativas.

O nitrogênio proveniente do fertilizante no milho (NMPF) e no consórcio de milho e braquiária (NMBPF) foram diferentes entre os locais e na forma de adubação utilizada. Para estas variáveis, houve interação entre local e modo de aplicação conforme a Tabela 3.9, ou seja, o modo de aplicação do fertilizante teve comportamento diferente em cada local de estudo.

Tabela 3.9 - Análise de variância conjunta entre locais, formas de adubação e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis: Nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF), Nitrogênio no milho proveniente do fertilizante (NMPF) e Nitrogênio no consórcio de milho e braquiária proveniente do fertilizante (NMBPF)

	NBPF	NMPF kg ha ⁻¹	NMBPF
FV		Pr>F	
Local (L)	0,2891 ^{ns}	<0,0001***	<0,0001***
Adubação (A)	0,7688 ^{ns}	<0,0001***	<0,0001***
Modo (M)	0,0820 ^{ns}	0,0630 ^{ns}	0,0777 ^{ns}
L x A	0,9096 ^{ns}	0,2589 ^{ns}	0,2840 ^{ns}
L x M	0,0130 [*]	<0,0001***	<0,0001***
A x M	0,7794 ^{ns}	0,3013 ^{ns}	0,2376 ^{ns}
L x A x M	0,4770 ^{ns}	0,1882 ^{ns}	0,1429 ^{ns}
CV%	18,67	8,39	8,03

^{ns} não significativo, * significativo a 5%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro

A interação para o NBPF apresentada na Tabela 3.9 é devido ao modo de aplicação a lanço ser melhor que a aplicação incorporada em Taquarituba, fato que não ocorreu em Uberlândia, uma vez que os modos de aplicação promoveram quantidade de ¹⁵N-fertilizante semelhante na braquiária (Tabela 3.10).

As ureias de liberação controlada não promoveram diferenças na absorção do ¹⁵N-fertilizante pela braquiária em nenhum modo de aplicação (Tabela 3.10).

O NBPF no modo de aplicação a lanço representa 13% do NtotB, e 6% no modo de aplicação incorporado em Taquarituba. Em Uberlândia o NBPF representou em média 10% do NtotB.

A quantidade de N do fertilizante presente na braquiária (NBPF), representou apenas 1,1% do NtotMB quando foram feitas aplicações a lanço, e 0,4% no modo de aplicação incorporado em Taquarituba. O NBPF determinado em Uberlândia, representou em média 0,7% do NtotMB.

Tabela 3.10 - Nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	1,7	0,8	1,3	1,8	1,1	1,5
UCS	2,7	1,2	2,0	1,1	1,5	1,3
ULC30	2,2	1,3	1,8	0,7	2,6	1,7
ULC30+60	3,8	1,0	2,4	1,1	2,4	1,8
Média (M)	2,6 A	1,1 B		1,2	1,9	
Adubação (A)		0,7727 ^{ns}			0,8222 ^{ns}	
Modo (M)		0,0062 ^{**}			0,5663 ^{ns}	
A x M		0,9405 ^{ns}			0,3592 ^{ns}	
CV %		19,26			17,97	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; ^{**} significativo a 1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

Em Taquarituba as plantas de milho absorveram maior quantidade de ¹⁵N-fertilizante na adubação com ureia comum aplicada em cobertura (UCC). O melhor modo neste local foi aplicação dos fertilizantes a lanço (Tabela 3.11), por outro lado em Uberlândia a adubação incorporada obteve maior quantidade de NMPF (Tabela 3.11), fato que causou a interação L x M da Tabela 3.9. Em Uberlândia, da mesma forma que Taquarituba, a ureia comum aplicada na cobertura (UCC) proporcionou melhor desempenho do que as demais formas de adubação, sem diferir da UCS (Tabela 3.11).

Em Taquarituba a participação do ¹⁵N-fertilizante no NtotM foi de 35% na adubação com UCC, e 27% na média das outras formas de adubação (UCS, ULC30, ULC30+60). Em relação ao NtotMB, a UCC contribuiu com 33%, e as demais formas de adubação com 25%.

Em Uberlândia 19% do NtotM foi oriundo do ¹⁵N-fertilizante para a adubação com UCC, e 17% na média das demais formas de adubação (UCS, ULC30, ULC30+60). Em relação ao NtotMB, a UCC contribuiu com 18%, e as demais formas de adubação com 16%.

Tabela 3.11 - Nitrogênio no milho proveniente do fertilizante (NMPF) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média (A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	85,2	76,1	80,7 a	41,9	44,5	43,2 a
UCS	65,9	51,9	58,9 b	27,5	48,1	37,8 ab
ULC30	57,3	53,3	55,3 b	26,6	39,2	32,9 b
ULC30+60	65,4	61,4	63,4 b	28,3	43,8	36,1 b
Média (M)	68,5 A	60,7 B		31,1 B	43,9 A	
Adubação (A)		0,0003**			0,0326*	
Modo (M)		0,0409*			<0,0001***	
A x M		0,7184 ^{ns}			0,0691 ^{ns}	
CV %		15,7			17,25	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

O NMBPF em Taquarituba teve comportamento igual ao NMPF, com melhor desempenho da UCC em relação às outras formas de adubação. Para os modos de aplicação a incorporação dos fertilizantes nitrogenados foi pior que a aplicação a lanço (Tabela 3.12).

Em Uberlândia a incorporação dos fertilizantes obteve melhor resultado que a aplicação a lanço, com exceção a adubação feita com UCC. Nesta forma de adubação (UCC) os modos de aplicação a lanço e incorporado não diferiram. Em relação à aplicação a lanço, a UCC foi melhor que as demais formas de adubação, e no caso do modo incorporado, não houve diferença entre as formas de adubação (Tabela 3.12).

A interação L x M apresentada na Tabela 3.9 ocorreu, pois o modo de aplicação a lanço foi melhor em Taquarituba e pior em Uberlândia, com exceção da adubação feita com UCC (Tabela 3.12).

Em Taquarituba a recuperação do ¹⁵N-fertilizante no consórcio de milho com braquiária nas aplicações a lanço foi de 71 kg ha⁻¹, que representa 30% do NtotMB, no caso das aplicações incorporadas, o NMBPF foi 62 kg ha⁻¹, ou 25% do NtotMB. A UCC garantiu 81,9 kg ha⁻¹ de NMBPF, que representa 33% do NtotMB, a média das demais formas de adubação (UCS, ULC30, ULC30+60) representou 24% do NtotMB.

Em Uberlândia, a adubação feita com UCC, recuperou na média dos modos de aplicação 44,7 kg ha⁻¹, que representa 19% do NtotMB. As demais formas

de adubação feitas a lanço, recuperaram, em média, 28, 4 kg ha⁻¹ equivalente a 13% do NtoMB. Para estas mesmas formas de adubação (UCS, ULC30 e ULC30+60), feitas de forma incorporada, a recuperação foi de 46 kg ha⁻¹, ou seja, 21% do NtotMB.

Tabela 3.12 - Nitrogênio no consórcio de milho e braquiária proveniente do fertilizante (NMBPF) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	86,9	76,9	81,9 a	43,7 Aa	45,6 Aa	44,7
UCS	68,6	53,1	60,8 b	28,6 Bb	49,6 Aa	39,1
ULC30	59,1	54,6	57,1 b	27,3 Bb	41,8 Aa	34,6
ULC30+60	69,2	62,4	65,8 b	29,4 Bb	46,3 Aa	37,8
Média (M)	71,0 A	61,8 B		32,3	45,8	
Adubação (A)		0,0005**			0,0280*	
Modo (M)		0,0176*			<0,0001***	
A x M		0,7420 ^{ns}			0,0319*	
CV %		15,42			15,83	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a p ≤ 0,05

A recuperação do N na braquiária (RNB) apresentou comportamento diferente entre os modos de aplicação nos dois locais de avaliação, conforme a interação L x M apresentada na Tabela 3.13. Para as outras fontes de variação, não houve diferenças significativas.

A eficiência da adubação nitrogenada no milho (EANM) e no consórcio de milho e braquiária (EANMB) foram diferentes entre os locais e na forma de adubação utilizada. Para estas variáveis, houve interação entre local e modo de aplicação conforme a Tabela 3.13, ou seja, o modo de aplicação do fertilizante teve comportamento diferente em cada local de estudo.

Tabela 3.13 - Análise de variância conjunta entre locais, formas de adubação e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis: Recuperação do N na braquiária (RNB); Eficiência da adubação nitrogenada no milho (EANM) e eficiência da adubação nitrogenada no consórcio de milho braquiária (EANMB)

	RNB	EANM %	EANMB
FV		Pr>F	
Local (L)	0,3678 ^{ns}	<0,0001***	<0,0001***
Adubação (A)	0,7689 ^{ns}	<0,0001***	<0,0001***
Modo (M)	0,0804 ^{ns}	0,0575 ^{ns}	0,0704 ^{ns}
L x A	0,9097 ^{ns}	0,2740 ^{ns}	0,2998 ^{ns}
L x M	0,0128*	<0,0001***	<0,0001***
A x M	0,7821 ^{ns}	0,2957 ^{ns}	0,2315 ^{ns}
L x A x M	0,4791 ^{ns}	0,1844 ^{ns}	0,1391 ^{ns}
CV%	18,67	8,39	8,03

^{ns} Não significativo; * significativo a 5%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro

A interação para a RNB apresentada na Tabela 3.13 é devido ao modo de aplicação a lanço ser melhor que a aplicação incorporada em Taquarituba, fato que não ocorreu em Uberlândia, uma vez que os modos de aplicação promoveram a mesma recuperação pela braquiária (Tabela 3.14).

A braquiária cultivada em Taquarituba recuperou 2,18% do ¹⁵N-fertilizante aplicado nas formas de adubação feitas a lanço, e 0,91% quando incorporado. No caso de Uberlândia, não houve diferenças em relação às formas de adubação e modos de aplicação e a braquiária recuperou, em média, 1,3% do ¹⁵N-fertilizante aplicado.

A adubação feita com ureia de liberação controlada não influenciou a absorção de N pela braquiária e não diferiu da adubação feita com ureia comum (Tabela 3.14).

Tabela 3.14 - Recuperação do nitrogênio na braquiária (RNB) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	%					
UCC	1,44	0,68	1,06	1,56	0,95	1,26
UCS	2,26	1,00	1,63	0,93	1,28	1,11
ULC30	1,84	1,11	1,48	0,61	2,22	1,42
ULC30+60	3,16	0,84	2,00	0,91	2,08	1,50
Média (M)	2,18 A	0,91 B		1,00	1,63	
Adubação (A)		0,7727 ^{ns}			0,8222 ^{ns}	
Modo (M)		0,0062 ^{**}			0,5663 ^{ns}	
A x M		0,9405 ^{ns}			0,3592 ^{ns}	
CV %		19,26			17,97	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; ^{**} significativo a 1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

Em Taquarituba as plantas de milho recuperaram mais ¹⁵N-fertilizante na adubação com ureia comum aplicada em cobertura (UCC). O melhor modo neste local foi aplicação dos fertilizantes a lanço (Tabela 3.15), por outro lado, em Uberlândia a adubação incorporada teve maior EANM, fato que causou a interação L x M da Tabela 3.13. Em Uberlândia, da mesma forma que em Taquarituba, a ureia comum aplicada na cobertura (UCC) resultou em maior EANM, mas neste local, sem diferir da UCS (Tabela 3.15).

A UCC foi mais eficiente e promoveu recuperação de 67,2% do ¹⁵N-fertilizante nas plantas de milho em relação às outras formas de adubação que recuperaram 46,2% em Taquarituba. Em Uberlândia, a EANM promovida pela UCC foi de 37,1%, para a UCS foi de 32,5%, e para as ureias de liberação controlada foi, em média, de 29,7% (Tabela 3.15).

A incorporação dos fertilizantes resultou em EANM de 50,6% em Taquarituba, e 37,7% em Uberlândia. A aplicação a lanço ocasionou EANM de 57% em Taquarituba e 26,7% em Uberlândia (Tabela 3.15).

Tabela 3.15 - Eficiência da adubação nitrogenada nas plantas de milho (EANM) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	%					
UCC	70,9	63,4	67,2 a	36,0	38,2	37,1 a
UCS	54,9	43,2	49,1 b	23,6	41,3	32,5 ab
ULC30	47,8	44,4	46,1 b	22,9	33,7	28,3 b
ULC30+60	54,5	51,2	52,9 b	24,3	37,7	31,0 b
Média (M)	57,0 A	50,6 B		26,7 B	37,7 A	
Adubação (A)		0,0003**			0,0326*	
Modo (M)		0,0409*			<0,0001***	
A x M		0,7184 ^{ns}			0,0691 ^{ns}	
CV %		15,7			17,25	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

A EANMB em Taquarituba teve o mesmo comportamento da EANM, com maior eficiência com o uso de UCC em relação às outras formas de adubação. Para os modos de aplicação a incorporação dos fertilizantes nitrogenados resultou em menor eficiência que a aplicação a lanço (Tabela 3.16).

Em Uberlândia a incorporação dos fertilizantes gerou maior eficiência que a aplicação a lanço, com exceção a adubação feita com UCC. Nesta forma de adubação (UCC), os modos de aplicação a lanço e incorporado foram igualmente eficientes. Em relação à aplicação a lanço, a UCC foi melhor que as demais formas de adubação, e no caso do modo incorporado, não houve diferença entre as formas de adubação (Tabela 3.16).

A interação L x M apresentada na Tabela 3.13 ocorreu, pois o modo de aplicação a lanço foi mais eficiente em Taquarituba e menos em Uberlândia, com exceção da adubação feita com UCC.

No modo de aplicação incorporado em Taquarituba, a EANMB foi 13% menor do que a aplicação a lanço. Por outro lado, em Uberlândia, a aplicação a lanço teve EANMB 30% menor do que o incorporado. A UCC foi 25% mais eficiente do que a média das demais formas de adubação em Taquarituba, e 38% mais eficiente em Uberlândia no modo de aplicação a lanço.

Tabela 3.16 - Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio de milho e braquiária (EANMB) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	%					
UCC	72,3	64,1	68,2 a	37,6 Aa	39,2 Aa	38,4
UCS	57,2	44,2	50,7 b	24,6 Bb	42,6 Aa	33,6
ULC30	49,6	45,5	47,6 b	23,5 Bb	35,9 Aa	29,7
ULC30+60	57,7	52,0	54,9 b	25,2 Bb	39,7 Aa	32,5
Média (M)	59,2 A	51,5 B		27,7	39,4	
Adubação (A)		0,0005**			0,0280*	
Modo (M)		0,0176*			<0,0001***	
A x M		0,7420 ^{ns}			0,0319*	
CV %		15,42			15,83	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

O Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante na camada de 0,0-0,6 m (NSPF₀₋₆), a Recuperação do nitrogênio no solo na camada de 0,0-0,6 m (RNS₀₋₆), o Nitrogênio total no solo proveniente do fertilizante (NSPF) e a recuperação total do nitrogênio no solo (RNS) variaram nos locais de estudo e nos modo de aplicação. Para estas variáveis analisadas também houve interação adubação e modo (Tabelas 3.17 e 3.18).

O N proveniente do fertilizante na camada de 0,6-1,2 m do solo (NSPF₆₋₁₂) e a recuperação do N no solo nesta mesma camada (RNS₆₋₁₂), variaram nos locais de estudo, nas formas de adubação e nos modos de aplicação. Para estas variáveis analisadas também houve interação local e modo (Tabelas 3.17 e 3.18).

Tabela 3.17 - Análise de variância conjunta entre locais, formas de adubação e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis: Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante na camada de 0,0-0,6 m (NSPF₀₋₆); na camada de 0,6-1,2 m (NSPF₆₋₁₂), Nitrogênio total do solo proveniente do fertilizante (NSPF)

	NSPFS ₀₋₆	NSPF ₆₋₁₂ kg ha ⁻¹	NSPF
FV		Pr>F	
Local (L)	0,0001**	<0,0001***	<0,0001***
Adubação (A)	0,7200 ^{ns}	0,0062**	0,7743 ^{ns}
Modo (M)	<0,0001***	0,0004**	<0,0001***
L x A	0,7287 ^{ns}	0,6284 ^{ns}	0,7975 ^{ns}
L x M	0,7087 ^{ns}	0,0290*	0,4366 ^{ns}
A x M	0,0239*	0,1286 ^{ns}	0,0242*
L x A x M	0,1962 ^{ns}	0,1961 ^{ns}	0,2286 ^{ns}
CV%	8,35	11,01	7,82

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro

Tabela 3.18 - Análise de variância conjunta entre locais, formas de adubação e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis: Recuperação do nitrogênio no solo na camada de 0,0-0,6 m (RNS₀₋₆); Recuperação do nitrogênio no solo na camada de 0,6-1,2 m (RNS₆₋₁₂) Recuperação total do nitrogênio no solo (RNS)

	RNS ₀₋₆	RNS ₆₋₁₂ %	RNS
FV		Pr>F	
Local (L)	0,0002**	<0,0001***	<0,0001***
Adubação (A)	0,7218 ^{ns}	0,0062**	0,7759 ^{ns}
Modo (M)	<0,0001***	0,0004**	<0,0001***
L x A	0,7305 ^{ns}	0,6315 ^{ns}	0,7991 ^{ns}
L x M	0,7341 ^{ns}	0,0280*	0,4579 ^{ns}
A x M	0,0238*	0,1302 ^{ns}	0,0240*
L x A x M	0,1941 ^{ns}	0,1985 ^{ns}	0,2255 ^{ns}
CV%	8,36	11,01	7,83

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro

As ureias de liberação controlada não alteraram o NSPF₀₋₆ em comparação com as aplicações de ureia comum em Taquarituba. Na aplicação dos fertilizantes a lanço, o NSPF₀₋₆ foi maior do que quando feita a incorporação (Tabela 3.19).

Em Uberlândia houve interação entre adubação e modo. A UCC, ULC30 e a ULC30+60 resultaram em maior quantidade de NSPF₀₋₆ quando aplicada a lanço e menor quantidade no modo incorporado. A UCS teve a mesma resposta nos modos de aplicação a lanço e incorporado.

Na aplicação incorporada não houve diferença em relação às formas de adubação, por outro lado, com a aplicação a lanço a UCC promoveu maior NSPF₀₋₆,

e as ureias de liberação controlada (ULC30 e ULC30+60) apresentaram comportamento intermediário para esta variável. A UCS foi a que resultou em menor NSPF₀₋₆ quando aplicada a lanço (Tabela 3.19).

Tabela 3.19 - Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante na camada de 0,0-0,6 m (NSPF₀₋₆) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	38,3	10,4	24,4	30,5 Aa	5,5 Ba	18,0
UCS	30,0	13,7	21,9	13,2 Ab	11,0 Aa	12,1
ULC30	34,0	14,3	24,2	17,4 Aab	7,9 Ba	12,7
ULC30+60	26,0	11,4	18,7	21,1 Aab	6,8 Ba	14,0
Média (M)	32,1 A	12,5 B		20,6	7,8	
Adubação (A)		0,3166 ^{ns}			0,8952 ^{ns}	
Modo (M)		<0,0001 ^{***}			<0,0001 ^{***}	
A x M		0,3987 ^{ns}			0,0101 [*]	
CV %		11,44			9,48	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

Nas camadas mais profundas do solo, a única diferença observada para o NSPF₆₋₁₂ foi em Taquarituba, e entre os modos de aplicação. Nesta situação, a aplicação a lanço resultou em maior quantidade de NSPF₆₋₁₂ em comparação ao modo de aplicação incorporado (Tabela 3.20). Esta resposta em Taquarituba não ocorreu em Uberlândia, fato que causou a interação local x modo apresentada na Tabela 3.17.

As ureias de liberação controlada não afetaram a quantidade de nitrogênio do ¹⁵N-Fertilizante encontrada nas camadas mais profundas do solo (0,6-1,2 m) em nenhum dos locais avaliados (Tabela 3.20).

Tabela 3.20 - Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante na camada de 0,6-1,2 m (NSPF₆₋₁₂) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	3,28	1,48	2,38	1,10	0,49	0,80
UCS	3,51	1,88	2,70	0,74	0,71	0,73
ULC30	5,35	2,53	3,94	1,15	1,37	1,26
ULC30+60	4,90	1,78	3,34	0,73	0,91	0,82
Média (M)	4,26 A	1,92 B		0,93	0,87	
Adubação (A)		0,1061 ^{ns}			0,0638 ^{ns}	
Modo (M)		<0,0001***			0,3419 ^{ns}	
A x M		0,7902 ^{ns}			0,0851 ^{ns}	
CV %		11,35			10,16	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

As ureias de liberação controlada não alteraram o NSPF em comparação com as aplicações de ureia comum em Taquarituba. Na aplicação dos fertilizantes a lanço, o NSPF foi maior do que quando feita a incorporação (Tabela 3.21).

Em Uberlândia houve interação entre adubação e modo. A UCC, ULC30 e a ULC30+60 resultaram em maior quantidade de NSPF quando aplicada a lanço e menor quantidade no modo incorporado. A UCS teve a mesma resposta nos modos de aplicação a lanço e incorporada.

Na aplicação incorporada não houve diferença em relação às formas de adubação, por outro lado, com a aplicação a lanço a UCC promoveu maior NSPF, as ureias de liberação controlada (ULC30 e ULC 30+60) apresentaram comportamento intermediário para esta variável, e a UCS foi a que apresentou menor NSPF (Tabela 3.21).

O NSPF₀₋₆ (Tabela 3.19) representa 88% do NSPF (Tabela 3.21) com aplicação a lanço, e 87% com aplicação incorporada em Taquarituba, em Uberlândia o NSPF₀₋₆ representou 96% do NSPF para a média das formas aplicadas a lanço, e 90% na aplicação incorporada.

Tabela 3.21 - Nitrogênio total do solo proveniente do fertilizante (NSPF) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	41,2	12,0	26,6	31,6 Aa	6,0 Ba	18,8
UCS	33,6	15,6	24,6	14,0 Ab	11,7 Aa	12,9
ULC30	39,4	16,8	28,1	18,6 Aab	9,3 Ba	14,0
ULC30+60	31,0	13,2	22,1	21,8 Aab	7,7 Ba	14,8
Média (M)	36,3 A	14,4 B		21,5	8,7	
Adubação (A)		0,3649 ^{ns}			0,9345 ^{ns}	
Modo (M)		<0,0001***			<0,0001***	
A x M		0,5138			0,0080**	
CV %		10,91			8,92	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

As ureias de liberação controlada não alteraram a RNS_{0-6} em comparação com as aplicações de ureia comum em Taquarituba. O modo de aplicação a lanço, a RNS_{0-6} foi maior do que no modo incorporado (Tabela 3.22).

Em Uberlândia houve interação entre adubação e modo. A UCC, ULC30 e a ULC30+60 resultaram em maior RNS_{0-6} quando aplicada a lanço e menor recuperação no modo incorporado. A UCS teve a mesma resposta nos modos de aplicação a lanço e incorporado.

Na aplicação incorporada não houve diferença em relação às formas de adubação, por outro lado, com a aplicação a lanço, a UCC promoveu maior RNS_{0-6} , as ureias de liberação controlada (ULC30 e ULC 30+60) apresentaram recuperação intermediária para esta variável, e a UCS foi a que apresentou menor RNS_{0-6} (Tabela 3.22).

Tabela 3.22 - Recuperação do nitrogênio no solo na camada de 0,0-0,6 m (RNS_{0-6}) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	%					
UCC	31,9	8,6	20,3	26,2 Aa	4,7 Ba	15,5
UCS	25,0	11,4	18,2	11,4 Ab	9,4 Aa	10,4
ULC30	28,3	11,9	20,1	15,0 Aab	6,8 Ba	10,9
ULC30+60	21,7	9,5	15,6	18,1 Aab	5,9 Ba	12
Média (M)	26,7 A	10,4 B		17,7	6,7	
Adubação (A)		0,3166 ^{ns}			0,8952 ^{ns}	
Modo (M)		<0,0001***			<0,0001***	
A x M		0,3987 ^{ns}			0,0101*	
CV %		11,44			9,48	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

A única diferença observada para RNS_{6-12} em Taquarituba foi entre os modos de aplicação. Nesta situação, a aplicação a lanço resultou em maior RNS_{6-12} em comparação ao modo de aplicação incorporado (Tabela 3.23). Este resultado de Taquarituba não ocorreu em Uberlândia, fato que causou a interação local x modo (Tabela 3.18).

As ureias de liberação controlada não afetaram a recuperação do ^{15}N -Fertilizante nas camadas mais profundas do solo (0,6-1,2 m) em nenhum dos locais avaliados (Tabela 3.23).

Tabela 3.24 - Recuperação total do nitrogênio no solo (RNS) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	%					
UCC	34,6	9,8	22,2	27,1 Aa	5,1 Ba	16,1
UCS	28,0	13,0	20,5	12,0 Ab	10,0 Aa	11,0
ULC30	32,8	14,0	23,4	16,0 Aab	8,0 Ba	12,0
ULC30+60	25,8	11,0	18,4	18,7 Aab	6,7 Ba	12,7
Média (M)	30,3 A	12,0 B		18,5	7,5	
Adubação (A)		0,3649 ^{ns}			0,9345 ^{ns}	
Modo (M)		<0,0001***			<0,0001***	
A x M		0,5138			0,0080**	
CV %		10,91			8,91	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

A recuperação total do Nitrogênio (RN₁ e RN₂) e o nitrogênio não recuperado (NNR₁ e NNR₂) foram influenciados pelos modos de aplicação e formas de adubação, para estas variáveis houve interação L x M (Tabela 3.25).

Tabela 3.25 - Análise de variância conjunta entre locais, formas de adubação e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis: Recuperação total do ¹⁵N-fertilizante em kg ha⁻¹ (RN₁); Nitrogênio não recuperado em kg ha⁻¹ (NNR₁) Recuperação total do ¹⁵N-fertilizante em % (RN₂); Nitrogênio não recuperado em % (NNR₂)

	RN ₁	NNR ₁	RN ₂	NNR ₂
	kg ha ⁻¹		%	
FV	Pr>F			
Local (L)	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***
Adubação (A)	0,0002**	0,0002**	0,0002**	0,0002**
Modo (M)	0,0009**	0,0009**	0,0011**	0,0011**
L x A	0,2856 ^{ns}	0,2856 ^{ns}	0,3184 ^{ns}	0,3184 ^{ns}
L x M	0,0006**	0,0006**	0,0007**	0,0007**
A x M	0,6110 ^{ns}	0,6110 ^{ns}	0,5856 ^{ns}	0,5856 ^{ns}
L x A x M	0,0450*	0,0450*	0,0432*	0,0432*
CV%	15,58	15,58	15,62	15,62

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro

A RN₁ foi maior em Taquarituba do que em Uberlândia (Tabelas 3.25 e 3.26).

A RN₁ em Taquarituba foi maior no modo de aplicação a lanço do que no incorporado. A aplicação incorporada recuperou 81 kg ha⁻¹, 23% menos do que o

modo a lanço (105 kg ha^{-1}). A adubação com UCC recuperou $113,5 \text{ kg ha}^{-1}$, 24% a mais do que as demais formas de adubação avaliadas (Tabela 3.26).

Em Uberlândia, a adubação feita com UCC recuperou 32% mais nitrogênio na aplicação a lanço do que no incorporado. No modo de aplicação a lanço, a adubação com UCC recuperou 38% a mais do que as demais formas de adubação (Tabela 3.26).

Tabela 3.26 - Recuperação total do ^{15}N -fertilizante em kg ha^{-1} (RN_1) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha^{-1}					
UCC	121,1	105,8	113,5 a	75,3 Aa	51,6 Ba	63,4
UCS	102,2	71,4	86,8 b	42,6 Ab	60,5 Aa	51,6
ULC30	98,9	71,4	85,1 b	45,9 Ab	50,4 Aa	48,2
ULC30+60	98,3	73,3	85,8 b	51,2 Ab	55,1 Aa	53,2
Média (M)	105,2 A	80,5 B		53,8	54,4	
Adubação (A)		0,0176*			0,0292*	
Modo (M)		0,0005**			0,6676 ^{ns}	
A x M		0,8220 ^{ns}			0,0107*	
CV %		13,26			18,87	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a $p \leq 0,05$

Em Uberlândia o NNR_1 foi maior do que em Taquarituba (Tabelas 3.25 e 3.27).

O NNR_1 em Taquarituba foi menor no modo de aplicação a lanço do que no incorporado. O nitrogênio perdido no modo de aplicação a lanço foi de 15 kg ha^{-1} , 61% menos do que o modo incorporado (40 kg ha^{-1}). As formas de adubação UCS, ULC30 e ULC30+60 perderam 34 kg ha^{-1} , 79% a mais do que a UCC. (Tabela 3.27).

Em Uberlândia, a adubação com UCC perdeu 37% mais nitrogênio na aplicação incorporada do que na feita a lanço. No modo de aplicação a lanço, a adubação com UCS, ULC30 e ULC30+60 perderam 41% a mais do que a UCC (Tabela 3.27).

Tabela 3.27 - Nitrogênio não recuperado em kg ha⁻¹ (NNR₁) em Taquarituba e Uberlândia em razão das formas de adubação e modos de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

Tratamentos [†]	Taquarituba			Uberlândia		
	Lanço	Incorporado	Média(A)	Lanço	Incorporado	Média(A)
	kg ha ⁻¹					
UCC	0,0	14,2	7,1 b	41,1 Bb	64,8 Aa	53,0
UCS	17,8	48,6	33,2 a	73,8 Aa	55,9 Aa	64,9
ULC30	21,1	48,6	34,9 a	70,5 Aa	66,0 Aa	68,3
ULC30+60	21,7	46,7	34,2 a	65,2 Aa	61,3 Aa	63,3
Média (M)	15,2 B	39,5 A		62,7	62,0	
Adubação (A)		0,0176*			0,0292*	
Modo (M)		0,0005**			0,6676 ^{ns}	
A x M		0,8220 ^{ns}			0,0107*	
CV %		13,26			18,87	

[†] UCC = Ureia comum aplicada na cobertura (V4); UCS = ureia comum aplicada na semeadura; ULC30 = ureia de liberação controlada de 30 dias aplicada na semeadura; ULC30+60 = ureia de liberação controlada de 30 e 60 dias aplicada na semeadura. ^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1% de probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste LSD a p ≤ 0,05

A Figura 3.10 ilustra a recuperação do N e o nitrogênio não recuperado em porcentagem (RN₂ e NNR₂) em Taquarituba e Uberlândia. O aproveitamento do ¹⁵N fertilizante foi maior em Taquarituba do que em Uberlândia (Tabela 3.25), e a aplicação a lanço em Taquarituba foi melhor do que em Uberlândia. A UCC teve melhor desempenho nos dois lugares de avaliação, com exceção à aplicação incorporada em Uberlândia, que teve resposta igual às demais formas de adubação (Tabela 3.26 e Figura 3.10)

Figura 3.10 – Recuperação do Nitrogênio (RN₂) e nitrogênio não recuperado (NNR₂) no sistema solo planta para ureia comum cobertura (UCC), ureia comum semeadura (UCS), ureia de liberação controlada 30 dias (ULC30) e ureia de liberação controlada 30 e 60 dias (ULC30+60) aplicadas a lanço e incorporada nas cidades de Taquarituba (a) e Uberlândia (b)

3.4 Discussão

A produtividade de milho foi menor em Taquarituba, do que em Uberlândia (Tabela 3.3), devido aos períodos secos nos meses de dezembro e fevereiro em Taquarituba (Figura 3.4). Em dezembro choveu apenas 25 mm nos dois últimos decêndios (Anexo), e em fevereiro choveu 60 mm no primeiro decêndio, e 30 mm no segundo, que explica a deficiência hídrica nestes períodos (Figura 3.4). Em Uberlândia as chuvas foram bem distribuídas, que proporcionou excedente hídrico durante a safra (Figura 3.7). No primeiro decêndio de março foi o único período que não houve chuva (Anexo).

A produtividade de milho não foi afetada, pois apesar das diferenças de desempenho das formas de adubação em cada modo de aplicação, a dose de N do

fertilizante utilizada, e o solo como fonte de N nos dois locais, forneceram o nutriente requerido para as produtividades obtidas. A concentração adequada de N nas folhas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) e o acúmulo semelhante de N total em cada situação, comprovam esta afirmação (Tabelas 3.5; 3.6 e 3.8 e Figura 3.9).

Do total de N acumulado no milho (216 a 237 kg ha⁻¹ em Taquarituba, e 192 a 249 kg ha⁻¹ em Uberlândia) e na braquiária (15 a 23 kg ha⁻¹ em Taquarituba e 8 a 21 kg ha⁻¹ em Uberlândia), a contribuição do ¹⁵N-fertilizante no milho variou de 52 kg ha⁻¹ a 85 kg ha⁻¹ em Taquarituba e 27 kg ha⁻¹ a 48 kg ha⁻¹ em Uberlândia, em relação à braquiária, variou de 0,8 kg ha⁻¹ a 3,8 kg ha⁻¹ em Taquarituba, e 0,7 kg ha⁻¹ e 2,6 kg ha⁻¹ em Uberlândia. O restante veio de outras fontes (solo + N-P-K de semeadura) (Figura 3.11). O solo contribuiu com a maior parte do N absorvido pelo milho e braquiária, cuja contribuição foi ainda maior nas formas de adubação e modos de aplicação em que a recuperação do ¹⁵N-fertilizante nas plantas foi prejudicada. Existem vários relatos de que o solo contribui com a maior parte do N acumulado nas plantas em relação ao N do fertilizante (DOURADO-NETO et al., 2010; RIMSKI-KORSAKOV; RUBIO; LAVADO, 2012).

O fornecimento de parte do N no decorrer do ciclo do milho pela aplicação em cobertura (UCC) ou liberação gradual do N (ULC30 e ULC30+60) não foi benéfico às plantas. A concentração do N nas folhas foi adequada em todas as situações (Tabela 3.6), a produtividade de milho não foi alterada (Tabela 3.5) e o acúmulo total de N não foi afetado nas plantas de milho e braquiária (Figura 3.9). A eficácia dos fertilizantes de liberação controlada depende das condições de clima e solo (NOELLSCH et al., 2009; MALHI et al., 2011; GAGNON; ZIADI; GRANT, 2012; SUTER et al., 2013), e são comuns relatos na literatura de que estes fertilizantes não são melhores que a ureia comum (HADI et al., 2008; HYATT et al., 2010; RODRIGUES et al., 2010; MASSEY et al., 2011; GRANT et al., 2012; HALVORSON; DEL GROSSO, 2013; KHAKBAZAN et al., 2013).

Figura 3.11 – Participação do nitrogênio no milho proveniente do fertilizante (NMPF); Nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF); Nitrogênio no milho proveniente de outras fontes (solo + N-P-K) (N-solo-M); Nitrogênio na braquiária proveniente de outras fontes (solo + N-P-K) (N-solo-B), no total de N absorvido no consórcio de milho + braquiária (NtotMB), para ureia comum cobertura (UCC), ureia comum semeadura (UCS), ureia de liberação controlada em 30 dias (ULC30) e ureia de liberação controlada em 30 e 60 dias (ULC30+60), aplicadas a lanço e incorporada nas cidade de Taquarituba (a) e Uberlândia (b)

A adubação nitrogenada no consórcio de milho com braquiária deve ser feita em quantidade e época que proporcione vantagem competitiva ao milho (KURTZ; MELSTED; BRAY, 1952). A distribuição do fertilizante nitrogenado a lanço em Taquarituba favoreceu a absorção de N pela braquiária, em relação ao nutriente incorporado, localizado mais próximo do milho (Tabela 3.10). No entanto, a quantidade absorvida pela braquiária nas duas situações foi pequena (2% do ^{15}N -fertilizante aplicado no modo a lanço e 1,0% no incorporado, Tabela 3.14). Por outro lado, esta diferença entre modos de aplicação não foi observado em Uberlândia, e a braquiária absorveu, em média 1,3% do ^{15}N -fertilizante aplicado (Tabela 3.14).

As ureias de liberação controlada não reduziram a absorção do N pela braquiária por disponibilizarem este nutriente em época mais tardia, momento em que as plantas de braquiária estão completamente sombreadas pelo milho.

Estas observações comprovam a viabilidade do uso do consórcio de milho com braquiária no sistema de integração lavoura e pecuária, como também no sistema plantio direto, pois as formas de adubação e os modos de aplicação não afetaram a produção de massa de braquiária e tampouco o milho, uma vez que o NBPF representa 1% ou menos do NMBPF (Figura 3.11). Trabalhos que relataram o sucesso do consórcio de milho com braquiária sem prejuízo na produção de grãos e com bom estabelecimento da braquiária são comuns na literatura (BALDÉ et al., 2011; BORGHI et al., 2012, 2013; CRUSCIOL et al., 2012; CECCON et al., 2013).

Na presente pesquisa as condições para a volatilização de NH_3 da ureia foram diferentes entre os locais. Em Taquarituba a aplicação dos fertilizantes na semeadura ocorreu sete dias após uma chuva, quando o solo já estava seco (Anexo). Esta situação persistiu por mais dez dias, após a qual precipitou 66 mm de chuva em três dias, o que reduziu o potencial de volatilização na aplicação a lanço. Sahrawat (1984) relatou que a atividade da urease é zero em condição de solo seco, e as perdas por volatilização são desprezíveis em condição de pouca umidade, e a maior atividade da urease foi constatada a partir de 20% a 40% de umidade, variável com o tipo de solo. Na aplicação da ureia comum em cobertura (UCC) choveu 15 mm em poucos minutos, logo após a aplicação (Anexo), suficiente para a incorporação da ureia. Esta afirmação pode ser comprovada pela maior recuperação no sistema solo planta da UCC em Taquarituba (Tabela 3.26). Proctor, Koenig e Johnston (2010) relataram que para redução das perdas de volatilização de amônia com aplicação de ureia em superfície, deve-se fazer em condições de solo seco ou imediatamente antes de um evento chuvoso significativo.

Em Uberlândia as aplicações da UCS, ULC30 e ULC30+60 ocorreram em condições de solo úmido, uma vez que houve uma chuva de 7,5 mm antes das aplicações, e dois dias depois choveu 4 mm, não suficiente para a incorporação da ureia, que potencializou a perda por volatilização (SAHRAWAT, 1984; PROCTOR; KOENIG; JOHNSTON, 2010). Ainda nesta situação, somente depois de dezoito dias choveu 50 mm em um dia e mais 20 mm no dia seguinte (Anexo). O potencial de perda por volatilização também ocorreu na aplicação da UCC, porém em menor

nível porque choveu 7 mm dois dias depois da aplicação, 17mm no quinto dia e 16 mm no sexto dia após a aplicação (Anexo).

As condições climáticas ocorrentes em cada região na safra estudada repercutiram na diferença de resposta para modos de aplicação em Taquarituba e Uberlândia, assim como explicam as interações L x M para NBPF, NMPF e NMBPF (Tabela 3.9), RNB, EANM e EANMB (Tabela 3.13), RN_1 , NNR_1 , RN_2 , NNR_2 (Tabela 3.25). Para estas variáveis, no geral, o modo de aplicação a lanço foi melhor do que o incorporado em Taquarituba, e pior do que o incorporado em Uberlândia, exceto para a UCC, que aconteceu em condições climáticas propícias à aplicação a lanço em relação as demais formas de adubação (Anexo).

As ureias protegidas com polímero não diligenciaram para viabilizar a aplicação a lanço. Em Uberlândia, onde a volatilização foi facilitada, as ureias revestidas não reduziram as perdas, pois a recuperação do ^{15}N fertilizante pelo milho e braquiária foi igual à ureia comum (UCS). Em média, as ureias de liberação controlada feitas a lanço e a UCS em Uberlândia promoveram recuperação de 27,5 kg ha^{-1} no milho, e no consórcio, o milho e a braquiária recuperaram 28 kg ha^{-1} na média das ureias de liberação controlada e a UCS. Em Taquarituba onde a distribuição hídrica favoreceu a aplicação a lanço, a ULC30 e ULC30+60 também apresentaram desempenho semelhante a UCS, uma vez que o milho recuperou 61 kg ha^{-1} do ^{15}N -fertilizante na média das ureias de liberação controlada, e 66 kg ha^{-1} para a UCS. Para o milho e a braquiária em consórcio, as ureias de liberação controlada recuperaram 64 kg ha^{-1} , e a UCS 68,5 kg ha^{-1} (Tabelas 3.11 e 3.12).

Os resultados desta pesquisa evidenciaram que as ureias de liberação controlada são dependentes da distribuição da chuva, da mesma forma que a ureia comum para viabilizar a aplicação a lanço. Mota (2013) avaliou este mesmo produto utilizado nesta pesquisa, e concluiu que o recobrimento de ureia com polímero a base de poliuretano não foi eficaz em reduzir as perdas de amônia por volatilização, e o recobrimento apenas retardou a hidrólise e liberação do N. Este atraso na liberação não foi suficiente para evitar a volatilização em Uberlândia, pois houve 18 dias seguidos sem chuva depois da aplicação dos fertilizantes a lanço (Anexo). A volatilização é um processo que ocorre principalmente nas primeiras 2 a 3 semanas da aplicação (GONG et al., 2013).

Os fertilizantes “inteligentes” nem sempre garantem maior eficiência por reduzir as perdas de N inerentes à aplicação de ureia a lanço. Para Nash,

Nelson e Motovalli (2013) a ureia revestida com polímero foi melhor do que a ureia comum em aplicação a lanço, mas ambas perderam por volatilização e tiveram pior desempenho do que quando incorporado. Cantarella et al. (2008) verificaram que as perdas por volatilização da ureia tratada com inibidor de urease é dependente das condições climáticas ocorrentes após a aplicação. Noellsch et al. (2009) comprovaram que o desempenho da ureia revestida com polímero é dependente da umidade do solo. Gagnon, Ziadi e Grant (2012) relataram que as vantagens da ureia de liberação controlada dependem do regime hídrico da safra, principalmente após a aplicação. Suter et al. (2013) mostraram que as perdas por volatilização de amônia variam com a época do ano, em razão da umidade do solo. Para estes autores, os fertilizantes “inteligentes” só foram mais eficientes que a ureia comum no outono. Malhi et al. (2011) concluíram em estudo de longo prazo, que a eficiência da ureia revestida com polímero depende do clima e tipo de solo.

O fornecimento do N durante o ciclo do milho seja pela aplicação de ureia em cobertura (UCC) ou pela liberação tardia das ureias protegidas com polímero (ULC30 e ULC30+60) não aumentaram a EANMB em Uberlândia. A maior EANMB encontrada para a UCC a lanço deve-se a coincidência entre a aplicação e a distribuição das chuvas, e não pelo fornecimento tardio do N, uma vez que a incorporação da ureia em V4 não aumentou a EANMB (Tabela 3.16). Jaynes (2013) aplicou nitrogênio em várias fases do desenvolvimento do milho e não encontrou um padrão de resposta para produtividade, nem para lixiviação de nitrato.

Em Taquarituba a UCC foi superior a UCS, ULC30 e ULC30+60, tanto na adubação incorporada, quanto na feita a lanço, em razão da chuva que favoreceu a aplicação a lanço na cobertura (Anexo). Isto aconteceu, também, devido à aplicação tardia do N, comprovado pela alta EANMB da UCC incorporada, fato não observado nas ureias de liberação controlada, que apresentaram menor EANMB no modo incorporado. Esta observação deve-se ao maior potencial de volatilização da aplicação a lanço na semeadura, em relação ao mesmo modo feito em cobertura (Anexo). No caso da incorporação das ureias de liberação controlada não foram observados benefícios pela sua aplicação (Tabela 3.16). O tempo em que ocorre a liberação do N em fertilizantes de liberação controlada varia em função da temperatura, umidade e tipo de solo (DU; ZHOU; SHAVIV, 2006; FAN; LI, 2010) Mota (2013) realizou trabalhos com o mesmo produto utilizado nesta pesquisa e

verificou que a liberação do N tem menor longevidade quando aplicado incorporado ao solo.

No solo encontrou-se nos primeiros 0,6 m a maior quantidade do ^{15}N -fertilizante, independentemente das formas de adubação e modos de aplicação nos dois locais (Figura 3.12). Isso ocorreu devido ao potencial de imobilização de N pelos micro-organismos dos solos de clima tropical úmido, uma vez que a temperatura, umidade e carbono oxidável, não limitam a atividade microbiana. Para a ação dos organismos do solo o fator limitante é o N, portanto, quando este nutriente é fornecido, aumenta a degradação dos resíduos, e se consome o N, o qual é incorporado na biomassa dos organismos decompositores. Esta é a principal razão da imobilização do N, o que implica numa menor percolação no solo, como indica a pequena quantidade de ^{15}N -fertilizante encontrada em profundidade (Tabelas 3.19 e 3.20; Figura 3.12). Gabriel e Quemada (2011) também encontraram pequena quantidade do ^{15}N fertilizante nas maiores profundidades do solo (1 a 9% do ^{15}N recuperado no solo), e 77% a 86% estavam nos primeiros 0,4 m. Hancock et al. (2011) encontraram 90% do ^{15}N -fertilizante do solo nos primeiros 0,1 m. Ottman, Tickes e Husman (2000) determinaram 64% de todo ^{15}N -fertilizante do solo nos primeiros 0,3 m de profundidade. Portela et al. (2006) relataram que 15% a 29% do ^{15}N -fertilizante aplicado foi imobilizado no solo.

A maior quantidade de ^{15}N -fertilizante encontrada no solo pela aplicação a lanço em relação ao modo incorporado em Taquarituba (Tabela 3.21), ocorreu devido à condição de solo seco, que reduziu a perda de N por volatilização, e assim, maior quantidade de N infiltrou nos primeiros centímetros do solo. A distribuição do fertilizante na superfície do solo aumenta a exposição do N à ação microbiana e, conseqüentemente, sua imobilização. Há outros estudos que demonstraram maior imobilização de nitrogênio em aplicações a lanço em relação ao modo incorporado (TOMAR; SOPER, 1981; CARTER; RENNIE, 1984; MALHI; NYBORG, 1991; MALHI et al., 2001).

Figura 3.12 - Participação do ^{15}N -fertilizante de cada camada do solo no total de ^{15}N -fertilizante encontrado no solo para ureia comum cobertura (UCC), ureia comum semeadura (UCS), ureia de liberação controlada 30 dias (ULC30) e ureia de liberação controlada 30 e 60 dias (ULC30+60), aplicadas a lanço e incorporada nas cidades de Taquarituba (a) e Uberlândia (b)

Em Uberlândia, apesar do potencial de volatilização da amônia na aplicação a lanço, o ^{15}N -fertilizante não volatilizado foi, prioritariamente, imobilizado pelos micro-organismos, uma vez que encontrou-se maior quantidade de ^{15}N -fertilizante no solo na aplicação a lanço em relação à incorporada, em todas as formas de adubação com exceção da UCS (Tabela 3.21). Assim, pouco N estava disponível ao milho e a braquiária, que recuperaram apenas 24% do ^{15}N -fertilizante aplicado na média das formas UCS, ULC30 e ULC30+60, e 38% para a UCC que teve maior EANMB (Tabela 3.16) e RNS (Tabela 3.24), pela menor perda por volatilização em relação às outras formas de adubação a lanço, e assim, mais N ficou no sistema solo planta.

A recuperação total do ^{15}N -fertilizante foi maior em Taquarituba do que em Uberlândia (Tabela 3.25 e Figuras 3.10 e 3.13). O N a lanço feito em Taquarituba

recuperou, em média, 88% no sistema solo planta, quantidade maior do que o N incorporado, em que a recuperação foi, em média, 67%. Esta diferença deu-se por dois motivos: (i) pela eficiência da aplicação a lanço, com pequena perda por volatilização nas adubações feitas na semeadura, e praticamente zero na adubação em cobertura, (ii) por causa da maior imobilização do N no solo com a distribuição a lanço (TOMAR; SOPER, 1981; CARTER; RENNIE, 1984; MALHI; NYBORG, 1991; MALHI et al., 2001).

Da mesma forma que as chuvas após as aplicações dos fertilizantes favoreceram a aplicação a lanço por evitar a volatilização em Taquarituba, as mesmas prejudicaram quando o N foi incorporado. Neste experimento, o potencial de desnitrificação foi maior, porque o Nitossolo de Taquarituba tem alta capacidade de retenção de água, em razão da estrutura em blocos de grau moderado e 590 g kg⁻¹ de argila no horizonte B. Neste ambiente, há muitas zonas temporárias de anaerobiose, onde ocorre a desnitrificação. Maharjan e Venterea (2013) determinaram maior desnitrificação para o modo de aplicação incorporado em relação à aplicação a lanço, e quando utilizaram ureia revestida com polímero as perdas de N₂O foram ainda maiores. Para Halvorson e Del Grosso (2013) a emissão de maior quantidade de N₂O ocorreu na aplicação incorporada com várias fontes de ureia, em relação à adubação a lanço.

Em Uberlândia a recuperação do ¹⁵N-fertilizante foi maior na UCC na aplicação a lanço, em relação às demais formas de adubação. Neste local as chuvas que ocorreram na época da adubação em cobertura, reduziram a perda por volatilização, comparativamente àquelas feitas na semeadura (Anexo). O ¹⁵N-fertilizante que permaneceu no sistema foi imobilizada na camada superficial do solo da mesma forma que para as demais formas de adubação a lanço, exceto na UCS (Tabelas 3.19 e 3.22). Ainda assim, a maior quantidade de N da UCC presente no sistema pelo advento da menor perda por volatilização, proporcionou maior aproveitamento pelas plantas, como indica a maior EANMB do que as demais formas de adubação feitas a lanço (Tabela 3.16). A UCC aplicada a lanço favoreceu a recuperação do ¹⁵N-fertilizante no sistema solo planta, comparado a UCS, ULC30 e ULC30+60 feitas a lanço, as quais apresentaram mais NNR₂ (Tabela 3.26 e Figura 3.10).

A RN₁ da UCS, ULC30 e ULC30+60 foram semelhantes para modos de aplicação, lanço e incorporado em Uberlândia (Tabela 3.26). As maiores perdas por

volatilização nas aplicações a lanço reduziram a quantidade de ^{15}N -fertilizante infiltrada no solo, que foi, prioritariamente, imobilizada na zona de maior atividade microbiana (maior NSPF no lanço que incorporado Tabela 3.19, exceto a UCS). Em consequência destes dois processos, o ^{15}N -fertilizante remanescente foi pouco recuperado pelo milho e a braquiária (menor NMBPF a lanço, do que incorporado Tabela 3.12). Nas aplicações incorporadas houve menor imobilização, do que no modo a lanço, com exceção da UCS (Tabela 3.12), e maior EANMB (Tabela 3.16), e por isso, a somatória das recuperações de N do sistema solo planta (RN_1) foi semelhante nos modos de aplicação (lanço e incorporado). A maior RN_1 no modo a lanço da UCC aconteceu devido a menor volatilização, e assim havia mais ^{15}N -fertilizante para a absorção das plantas de milho e braquiária, como indica a quantidade semelhante de NMBPF do modo lanço e incorporado (Tabela 3.12). Este fato contribuiu para a maior recuperação total de ^{15}N no sistema solo planta com a utilização da UCC aplicada a lanço (Tabela 3.26).

A RN_1 no sistema solo planta não variou para as formas de adubação incorporadas em Uberlândia, em que a recuperação foi, em média, 47% do ^{15}N -fertilizante (Figura 3.10). As perdas que ocorreram no modo incorporado devem-se principalmente à desnitrificação (HALVORSON; DEL GROSSO, 2013; MAHARJAN; VENTEREA, 2013), e, em parte, pela lixiviação. Embora a quantidade de ^{15}N -fertilizante lixiviado durante o período de uma cultura anual seja pequena (BAKER; TIMMONS, 1994; FERNANDES; LIBARDI; CARVALHO, 2006; PORTELA et al., 2006; JAYASUNDARA et al., 2007; GHIBERTO et al., 2011; RIMSKI-KORSAKOV; RUBIO; LAVADO, 2012). No Latossolo de Uberlândia a lixiviação pode ter sido maior por tratar-se de solo bem drenado, devido à elevada porosidade, em virtude da estrutura granular de tamanho muito pequeno, grau fraco e consistência macia quando seco. Esta condição do solo facilitou a percolação do N para camadas mais profundas do que as avaliadas nesta pesquisa, em razão da pequena quantidade de NSPF₆₋₁₂ em Uberlândia (Tabela 3.20), em especial nas primeiras chuvas depois da aplicação, quando não existiam raízes ou exploravam pequeno volume de solo. Outro motivo reside na aplicação incorporada, que restringiu a imobilização do N, e assim o N ficou mais passível de ser lixiviado, como constataram outros autores (TOMAR; SOPER, 1981; CARTER; RENNIE, 1984; MALHI; NYBORG, 1991; MALHI et al., 2001).

A recuperação do ^{15}N -fertilizante na braquiária foi muito baixa, 2% no modo lanço e 1% no incorporado em Taquarituba, e 1,5% em Uberlândia (Tabela 3.14 e Figura 3.13). Esta observação comprova que a braquiária não prejudica o milho no consórcio entre ambos, quando a planta forrageira é manejada como espécie subordinada, e não há necessidade de aumentar a dose de N em sistema de consórcio de milho com braquiária. Assim, consegue-se produzir grãos e forragem logo após a colheita do milho, para formação de pastagem para o sistema de integração lavoura e pecuária, ou para formação de resíduos ao cultivo em sistema plantio direto.

O NNR na presente pesquisa variou entre zero e 63% (Tabela 3.25 e Figura 3.10). Parte do NNR foi oriundo de erros metodológicos e analíticos como amostragem e preparo de amostras, principalmente para o caso da UCC aplicada a lanço em Taquarituba, em razão da recuperação maior do que 100%. Houve, também, perdas por volatilização de amônia principalmente nas aplicações a lanço, em especial na UCS, ULC30 e ULC30+60 em Uberlândia. Para Rochette et al. (2013) a incorporação da ureia reduz a volatilização em 7% para cada centímetro de profundidade que incorpora-se o fertilizante, e a incorporação em 0,75 m a volatilização foi desprezível. Cai et al. (2002) relataram redução de 31% na volatilização de amônia pela aplicação de ureia incorporada, comparada à feita a lanço. A lixiviação do N é outra forma de perda que foi mais expressiva nas aplicações incorporadas, devido a menor retenção no solo por meio da imobilização do N, e ainda assim com maior importância em Uberlândia em virtude do tipo de solo. Para Syswerda et al. (2012) a lixiviação de N total em culturas anuais foi de 62 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em sistema convencional, e 41 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o sistema plantio direto. Ottman, Tickes e Husman (2000) relataram que 32% do ^{15}N aplicado teria lixiviado.

Ainda, a desnitrificação também implicou em perda no sistema, incluída no compartimento NNR. Este processo pode ter sido expressivo nas formas de aplicação incorporada (HALVORSON; DEL GROSSO, 2013; MAHARJAN; VENTEREA, 2013), principalmente em Taquarituba, onde o solo retém mais água. A emissão de N_2O e N_2 pode ser a maior parte do NNR de acordo com muitos trabalhos que aferiram a desnitrificação em sistemas de produção de milho (HADI et al., 2008; MKHABELA et al., 2008; GRAGEDA-CABRERA et al., 2011). E por fim, as perdas de N pela parte aérea das plantas após antese também acontecem

(FARQUHAR; WETSELAAR; FIRTH, 1979), a qual se deu em maior proporção nas situações em que a recuperação do ^{15}N -fertilizante na planta foi superior, e assim mais ^{15}N foi remobilizado das folhas para os grãos, com maior chance de perda. Francis, Schepers e Vigil (1993) determinaram que esta perda de N pela parte aérea após a antese do milho variou entre 45 kg ha^{-1} e 51 kg ha^{-1} , que corresponde a 10% e 20% do N aplicado.

Figura 3.13 - Balanço do ^{15}N -fertilizante com a proporção do Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante (NSPF); Nitrogênio no milho proveniente do fertilizante (NMPF); Nitrogênio na braquiária proveniente do fertilizante (NBPF); Nitrogênio não recuperado (NNR₁) para ureia comum cobertura (UCC), ureia comum semeadura (UCS), ureia de liberação controlada 30 dias (ULC30) e ureia de liberação controlada 30 e 60 dias (ULC30+60), aplicadas a lanço e incorporada nas cidades de Taquarituba (a) e Uberlândia (b)

3.5 Conclusões

A produtividade de milho e o acúmulo de N não variam com as formas de adubação (UCC, UCS, ULC30 e ULC30+60), aplicadas a lanço e incorporada.

As ureias de liberação controlada não promovem maior recuperação do ¹⁵N-fertilizante pelo milho e pela braquiária, em relação à ureia comum.

As formas de adubação (UCC, UCS, ULC30 e ULC30+60) aplicadas a lanço e incorporada não alteram a produção de biomassa da braquiária consorciada com milho.

O N do fertilizante absorvido pela braquiária consorciada com milho é menos de 1% de todo N acumulado, e no máximo 2% do N-fertilizante.

A ureia de liberação controlada não viabiliza a aplicação a lanço, e depende das mesmas condições climáticas que a ureia comum para obter bom desempenho.

Referências

- ALLEN, D.E.; KINGSTON, G.; RENNENBERG, H.; DALAL, R.C.; SCHMIDT, S. Effect of nitrogen fertilizer management and waterlogging on nitrous oxide emission from subtropical sugarcane soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 3/4, p. 209-217, Mar. 2010.
- 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.
- BHATTA, R.; ENISHI, O.; KURIHARA, M. Measurement of methane production from ruminants. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 20, n. 8, p. 1305-1318, Aug. 2007.
- 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.

BRANCA, G.; LIPPER, L.; MCCARTHY, N.; JOLEJOLE, M.C. Food security, climate change, and sustainable land management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 33, n. 4, p. 635-650, Oct. 2013.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.

CAI, G.; CHEN, D.; WHITE, R.E.; FAN, X.H.; PACHOLSKI, A.; ZHU, Z.L.; DING, H. Gaseous nitrogen losses from urea applied to maize on a calcareous fluvo-aquic soil in the North China Plain. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, Victoria, v. 40, n. 5, p. 737-748, Aug. 2002.

CARTER, M.R.; RENNIE, D.A. Crop utilization of placed and broadcast ¹⁵N-urea fertilizer under zero and conventional tillage. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 64, n. 4, p. 563-570, Nov. 1984.

CECCON, G.; STAUT, L.A.; SAGRILO, 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.

COSTA, P.M.; VILLELA, S.D.J.; LEONEL, F.P.; ARAÚJO, S.A.C.; ARAÚJO, K.G.; RUAS, J.R.M.; COELHO, F.S.; ANDRADE, V.R. Intercropping of corn, brachiaria grass and leguminous plants: productivity, quality and composition of silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 2144-2149, 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.

DENMEAD, O.T.; MACDONALD, B.C.T.; BRYANT, G.; NAYLOR, T.; WILSON, S.; GRIFFITH, D.W.T.; WANG, W.J.; SALTER, B.; WHITE, I.; MOODY, P.W. Emissions of methane and nitrous oxide from Australian sugarcane soils. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, n. 6, p. 748-756, June 2010.

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.

DU, C.; ZHOU, J.; SHAVIV, A. Release characteristics of nutrients from polymer-coated compound controlled release fertilizers. **Journal of Polymers and the Environment**, Hamilton, v. 14, n. 3, p. 223-230, July 2006.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAN, X.H.; LI, Y.C. Nitrogen release from slow-release fertilizers as affected by soil type and temperature. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 5, p. 1635-1641, Sept. 2010.

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.

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.

GAGNON, B.; ZIADI, N.; GRANT, C. Urea fertilizer forms affect grain corn yield and nitrogen use efficiency. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 92, n. 2, p. 341-351, Feb. 2012.

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.

GONG, W.; ZHANG, Y.; HUANG, X.; LUAN, S. High-resolution measurement of ammonia emissions from fertilization of vegetable and rice crops in the Pearl River Delta Region, China. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 65, p. 1-10, Feb. 2013.

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.

GRANT, C.A.; WU, R.; SELLES, F.; HARKER, K.N.; CLAYTON, G.W.; BITTMAN, S.; ZEBARTH, B.J.; LUPWAYI, N.Z. Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 127, p. 170-180, Feb. 2012.

HALVORSON, A.D; DEL GROSSO, S.J. Nitrogen placement and source effects on nitrous oxide emissions and yields of irrigated corn. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 2, p. 312-322, Feb. 2013.

HALVORSON, A.D.; DEL GROSSO, S.J.; ALLUVIONE, F. Tillage and inorganic nitrogen source effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n.2, p. 436-445, Mar. 2010.

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.

HANCOCK, J.M.; McNEILL, A.M.; McDONALD, G.K.; HOLLOWAY; R.E. Fate of fertiliser N applied to wheat on a coarse textured highly calcareous soil under simulated semi-arid conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 348, n. 1/2, p. 139-153, Nov. 2011.

HOWDEN, S.M.; REYENGA, P.J. Methane emissions from Australian livestock: implications of the Kyoto Protocol. **Australian Journal of Agricultural Research**. Melbourne, v. 50, n. 8, p. 1285-1291. 1999.

HU, H.; NING, T.; LI, Z.; HAN, H.; ZHANG, Z.; QIN, S.; ZHENG, Y. Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen–water use and yield of different varieties of maize in northern China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 142, p. 85-94, Feb. 2013.

HYATT, C.R.; VENTEREA, R.T.; ROSEN, C.J.; McNEARNEY, M.; WILSON, M.L.; DOLAN, M.S. Polymer-coated urea maintains potato yields and reduces nitrous oxide emissions in a Minnesota loamy sand. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n.2, p. 419-428, Mar. 2010.

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.

JAYNES, D.B. Nitrate loss in subsurface drainage and corn yield as affected by timing of sidedress nitrogen. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 130, p. 52-60, Dec. 2013.

KHAKBAZAN, M.; GRANT, C.A.; FINLAY, G.; WU, R.; MALHI, S.S.; SELLES, F.; CLAYTON, G.W.; LUPWAYI, N.Z.; SOON, Y.K.; HARKER, K.N. An economic study of controlled release urea and split applications of nitrogen as compared with non-coated urea under conventional and reduced tillage management. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 93, n. 3, p. 523-534, May 2013.

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.

KURTZ, T.; MELSTED, S.W.; BRAY, R.H. The importance of nitrogen and water in reducing competition between intercrops and corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p. 13-17, Jan. 1952.

LINQUIST, B.A.; LIU, L.; van KESSEL, C.; van GROENIGEN, K.J. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: meta-analysis of yield and nitrogen uptake. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 154, p. 246-254, Dec. 2013.

MAHARJAN, B.; VENTEREA, R.T. Nitrite intensity explains N management effects on N₂O emissions in maize. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 66, p. 229-238, Nov. 2013.

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

MALHI, S.S.; NYBORG, M. Recovery of ¹⁵N-labelled urea: influence of zero tillage, and time and method of application. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 28, n. 3, p. 263-269, June 1991.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage research**, Amsterdam, v. 60, n. 3-4, p. 101-122, July, 2001.

MALHI, S.S.; NYBORG, M.; SOLBERG, E.D.; DYCK, M.F.; PUURVEEN, D. Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, n. 3, p. 378-391, Dec. 2011.

MALHI, S.S.; SOON, Y.K.; GRANT, C.A.; LEMKE, R.; LUPWAYI, N. Influence of controlled-release urea on seed yield and N concentration, and N use efficiency of small grain crops grown on Dark Gray Luvisols. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 90, n. 2, p. 363-372, May 2010.

MARTÍNEZ-BLANCO, J.; LAZCANO, C.; CHRISTENSEN, T.H.; MUÑOZ, P.; RIERADEVALL, J.; MØLLER, J.; ANTÓN, A.; BOLDRIAN, A. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment: a review **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 33, n. 4, p. 721-732, Oct. 2013.

MASSEY, C.G.; SLATON, N.A.; NORMAN, R.J.; GBUR, E.E. Jr.; DELONG, R.E.; GOLDEN, B.R. Bermudagrass forage yield and ammonia volatilization as affected by nitrogen fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 2, p. 638-648, Mar. 2011.

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.

MOTA, E.P. da. **Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual: Longevidade e volatilização em ambiente controlado**. 2013. 104 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NASCIMENTO, C.A.C.do; VITTI, G.C.; FARIA, L.A.; LUZ, P.H.C.; MENDES, F.L. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, July 2013.

NASH, P.R.; NELSON, K.A.; MOTOVALLI, P.P. Corn yield response to polymer and non-coated urea placement and timings. **International Journal of Plant Production**, Gorgan, v. 7, n. 3, p. 373-392, Apr. 2013.

NOELLSCH, A.J.; MOTOVALLI, P.P.; NELSON, K.A.; KITCHEN, N.R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a Claypan landscape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 3, p. 607-614, May 2009.

MATHEWS, A.S.; NARINE, S. Poly[n-isopropyl acrylamide]-co-polyurethane copolymers for controlled release of urea. **Journal of Polymer Science – Part A**, New York, v. 48, n. 15, p. 3236-3243, Aug. 2010.

OTTOMAN, M.J.; TICKES, B.R.; HUSMAN, S.H.; Nitrogen-15 and bromide tracers of nitrogen fertilizer movement in irrigated wheat production. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, n. 5, p. 1500-1508, Sept. 2000.

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.

PROCTOR, C.; KOENING, R.; JOHNSTON, W. Potential for ammonia volatilization from urea in dryland Kentucky bluegrass seed production systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 41, n. 3, p. 320-331, Feb. 2010.

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.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; GASSER, M.O.; MACDONALD, J.D.; PELSTER, D.E.; BERTRAND, N. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, Nov. 2013.

RODRIGUES, M.A.; SANTOS, H.; RUIVO, S.; ARROBAS, M. Slow-release N fertilisers are not an alternative to urea for fertilisation of autumn-grown tall cabbage. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 32, n. 2, p. 137-143, Feb. 2010.

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

SAHRAWAT, K.L. Effects of temperature and moisture on urease activity in semi-arid tropical soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 78, n. 3, p. 401-408, Oct. 1984

SHAO, G.; LI, Z.; NING, T.; ZHENG, Y. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and grain yield of maize to controlled-release urea and irrigation after anthesis. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 176, n. 4, p. 595-602, Aug. 2013.

SUTER, H.; SULTANA, H.; TURNER, D.; DAVIES, R.; WALKER, C.; CHEN, D. Influence of urea fertiliser formulation, urease inhibitor and season on ammonia loss from ryegrass. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 95, n. 2, p. 175-185, Mar. 2013.

SYSWERDA, S.P.; BASSO, B.; HAMILTON, S.K.; TAUSIG, J.B.; ROBERTSON, G.P. Long-term nitrate loss along an agricultural intensity gradient in the Upper Midwest USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 149, p. 10-19, Mar. 2012.

TOMAR, J.S.; SOPER, R.J. Fate of tagged urea N in the field with different methods of N and organic matter placement. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, n. 6, p. 991-995, Nov. 1981.

YANG, Y.C.; ZHANG, M.; ZHENG, L.; CHENG, D.D.; LIU, M. GENG, Y.Q. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 2, p. 479-485, Mar. 2011.

YE, Y.; LIANG, X.; CHEN, Y.; LIU, J.; GU, J.; GUO, R.; LI, L. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 144, p. 212-224, Mar. 2013.

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.

ZHAO, B.; DONG, S.; ZHANG, J.; LIU, P. Effects of controlled-release fertiliser on nitrogen use efficiency in summer maize. **Plos One**, San Fransisco, v.8, n. 8, p. 1-8, Aug. 2013.

APÊNDICE

Vista geral da área implantada com B.Lanço em São Desidério no dia da colheita do consórcio

Vista geral da área implantada com B.Entrelinha em São Desidério no dia da colheita do consórcio

Vista geral da área implantada com B.+funda em São Desidério no dia da colheita do consórcio

Vista geral da área implantada com B.Lanço pós em São Desidério no dia da colheita do consórcio

Vista geral da área implantada com B.Linha pós em São Desidério no dia da colheita do consórcio

Vista geral da área de milho solteiro em São Desidério no dia da colheita do milho

Vista da parcela B.Lanço (esquerda) e B. entrelinha (direita), no dia da aplicação da subdose de herbicida em Piracicaba

Parcela B.+funda (esquerda) e Milho sem B. (direita), no dia da aplicação de herbicida em Piracicaba

Aplicação da subdose de herbicida em Piracicaba (esquerda), e contraste da B.Entrelinha (fundo) e B.Linha pós, próximo ao florescimento do milho em Piracicaba (direita)

B.Lanço (esquerda) e B.Entrelinha (direita), próximo ao florescimento do milho em Piracicaba

B.+funda (esquerda) e B.Linha pós (direita), próximo ao florescimento do milho em Piracicaba