

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO (^{15}N) EM
SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM GLIRICÍDIA NO
CERRADO**

TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA

TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA

**CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO (^{15}N) EM
SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM GLIRICÍDIA NO
CERRADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

Brasília/DF, Fevereiro de 2019



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO (^{15}N) EM
SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM GLIRICÍDIA NO
CERRADO**

TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

APROVADO POR:

**CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO, Professor Doutor / FAV - Universidade de Brasília/ email:
cicerocf@unb.br**

**ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO Pesquisadora Doutora / Embrapa Cerrados / email:
arminda.carvalho@embrapa.br**

**ROBELIO LEANDRO MARCHÃO, Pesquisador Doutor / Embrapa Cerrados / email:
robelio.marchão@embrapa.br**

BRASÍLIA/DF, Fevereiro de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

MOREIRA, Túlio Nascimento.

“CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO (^{15}N) EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM GLIRICÍDIA NO CERRADO”. Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2019. 58 páginas

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2019.

1. Sistema Agroflorestal 2. *Gliricidia sepium* 3. Eficiência de uso do nitrogênio

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOREIRA, T. N. Ciclagem e Eficiência de Uso de Nitrogênio (^{15}N) em Sistema Agrossilvicultural com Gliricídia no Cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2019, 58 páginas. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA

Título da Dissertação de Mestrado: Ciclagem de Nitrogênio (^{15}N) em Sistema Agrossilvicultural com Gliricídia no Cerrado.

Grau: Mestre **Ano:** 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA

CPF: 020.641.911-27

Rua Castro Moura Quadra 21 Casa 24

CEP: 72850-190, Luziânia, GO, Brasil.

RESUMO

Gliricídia (*Gliricídia sepium*) é uma leguminosa arbórea que tem sido amplamente utilizada na agropecuária por apresentar características de usos múltiplos. Entretanto, há pouca informação na literatura sobre o efeito da introdução dessa espécie em diferentes arranjos espaciais em sistemas agrossilviculturais na ciclagem de nitrogênio (N) em solo do Cerrado. No presente estudo, objetivou-se estudar o efeito do adensamento e da influência espacial da gliricídia sobre a ciclagem de ^{15}N em sistema agrossilvicultural com milho e forrageira *Panicum maximum* cv. Massai no Cerrado. O estudo foi realizado na Estação Experimental Água Limpa, em área de um hectare (ha), com delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram compostos por diferentes densidades de plantas de gliricídia: 667, 1000 e 1333 plantas de gliricídia ha^{-1} . Para determinar a eficiência de uso do nitrogênio, foram delimitadas duas micro-parcelas por parcela experimental, para aplicação do fertilizante nitrogenado marcado (^{15}N). Em cada parcela foi estabelecido um transecto perpendicular às fileiras das árvores com duas posições: 1) na linha de milho adjacente às árvores; e 2) na linha de milho do meio das parcelas, no centro da parcela. A eficiência de recuperação do fertilizante nitrogenado no sistema agrossilvicultural (Grãos + palha de milho + brotações *P. maximum*) variou de 39 % na densidade de 667 plantas de gliricídia ha^{-1} na posição adjacente à fileira de árvores a 89 % na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} na posição central da parcela. Contrariando diversos estudos sobre eficiência de uso de N pelo milho em monocultivo, no sistema integrado, a maior fonte de N para o milho foi o fertilizante mineral. De maneira geral, o efeito da gliricídia na absorção de N mineral pelo milho foi maior na posição central da parcela e na maior densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} . O N derivado do solo no sistema agrossilvicultural variou de 35,99 a 62,69 kg N ha^{-1} , não havendo diferenças ($P > 0,05$) entre as densidades e as posições em relação às árvores avaliadas. O conteúdo de N disponível no solo foi maior na densidade de 1333 plantas de gliricídia ha^{-1} na posição adjacente à árvore. Portanto, o sistema agrossilvicultural com densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} , podadas uma única vez antes do plantio do milho, foi altamente eficiente na recuperação do N mineral, representando uma excelente opção de sistema sustentável de produção para a região central do Brasil.

Palavras-chave: sistema agroflorestal, sistema integrado, eficiência de adubação.

ABSTRACT

Gliricidia (*Gliricidia sepium*) is an arboreal leguminous that has been widely used in agriculture since it has multiple uses characteristics. However, there is little information in the literature about the effect of introducing this species in different spatial arrangements in agrissilvicultural systems on nitrogen (N) cycling in Cerrado soils. This study aimed to study the effect of gliricidia density and spatial influence on ^{15}N cycling in an agrosilvicultural system with maize and forage *Panicum maximum* CV. Massai in the Cerrado. The experiment was carried out at the Experimental Station Água Limpa, in an area of one hectare (ha), with a randomized block experimental design with three replications. The treatments were comprised by different densities of gliricidia plants: 667, 1000 and 1333 gliricidia plants ha^{-1} . To determine the efficiency of the N use, two experimental plots were delimited for the application of the labeled N fertilizer (^{15}N). In each plot was fixed perpendicular to the rows of trees with two positions: 1) corn line adjacent to the trees; and 2) in the corn line from the middle of the plots. The efficiency of nitrogen fertilizer recovery in the agrissilvicultural system (Grains + corn straw + *P. maximum* shoots) ranged from 39% in the density of 667 plants of gliricidia ha^{-1} in the position adjacent to the row of trees to 89% in the density of 1000 plants of gliricidia ha^{-1} in the central position of the plot. Contrary to several studies on the efficiency of N use by maize in monoculture, in the integrated system, the largest source of N for maize was the mineral fertilizer. In general, the effect of gliricidia on the mineral N absorption by maize was higher in the central position of the plot and in the higher density of 1000 plants of gliricidia ha^{-1} . The N derived from the soil in the agrissilvicultural system ranged from 35.99 to 62.69 kg N ha^{-1} , with no differences ($P > 0.05$) between the densities and the positions in relation to the evaluated trees. The available-N content in the soil was higher in the density of 1333 plants of gliricidia ha^{-1} in the position adjacent to the tree. Therefore, the agrissilvicultural system with a density of 1000 plants of gliricidia ha^{-1} , pruned only once before the planting of maize, was highly efficient in the recovery of mineral N, representing an excellent option of sustainable production system to the central region of Brazil.

Key words: Agroforestry system, integrated system, fertilization efficiency.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
1.1. SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA.....	11
1.2. LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM SISTEMAS INTEGRADOS.....	14
1.3. SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO.....	18
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	22
2.1. HIPÓTESES.....	22
2.2. OBJETIVOS	23
<i>Objetivo geral.....</i>	<i>23</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>23</i>
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
3.1.1. <i>Histórico, delineamento e condução do experimento</i>	<i>25</i>
3.2. AMOSTRAGEM E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO E PLANTAS	28
3.3. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	30
3.3.1. <i>Determinação de nitrogênio total do solo</i>	<i>30</i>
3.3.2. <i>Análise do nitrogênio disponível do solo</i>	<i>30</i>
3.4. MICRO-PARCELAS COM SULFATO DE AMÔNIO ENRIQUECIDO COM ¹⁵ N ...	30
3.4.1. <i>Eficiência de uso do N mineral</i>	<i>31</i>
3.4.2. <i>N derivado do solo</i>	<i>31</i>
3.5. ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DOS COMPONENTES DO SISTEMA	31
3.5.1. <i>Produtividade de grãos de milho</i>	<i>32</i>
3.5.2. <i>Produtividade de grãos de milho</i>	<i>32</i>
3.5.2. <i>Produtividade de biomassa de parte aérea da forrageira</i>	<i>32</i>
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. ABSORÇÃO, EFICIÊNCIA DE RECUPERAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO E NITROGÊNIO DERIVADO DO SOLO ABSORVIDO PELO MILHO EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i>	33
5.2. NITROGÊNIO DERIVADO DO FERTILIZANTE MINERAL E DO SOLO NA BIOMASSA DA PARTE AÉREA DE <i>P. MAXIMUM</i> CV. MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i>	38
5.3. ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO DERIVADO DO FERTILIZANTE MINERAL, EFICIÊNCIA DE RECUPERAÇÃO DO N FERTILIZANTE E N DERIVADO DO SOLO NOS GRÃOS DE MILHO, PALHA E	

BROTAÇÕES DE <i>P. MAXIMUM</i> CV. MASSAI PELO SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i>	40
5.4 RETORNO AO SOLO DE NITROGÊNIO DERIVADO DO FERTILIZANTE MINERAL E NITROGÊNIO DERIVADO DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i>	43
5.5. NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO (NTS) E NITROGÊNIO DISPONÍVEL DO SOLO (NDIS) EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM DIFERENTES DENSIDADES DE <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i>	45
5.6. PRODUTIVIDADE DE MILHO E FORRAGEIRA MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL COM DIFERENTES DENSIDADES DE <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i>	47
6. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

INTRODUÇÃO

A introdução de leguminosas arbóreas nos sistemas agrícolas adaptadas às condições ambientais dos biomas brasileiros é uma realidade, tanto pela contribuição no fornecimento de nitrogênio (N) para o solo, como na melhoria do ambiente produtivo através do sombreamento e da cobertura morta do solo (Barreto et al., 2012). Nesse sentido, a *Gliricídia sepium* (Jacq) Kunth, Walpers, geralmente conhecida como gliricídia no Brasil, é uma leguminosa arbórea da família *Fabaceae*, de pequeno a médio porte, se destaca nas regiões tropicais por sua característica de uso múltiplo (Drumond & de Carvalho Filho, 1999, Makumba et al., 2009). A adoção de espécies florestais consorciadas a culturas graníferas e/ou forrageiras mostra-se de fundamental importância para a manutenção dos teores e da qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) (Marin et al., 2006; Beedy et al., 2010), e da fertilidade do solo (Beedy et al., 2010; Siqueira et al., 2014). O efeito de espécies florestais nos sistemas agrícolas ainda tem sido pouco estudado, principalmente o efeito de adensamento do componente arbóreo na produção de biomassa dos componentes do sistema (Karim & Savill, 1991; Siqueira et al., 2014). Possivelmente, as diferentes populações de árvores de gliricídia e a localização dos componentes do sistema em relação ao renque das árvores exercem efeito na eficiência de uso do N, na produção das culturas anuais e forrageiras e na fertilidade do solo.

O N é um nutriente exigido em grande quantidade pelas culturas anuais, principalmente pelo milho, e a sua dinâmica precisa ser avaliada em sistemas integrados de produção com leguminosas arbóreas no Cerrado. Como a MOS é a principal reserva de N dos solos agrícolas (Cantarella, 2007), a eficiência de uso dos adubos nitrogenados depende, entre outros fatores, dos sistemas de manejo do solo adotados (Figueiredo et al., 2005), da taxa de fertilização nitrogenada (Zhu et al., 2016; Poffenbarger et al., 2018), dos consórcios de culturas anuais e perenes (Coser et al., 2016a), das interações entre raízes das culturas consorciadas (Rowe et al., 2001) e conseqüentemente da ciclagem de nitrogênio no sistema (Makumba et al., 2009). De maneira geral, agroecossistemas que aumentem a produção de biomassa e a MOS apresentam maior eficiência de uso do N, como ocorre nos sistemas integrados de produção sem o componente arbóreo (Coser et al., 2016a) e com gliricídia (Haggar et al., 1993; Rowe et al., 2001), principalmente através da maior imobilização de N que seria lixiviado (Makumba et al., 2009). Nos sistemas integrados com gliricídia no Cerrado, entretanto, ainda

permanecem dúvidas sobre o papel do componente arbóreo e o seu arranjo espacial na melhoria da ciclagem e da eficiência de uso do N pelas espécies consorciadas.

Uma das formas de se avaliar a eficiência da adubação nitrogenada em sistemas integrados é por meio de técnicas isotópicas (Alves et al., 2005; Chalk et al., 2014). Com ela é possível medir a absorção e o destino de N pelos cultivos a partir de fontes diversas de fertilizantes, formas e épocas de aplicação dos adubos, sistemas de manejo do solo, transferência de N entre plantas consorciadas, entre outras variações que interferem na eficiência de adubação (Chalk et al., 2014).

Outro aspecto que ainda precisa ser estudado é a variabilidade espacial da eficiência de uso do N pelos componentes dos sistemas. Até que posição entre renques a árvore exerce influência na deposição de material orgânico, no sombreamento e no fornecimento de N oriundo da fixação biológica de N. Essas informações subsidiarão os técnicos e produtores na escolha das densidades de plantas de gliricídia que tragam benefícios agroambientais.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento das frações de N da MOS, a ciclagem, a eficiência de uso do ^{15}N mineral e a produtividade do milho e forrageira *Panicum maximum* cv. Massai cultivados entre renques de *Gliricídia sepium* em sistema agrossilvicultural no Cerrado.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA

A população mundial atingirá cerca de 9,1 bilhões em 2050. A fim de alimentar a população em expansão, a produção de alimentos, fibras e energia deverá aumentar em torno de 70% no mesmo período (FAO, 2017), gerando impactos significativos no clima e no meio ambiente, principalmente pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), se forem utilizados sistemas convencionais de produção (Dangal et al., 2017). A necessidade de adaptar os sistemas agrícolas especializados, atualmente praticados, à nova realidade ambiental, tem favorecido o desenvolvimento de novos sistemas de produção agropecuário, após décadas de predomínio de monocultivos intensivos, caracterizados por ausência de biodiversidade e elevada utilização de insumos (Balbino et al., 2011, Lemaire et al., 2014).

Os sistemas de produção agrícola que contemplem a biodiversidade e complexidade, gerando maior eficiência de uso dos recursos naturais, proteção ao solo, diversificação de produtos, e menor entrada de insumos externos são preferidos para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável (Lemaire et al., 2014). Neste sentido, os sistemas que promovam a fixação biológica do nitrogênio (FBN) e a maior eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados, são de grande interesse da agricultura moderna, devido aos elevados custos da produção agrícola e pecuária associados a estas práticas (Balbino et al., 2011).

Os sistemas integrados de produção agrícola e pecuário, com a adoção do componente arbóreo, estão sendo amplamente adotados no Brasil, com cerca de 11,5 milhões de ha de área já implantada (Rodrigues et al., 2017). Devido a uma grande variedade de termos utilizados para denominar e conceituar a prática de associar espécies florestais com culturas agrícolas e/ou forrageiras tem-se encontrado dificuldade de padronização dos termos na literatura. Carvalho et al. (2014) sugerem que sejam utilizadas as terminologias Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) para a literatura técnica e Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) para a literatura científica. Os autores também sugerem para indexação internacional o termo “*Integrated Crop-Livestock System*” (ICLS).

De acordo com Balbino et al. (2011), os SIPA podem ser classificados em quatro modalidades distintas: integração lavoura-pecuária (ILP) ou agropastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário; integração pecuária-floresta (IPF) ou silvipastoril, sistema que integra os componentes pecuário e florestal; integração lavoura-

floresta (ILF) ou silviagrícola, sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola; integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em consórcio, sucessão ou rotação, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou durante vários anos, e sistemas agroflorestais (SAF). No presente estudo, serão utilizados o termo agrossilvicultural propostos por Coser et al. (2018) para se referir ao sistema avaliado, pois neste estudo a forrageira *P. maximum* cv. Massai não foi pastejada por animais.

A integração dos componentes produtivos no sistema tem potencial para aumentar a produção de alimentos, fibras e energia, além do efeito de poupar áreas nativas para uso agrícola e pecuário. De acordo com Costa et al. (2018), os SIPA têm potencial de produzir grãos, carne e energia para 500 brasileiros durante sete anos em 70 ha, enquanto em sistemas convencionais seriam necessários 420 ha para atender a mesma demanda. Estes e outros autores também observaram que os sistemas de ILPF reduziram em 55% a emissão de GEE quando comparado aos sistemas convencionais, e ao ILP (Carvalho et al., 2017).

A importância dos sistemas integrados é abrangente, assim a pesquisa sobre esses sistemas tem apresentado crescente importância no Brasil (Carvalho et al., 2014). Os SIPA destacam-se pela capacidade de melhoria das propriedades físicas (Villanueva-López et al., 2014), químicas (Beedy et al., 2010) e biológicas (Coser et al., 2016b) do solo. Os sistemas integrados com espécies florestais reduzem a amplitude térmica do solo (Marin et al., 2006), aumentam o teor de C (Marin et al., 2006; Beedy et al., 2010), o acúmulo de N na MOS (Beedy et al., 2010), a ciclagem de nutrientes (Marin et al., 2006; Beedy et al., 2010), reduzem os riscos de erosão através da maior cobertura viva e morta do solo (Maclean et al., 1992), além de melhorar indicadores de fertilidade do solo (Beedy et al., 2010; Siqueira et al., 2014). Além disso, a FBN é importante para a nutrição das culturas não leguminosas, como as forrageiras tropicais e as culturas agrícolas anuais resultando em maiores produtividades sem o incremento do uso de fertilizantes nitrogenados minerais (Makumba et al., 2006a; Barreto et al., 2012).

Wolz & DeLucia (2018) em ampla revisão sobre os sistemas de cultivos integrados em aléias observaram que a *Gliricídia* (*Gliricídia sepium*) e a *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) são as espécies mais utilizadas nos sistemas integrados nas regiões tropicais. Entre as principais finalidades dos consórcios estão: facilitar a produção das culturas através da adubação verde, a produção de palhada para o plantio direto e o sombreamento de culturas

tolerantes. A adoção da gliricídia como espécie florestal nos SIPA gera benefícios importantes para a manutenção da produtividade das culturas e da qualidade do solo (Marin et al., 2006; Beedy et al., 2010). Além disso, os benefícios são estendidos ao maior aproveitamento dos fertilizantes através da intensa ciclagem de nutrientes (Makumba et al., 2009).

Nos sistemas integrados com espécies florestais, a eficiência de uso do nitrogênio (EUN) aplicado ao milho pode ser maior em comparação ao monocultivo, já que o N das camadas mais profundas do solo, e em risco de ser lixiviado, pode ser absorvido pelas raízes das árvores antes que as raízes das culturas anuais alcancem esta profundidade (Rowe et al., 2001; Makumba et al., 2009), promovendo o aumento da reciclagem de N nos sistemas integrados (Siqueira et al., 2014).

Portanto, a adoção de sistemas integrados com leguminosas arbóreas tem potencial de ampliar a eficiência dos fatores de produção e os serviços ambientais das áreas agrícolas, sendo ferramentas eficientes de uso sustentável dos solos nas regiões tropicais.

1.2. LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM SISTEMAS INTEGRADOS

A integração das leguminosas arbóreas nos sistemas agrícolas oferece uma alternativa de incremento da disponibilidade de N para as culturas anuais, reduzindo assim a necessidade de adubação com N mineral. A FBN em leguminosas arbóreas tem sido amplamente estudada nas mais variadas condições edafoclimáticas e de manejo (Martins et al., 2015; Apolinário et al., 2016a), e apresentam potencial para incrementar a fertilidade do solo (Beedy et al., 2010), aumentar a eficiência de uso da água e estabilizar a produção das culturas (Chirwa et al., 2007; Makumba et al., 2009).

A deposição de resíduos vegetais no solo é a principal via de entrada de nutrientes para a ciclagem de nutrientes nos agroecossistemas e a densidade de espécies arbóreas interfere na quantidade e na qualidade da entrada de biomassa. Nesse sentido, a gliricídia é uma planta que apresenta potencial para fornecimento de N em agroecossistemas (Karim & Savill, 1991). Esta espécie possui alta concentração de N na folha, alta ciclagem de nutrientes em profundidade, e elevada taxa de FBN (Martins et al., 2015; Apolinário et al., 2016a). Siqueira et al. (2014) observaram que o aumento da densidade de plantas de gliricídia diminuiu o conteúdo de N na liteira, mas aumenta os níveis de fósforo e magnésio no solo, contribuindo para a ciclagem de nutrientes. Makumba et al. (2006a) demonstraram a viabilidade de se trabalhar com povoamentos mais densos de gliricídia e milho, com 7.407 plantas de gliricídia ha⁻¹ e 44.400 plantas de milho ha⁻¹. Karim & Savill (1991) avaliaram a influência do espaçamento no desempenho inicial e produção de biomassa de *Gliricídia sepium* em sistema de cultivo em aleias no sul de Serra Leoa. Estes autores observaram que a produção total de biomassa foi maior nos menores espaçamentos entre os renques, enquanto a produção por planta diminuiu com menor espaçamento na linha. Siqueira et al. (2014) observaram que o aumento da densidade de plantio de gliricídia diminuiu o teor de N na serrapilheira adicionada ao solo, mas tem potencial de adicionar maiores quantidades de N nos agroecossistemas. O peso fresco e seco de folhas e caules, bem como a produção de N foliar por área, foram fortemente influenciados pelo espaçamento entre fileiras de plantas do que pelo espaçamento entre plantas (Karim & Savill, 1991).

O componente arbóreo pode interferir no desempenho das espécies cultivadas entre os renques de árvores e essa interferência se dá tanto por meio do sombreamento quanto pela ciclagem de nutrientes. Marin et al. (2006) observaram maior produção de grãos e palhada de milho nas posições mais próximas das fileiras das árvores e diminuição gradativa com o

aumento da distância das árvores, demonstrando potencial de melhoria da fertilidade do solo nas posições sob maior influência das raízes de gliricídia. Schroth & Zech (1995) observaram que o enraizamento superficial de gliricídia em sistemas integrados é mínimo, enquanto contribuíram com apenas 37% das raízes na camada 0-0,5m. Hagggar & Beer (1993) demonstraram que o milho adjacente às árvores de gliricídia tem a mesma biomassa de parte aérea, mas tem um teor de N na folha 56% maior do que o milho que cresceu no meio da parcela. Resultado contrário àquele obtido por Akinnifesi et al. (1996), que observaram maior rendimento de grãos e incorporação de N no milho cultivado no meio das aléias, em comparação ao milho cultivado adjacente à leguminosa arbórea. No estudo de Hagggar & Beer (1993), a variabilidade espacial na mineralização e na liberação de N no solo não explicou as diferenças no crescimento ou na absorção de N do milho em relação à distância das árvores. Makumba et al. (2009) demonstraram que a gliricídia possui capacidade de alta densidade de enraizamento na profundidade de 1,2 m, com redução abaixo desta profundidade. A baixa densidade de raízes de gliricídia na camada superficial (Schroth & Zech, 1995; Makumba et al., 2009) aumenta a capacidade de a gliricídia interceptar N além da profundidade de enraizamento do milho e aumenta a ciclagem de N para o uso do milho. Possivelmente, o efeito mais limitante ao crescimento do milho cultivado adjacente às árvores de gliricídia é o sombreamento, enquanto a competição por nutrientes do componente arbóreo no sistema integrado pode ser relativamente baixo.

A gliricídia é uma planta amplamente utilizada como adubo verde nos sistemas agrícolas tropicais. No semi-árido brasileiro, a maior parte do N na gliricídia é incorporada via FBN (> 50%) (Martins et al., 2015; Apolinário et al., 2016a). Apolinário et al. (2016a) observaram que a gliricídia produziu $10.415 \text{ kg ha}^{-1}$ de biomassa, com concentração de N na liteira de $21,5 \text{ g kg}^{-1}$, e a ciclagem de N através da liteira em dois anos consecutivos foi de 105 e 109 kg N ha^{-1} , respectivamente. No mesmo estudo os autores também observaram que o N fixado biologicamente foi cerca de 110 kg ha^{-1} , no período de fevereiro de 2012 a setembro de 2013. Chirwa et al. (2003) demonstraram que a quantidade de adubo verde de gliricídia aplicada ao milho ($3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi suficiente para fornecer o N recomendado de 96 kg N ha^{-1} para o milho na área de estudo, e necessitaram de um período de 3 a 4 anos para o estabelecimento e produção de adubo verde da gliricídia. Adições suplementares de N mineral são necessárias para melhorar o rendimento do milho em solos com baixo conteúdo de N e com altas taxas de lixiviação de nutrientes.

A presença da leguminosa arbórea nos sistemas integrados favorece a ciclagem e o fornecimento de N para as culturas agrícolas consorciadas. Ikerra et al. (1999) observaram que o consórcio de milho com gliricídia e a adição de podas de gliricídia ao milho aumentaram significativamente o teor de N inorgânico no solo, principalmente se for precedido por um ano de longa seca. Maclean et al. (1992) demonstraram que os rendimentos de arroz e milho em sistema de sequeiro foram significativamente aumentados na incorporação de biomassa de gliricídia. Avaliando a dinâmica do N em sistemas agroflorestais e monocultivo de milho, Hagggar et al. (1993) observaram que a biomassa de plantas de milho, a liberação de N da cobertura morta, a decomposição dos resíduos e a mineralização de N foram maiores no sistema de cultivo em aléias do que no monocultivo de milho, em 2,2, 2,8, 5,0, e 2,1 vezes, respectivamente. Apolinário et al. (2016b) observaram que a gliricídia incorporou 47 kg de N ha⁻¹ no sistema silvipastoril anualmente através da decomposição das folhas da liteira, nas condições do semi-árido brasileiro. Partey et al. (2017) observaram que a decomposição do N da biomassa de *G. sepium* foi curta em relação as demais biomassas de leguminosas arbóreas avaliadas, com cerca de sete dias de meia-vida. Hagggar et al. (1993) observaram que a transferência dos nutrientes contidos na biomassa de gliricídia para o milho pode ser restringida pela baixa incorporação da cobertura morta na biomassa microbiana. A maior produtividade observada no cultivo em aléias com gliricídia em comparação ao monocultivo de milho se deve em grande parte a acumulação em longo prazo do N orgânico mineralizável na MOS (Hagggar et al., 1993), principalmente na matéria orgânica particulada (MOP), reduzindo a relação C / N desta fração e aumentando potencialmente o N disponível para as culturas (Beedy et al., 2010).

A capacidade de suprimento de N por mais tempo no sistema de aléias do que o monocultivo pode estar fortemente relacionado aos altos aportes de biomassa das árvores no sistema consorciado (Hagggar et al., 1993). Partey et al. (2017) observaram que a decomposição, as taxas de liberação de nutrientes, o N mineral, a biomassa microbiana do solo e as atividades da β glucosidade foram dependentes da qualidade da serrapilheira. Os teores de fósforo, lignina, a relação lignina / N e (lignina + polifenol) / N foram as características que mais influenciaram a qualidade da biomassa de folhas com base nos resultados observados por Partey et al. (2017). Ikerra et al. (1999) observaram maiores quantidades de N inorgânico no solo no consórcio com gliricídia em relação ao monocultivo de milho, indicando ciclagem de nutrientes em profundidade. Portanto, a captura de recursos

subterrâneos pela gliricídia e a posterior deposição no solo através das podas, contribuem para o aumento da fertilidade do solo e nutrição das culturas. Makumba et al. (2006b) observaram que aplicações divididas de biomassa foliar de gliricídia prolongaram o conteúdo de N mineral no solo, mas isso não aumentou a eficiência de uso dos nutrientes.

Outro fator importante no manejo do sistema integrado é a condução das podas no componente arbóreo, uma vez que o excesso de sombreamento pode reduzir a produtividade das plantas associadas (Chirwa et al., 2007; Makumba et al., 2006a). Barreto et al. (2012) observaram que a redução da frequência de poda de gliricídia resultou em maior produtividade de biomassa de gliricídia, baixa concorrência com plantas de milho, aumento do teor de CO do solo e a melhoria da estrutura do solo. Makumba et al. (2006a) demonstraram a necessidade de realizar três podas ao ano da gliricídia, para viabilizar o sistema com altas densidades de plantas de gliricídia e milho. Enquanto Barreto et al. (2012) mostraram que quatro podas por ano resultaram em razoável produção de biomassa de gliricídia, baixa competição com as plantas de milho, e melhoria nos teores de C e na estrutura do solo. Chirwa et al. (2007) demonstraram que a presença da gliricídia, podada antes e durante a época de cultivo, não provoca competição indevida por água com as culturas associadas nas condições climáticas no sul do Malawi. A competição exercida pela árvore implica num sistema de gerenciamento de podas mais sincronizado com o padrão de crescimento da cultura, afim de se obter o maior rendimento de grãos de milho (Akkinifesi et al., 1996; Barreto et al., 2012).

A contribuição da leguminosa arbórea no fornecimento de N para as culturas pode ser limitada, sendo necessária adição de N mineral quando a leguminosa não satisfizer a demanda de N pela cultura. Garrido et al. (2017) observaram que somente a incorporação ou a deposição da biomassa de gliricídia no solo não atende a necessidade do milho, e no médio e longo prazo, podem reduzir a fertilidade do solo. Marin et al. (2006) e Marin et al. (2007) observaram que as áreas fertilizadas com biomassa de gliricídia e esterco associados elevaram a produção de biomassa de milho. Akinifesi et al. (1996) verificaram que a aplicação de biomassa de podas de *Leucaena* aumentou o rendimento do milho em 82% e o conteúdo de N no milho em 50%, em comparação ao milho sem adição de restos de poda. Maclean et al. (1992) observaram que os rendimentos do milho sequeiro foram aumentados significativamente pela incorporação de biomassa de gliricídia. Zaharah et al. (1999) demonstraram que a adição combinada de biomassa foliar e raízes de gliricídia cultivada em

vasos em sistema de aléias resultaram em maior absorção de N, concentração de N na planta e maior produção de matéria seca do milho. Garrido et al. (2017) observaram que os tratamentos que incorporaram esterco, isolados ou em combinação com gliricídia distribuída em cobertura, são capazes de satisfazer a demanda de N pelo milho, contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo. As raízes de gliricídia são decompostas lentamente, não sendo uma fonte de nutrientes em curto prazo na cultura do milho (Zaharah et al., 1999). De maneira geral, a gliricídia em sistemas integrados tem potencial de incrementar a produtividade dos componentes dos agroecossistemas, através do incremento da entrada de N nos agroecossistemas via FBN, melhorando a nutrição das culturas cultivadas entre os renques.

A biomassa de gliricídia é decomposta rapidamente e fornece nutrientes à cultura do milho, principalmente quando são mineralizados no momento de maior demanda pela cultura. Makumba et al. (2006b) observaram num experimento de campo com baixa precipitação, uma única aplicação de biomassa de gliricídia antes do plantio é recomendada, mas essa recomendação não deve ser aplicável sob condições de alta pluviosidade. Zaharah et al. (1999) demonstraram que as podas de folhas da gliricídia, quando aplicada aos 21 e 45 dias após o plantio, contribuem positivamente na nutrição do milho. A resposta do milho ao N mineral aplicado será baixa quando o estoque de N do solo for construído através da adição de biomassa de gliricídia rica em N (Akinnifesi et al., 2006). Apesar disso, a suplementação de N mineral pode ser necessária para melhorar a nutrição do milho, mesmo com o suprimento adicional de N pelas podas da gliricídia.

1.3. SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO

As diferenças na implantação e manejo dos sistemas de cultivos com leguminosas arbóreas afetam a disponibilidade de N e a EUN (Haggar et al., 1993; Rowe et al., 2001), e também podem afetar os rendimentos das culturas associadas (Rowe et al., 2005; Akinnifesi et al., 2007). De maneira geral, o favorecimento da FBN pelas leguminosas arbóreas representam uma entrada substancial de N nos sistemas integrados, o que podem gerar benefícios para as culturas associadas (Jalonen et al., 2009) e também para a melhoria da fertilidade do solo (Beedy et al., 2010; Siqueira et al., 2014).

O sistema de manejo do solo é um fator importante na EUN, sendo as práticas conservacionistas de manejo as mais eficientes na utilização dos recursos, principalmente do N fertilizante. Avaliando diferentes sistemas de manejo do solo e a eficiência de recuperação do N fertilizante pelo milho, Figueiredo et al. (2005) observaram que o nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM) nos grãos foi superior no tratamento sob cultivo mínimo com escarificador (31 kg ha^{-1}) em relação aos tratamentos com arado de disco no pré-plantio (25 kg ha^{-1}) e no preparo com arado de aivecas pós-colheita (24 kg ha^{-1}). Da mesma forma, Couto-Vázquez et al. (2016) observaram que mais ^{15}N -fertilizante foi recuperado no solo sob cultivo mínimo ($25 \pm 4 \%$) do que no perfil do solo sob cultivo convencional com arados ($19 \pm 6 \%$), enquanto que o N exportado com as culturas não foi afetado pelo sistema de cultivo. O cultivo mínimo reduziu em 10% as perdas de N e mais N fertilizante foi retido no perfil do solo (Couto-Vázquez et al., 2016). Esses resultados comprovam o efeito positivo da manutenção da cobertura do solo, para a sustentabilidade da agricultura, através da melhoria da eficiência de uso do N.

As plantas leguminosas são amplamente utilizadas como fonte de N para o solo, e a transferência de N de espécies leguminosas para não-leguminosas ainda é pouco explorado em sistemas agrícolas integrados. A transferência de N é maior de espécies leguminosas para outras não-leguminosas do que o contrário (Chalk et al., 2014). Ainda de acordo com estes autores, os fatores que conduzem à transferência de N incluem, entre outros, a proximidade das espécies (ou seja, a proximidade dos sistemas radiculares das espécies), poda de leguminosas, desfolha ou senescência e a duração do período de transferência. Jalonen et al. (2009) demonstraram que a transferência de N atmosférico fixado na gliricídia foi de 3,7-14% de N no capim *Dichantium aristatum*, através da exsudação radicular e micorrizas associadas, confirmando a transferência de N de espécies leguminosas para espécies não-leguminosas. Portanto, a transferência de N da gliricídia para a gramínea forrageira consorciada no sistema agrossilvicultural tem potencial de aumentar a produção de biomassa de forrageira, reduzindo a demanda de N fertilizante.

As distribuições de raízes de árvores e culturas consorciadas podem afetar a captura de recursos subterrâneos, como o N mineral e água. Isso ocorre porque as árvores possuem raízes mais profundas que podem capturar o N lixiviado das camadas mais superficiais e, assim, melhorar a eficiência desse nutriente (Makumba et al., 2009). Rowe et al. (2001) observaram que a recuperação de ^{15}N pela gliricídia diminuiu significativamente com o aumento da

profundidade do solo, e ocorreu uma fase de retardo na absorção após a poda. No mesmo estudo, os autores também observaram que as plantas de milho recuperaram 51,4 e 50,6% do ^{15}N , nas linhas mais próximas às árvores e ao centro do renque, respectivamente. Akinnifesi et al. (1996) observaram que a eficiência de uso do N (EUN) do milho variou de 8 a 16% durante a safra principal, e de 0,8 a 2,3% do N residual na safra secundária sem adição de N fertilizante. Rowe et al. (2005) observaram que a eficiência de recuperação do N fertilizante (ERNF) no milho não será aumentada pela consorciação se as árvores afetarem adversamente o crescimento da cultura através da competição por recursos. Akinnifesi et al. (1996) também observaram que a *Leucaena* recuperou 7,3% dos 30 kg N ha⁻¹ aplicados, não havendo forte competição da árvore pelo N fertilizante aplicado ao milho no consórcio. Quando o objetivo for aumentar a eficiência de uso dos nutrientes, a poda menos frequente de árvores pode ser preferível, mas isto também causaria um aumento do risco de competição entre plantas (Schroth & Zech, 1995).

Da mesma forma, a inclusão das forrageiras no cultivo do milho pode beneficiar a produtividade das culturas e a EUN. Coser et al. (2016a) demonstraram que a inclusão de espécies forrageiras (*P. maximum* e *B. humidicola*) em sistemas consorciados com milho não alterou a eficiência de recuperação do N aplicado pelo milho, absorvendo 3,71 e 2,08% do adubo N aplicado como sulfato de amônio. Os autores também observaram que o solo foi a principal fonte de N tanto para o milho quanto para a forrageira, e o consórcio de milho e *P. maximum* produziu 1,5 t ha⁻¹ a mais de grãos de milho em comparação ao monocultivo. Sierra & Nygren (2006) demonstram que as leguminosas fixadoras de N atmosférico podem fazer contribuições importantes para a nutrição de N de não-leguminosas associadas. Jalonen et al. (2009) também demonstraram que a introdução de leguminosas arbóreas representam uma entrada substancial de N através da fixação biológica, o que beneficia as culturas forrageiras associadas através da exsudação radicular e redes miceliais comuns.

A contribuição da gliricídia como adubo verde na nutrição do milho e/ou forrageira ainda é pouco estudada. Diouf et al. (2017) observaram que o N fixado pela gliricídia foi influenciado pela inoculação de microrganismos simbiotes, e a recuperação do N pelo milho representou 17 e 26% de N aplicado como material orgânico de gliricídia durante dois anos, respectivamente. Chintu & Zaharah (2003) avaliaram a absorção de N pelo milho da biomassa marcada com ^{15}N de *Paraserianthes falcataria* cultivada sob condições controladas, e observaram que a contribuição para a produção do milho foi de 40-57% da biomassa abaixo

do solo e 10-18% da biomassa acima do solo. Primo et al. (2014) avaliaram as recuperações de N após a fertilização com esterco e podas de gliricídia no cultivo de milho em casa de vegetação, e observaram que o milho recuperou 27 e 26% do N aplicado 50 dias após o plantio, respectivamente. Akinnifesi et al. (1996) observaram que a aplicação das podas melhorou significativamente a recuperação de ^{15}N fertilizante pelo milho na safra principal e secundária e aumentou a EUN em 36%, indicando o efeito positivo das podas de leucena como fonte de N e como promotor da EUN.

A taxa de fertilização de N é um dos fatores que influenciam a eficiência de uso do N nos sistemas agrícolas. Zhu et al. (2016) observaram que as altas taxas de fertilização N aumentaram tanto a exsudação radicular quanto a abundância de bactérias do solo, o que pode explicar o declínio na eficiência de uso e a perda de N do sistema nas maiores taxas de N. A fertilização com N mineral modifica a composição e a abundância de exsudados radiculares e subsequentemente afetam as comunidades microbianas da rizosfera (Zhu et al., 2016). Poffenbarger et al. (2018) observaram que a eficiência de recuperação do N fertilizante (ERNF) do milho foi em média de 44% e 14% do N aplicado no Centro e no Sul do estado de Iowa (EUA), respectivamente (88 kg N ha^{-1} e 37 kg N ha^{-1}).

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1. HIPÓTESES

A produção do milho e da forrageira são reduzidos com o aumento da densidade de plantas de gliricídia em sistema integrado de produção.

A eficiência de uso do adubo nitrogenado pelo milho é influenciada pela densidade de plantas de gliricídia em sistemas integrados.

A eficiência de uso de N pelo milho consorciado com a forrageira varia em função da proximidade da gliricídia.

É possível obter uma população de plantas de gliricídia que proporcione alta eficiência de uso do N mineral sem afetar a produtividade do milho e da forrageira.

2.2. OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar a ciclagem de N do solo, a produtividade e a eficiência de recuperação do N fertilizante pelo milho consorciado, em sistema agrossilvicultural sob diferentes populações de plantas de gliricídia.

Objetivos específicos

Determinar a eficiência de uso do N mineral pelo milho consorciado com capim Massai sob influência de diferentes densidades de plantas de gliricídia.

Avaliar as relações entre frações do N da MOS, componentes de produção do milho e da forrageira, e eficiência de adubação nitrogenada no milho consorciado em sistema agrossilvicultural.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada na área experimental do Centro de Manejo de Ovinos (CMO) na Estação Experimental Fazenda Água Limpa (FAL), da Universidade de Brasília, localizada em Vargem Bonita, Brasília, DF (15° 56' 40'' S e 47° 55' 43'' W e altitude de 1.090 m).

O experimento vem sendo conduzido desde 2012, em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico de acordo com o Sistema brasileiro de classificação de solos (Embrapa, 2013), cujas características químicas antes da implantação do experimento são apresentadas na Tabela 1. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é Aw típico tropical de savana com estações de verão e inverno bem definidas: o verão é caracterizado por dias quentes e chuvosos e o inverno dias frios e secos, e possui precipitação média anual em 1224 mm, porém esta precipitação se concentrada entre os meses de Novembro e Abril. A precipitação pluviométrica e a temperatura média do ar na área experimental no período de 2012 a 2017 são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Propriedades químicas do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) antes da implantação do experimento.

Tipo de solo	pH (H ₂ O)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P-Mehlich	K ⁺	SB	V%
		cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³			
LVd	5,2	0,09	2,56	0,97	1,35	19,00	3,58	42,70

LVd, Latossolo Vermelho distrófico; SB, Soma de Bases, V%, Saturação de Bases.

Tabela 2. Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar (2012 - 2017).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Precipitação pluviométrica (mm)													
2012	243,4	196,4	131,8	76,4	59,4	16,2	1,0	0,0	26,4	74,4	374,4	136	1335,8
2013	368,8	128,2	196,2	132,8	36,2	3,2	0,0	0,0	27,2	160,8	207,2	297,4	1558
2014	101,6	131,4	407,4	206,4	12,6	4,6	1,4	0,0	11,6	69,4	437,8	189,6	1573,8
2015	112,2	174,6	300,2	129,2	23,8	0,0	1,0	0,0	24,5	64,5	140,1	148,5	1118,6
2016	263,9	144,2	231,6	9,4	30,2	0,0	0,0	38,6	23,8	84,4	310,8	131,0	1267,9
2017	128,0	177,2	172,8	13,6	30,6	1,6	0,0	0,0	0,0	47,2	190,4	169,4	761,4
Média	203,0	158,7	240,0	94,6	32,1	4,3	0,6	6,4	18,9	83,5	276,8	180,5	1269,3
Temperatura média do ar (°C)													
2012	20,3	20,7	21,1	21,2	18,4	18,7	17,6	18,6	21,5	22,2	21,3	21,7	20,3
2013	21,1	21,8	21,7	20,0	18,9	18,6	18,0	18,9	21,2	21,1	21,2	21,2	20,3
2014	21,1	20,9	20,7	20,8	18,8	17,6	17,1	18,8	22,0	21,9	21,4	20,8	20,2
2015	22,0	21,2	20,4	21,2	18,8	17,5	18,0	19,1	22,2	23,6	22,9	22,5	20,8
2016	21,6	22,2	21,7	21,2	19,8	18,2	18,4	19,6	22,1	22,3	21,4	21,5	21,4
2017	21,6	21,0	21,5	21,5	19,6	18,2	16,3	19,2	19,9	22,7	21,3	21,2	20,3
Média	21,3	21,3	21,2	21,0	19,1	18,1	17,6	19,1	21,5	22,3	21,6	21,5	20,6

Dados: Estação climatológica automática da FAL-UnB.

3.1.1. Histórico, delineamento e condução do experimento

Em área de um hectare que se encontrava em processo de degradação da pastagem, foi implantado o consórcio de milho (*Zea mays*) com a forrageira *Panicum maximum* cv. Massai no ano de 2012. No final de 2012 foram aplicados 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 100 %) para elevar a saturação por bases a 50 %, e no mesmo período foi realizada a adubação corretiva com 200 kg de P₂O₅ ha⁻¹, na forma de superfosfato simples, incorporados com grade niveladora. Após a correção da acidez e fertilidade do solo, foram plantadas as culturas do milho (cultivar híbrida AG 1051) e semeadura única de forrageiras a lanço (10 kg ha⁻¹ de sementes) (*Panicum máximo* cv. Massai), consorciado ao milho, em janeiro de 2013. O espaçamento do milho de 0,9 m foi adotado para o melhor estabelecimento da forrageira Massai consorciada.

O histórico dos manejos culturais, da adubação e o detalhamento das operações de manejo da área são apresentados na Tabela 3. Os diferentes anos de condução do experimento são identificados como T0, T1, T2, T3 e T4, que correspondem aos seguintes momentos: pastagem degradada durante o período de 2006 a 2012 (T0); implantação do ILP com milho (*Zea mays*) e forrageira (*Panicum máximo* cv. Massai) (T1) no ano agrícola 2012/2013; e

efeito da implantação do consórcio com gliricídia (*G. sepium*) (T2) no ano agrícola 2014/2015; segundo ano de integração dos componentes (T3) na safra 2015/2016; e terceiro ano de integração dos componentes (T4) no ano agrícola 2016/2017. A área experimental pode ser vista na Figura 1, destacando os três blocos experimentais.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Os seguintes tratamentos foram estudados: 1) 667 plantas de gliricídia ha⁻¹ 2) 1.000 plantas de gliricídia ha⁻¹ e 3) 1.333 plantas de gliricídia ha⁻¹. O espaçamento entre linhas de gliricídia utilizado foi de 5 m. O espaçamento entre plantas foi de 3,0 m (667 plantas ha⁻¹), 2,0 m (1000 plantas ha⁻¹) e 1,5 m (1.333 plantas ha⁻¹). As populações de plantas planejadas também são as finais em cada parcela, em que foi realizado o replantio de estacas que foram necessárias. A disposição das linhas de gliricídia em relação ao Norte pode ser observada na Figura 1, sendo disposta neste sentido para melhor distribuição do experimento na área experimental. O sombreamento proporcionado pela gliricídia seria menor se a disposição da parcela experimental estivesse paralelamente disposta no sentido Leste-Oeste. Neste estudo, não foi avaliado o efeito de interceptação da radiação solar pela gliricídia, podendo ser realizada em avaliações posteriores.

A parcela experimental foi implantada com 5 m entre renques de gliricídia, 20 m de comprimento de renque e cinco linhas de milho espaçadas 0,9 m entre si (Figura 2). A biomassa de gliricídia produzida em cada parcela experimental foi triturada e distribuída uniformemente na unidade experimental em dezembro de 2016.

Tabela 3. Histórico de manejo da área experimental por ano agrícola

Safra 2012/2013 (T0)
<ul style="list-style-type: none"> - Preparo do solo e calagem: aração seguida de grade niveladora e aplicação de 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 100%) - Adubação corretiva: 87 kg ha⁻¹ P₂O₅ na forma de superfosfato simples - Semeadura do milho: janeiro de 2013 com o milho híbrido AG1051 - Semeadura das forrageiras: <i>P. maximum</i> cv. Massai numa densidade de 10 kg ha⁻¹ de sementes viáveis - Adubação de plantio: 20 kg N ha⁻¹ + 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 84 kg K₂O ha⁻¹ - Adubação de cobertura: 50 kg N ha⁻¹ + 40 kg K₂O ha⁻¹ (fevereiro de 2013) - Colheita do milho: julho de 2013 - Entrada dos animais bovinos e ovinos após a colheita do milho para consumir a forragem.
Safra 2013/2014 (T1)
<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação de 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 100%) - Semeadura do milho: dezembro de 2013 com o milho híbrido LG 6030 - Adubação de plantio: 30 kg N ha⁻¹ + 120 kg ha⁻¹ P₂O₅ + 64 kg ha⁻¹ K₂O - Adubação de cobertura: 65 kg N ha⁻¹ (janeiro de 2014) e 65 kg N ha⁻¹ + 65 kg K₂O ha⁻¹ (fevereiro de 2014) - Aplicação de inseticida Lufenuron (2 L ha⁻¹) e Metamidofós (1 L ha⁻¹) (janeiro de 2014) - Colheita do milho: julho de 2014
Safra 2014/2015 (T2)
<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação de 0,6 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 100%). - Semeadura do milho: dezembro de 2014, com o milho híbrido LG 6030 - Adubação de plantio: 20 kg N ha⁻¹ + 150 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂O ha⁻¹ - Adubação de cobertura: 80 kg N ha⁻¹ (janeiro de 2015) e 60 kg N ha⁻¹ + 60 kg K₂O ha⁻¹ (fevereiro de 2015) - Plantio da gliricídia: fevereiro de 2015. A adubação da cova constou de 50 g de superfosfato simples, 25 g de KCl e 10 g de FTE BR12. - Colheita do milho: junho de 2015
Safra 2015/2016 (T3)
<ul style="list-style-type: none"> - Adubação da gliricídia: 50 g de superfosfato simples, 25 g de KCl e 10 g de FTE BR12 na projeção da copa - Aplicação de herbicida Paraquate (200 g L⁻¹) (1,5 L ha⁻¹), em dezembro de 2015 - Semeadura do milho: dezembro de 2015, com o milho híbrido LG 6030 - Adubação de plantio: 30 kg N ha⁻¹ + 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ + 50 kg ha⁻¹ K₂O + 66 kg ha⁻¹ FTE BR12 - Adubação de cobertura: 90 kg N ha⁻¹ + 30 K₂O ha⁻¹ (janeiro de 2016) e 60 kg N ha⁻¹ + 60 kg K₂O ha⁻¹ fevereiro, 2014) - Colheita do milho: maio de 2016
Safra 2016/2017 (T4)
<ul style="list-style-type: none"> - Coleta de solo para recomendação de adubação, em novembro de 2016 - Poda drástica da gliricídia, em dezembro de 2016 - Corte da forrageira com Triton na área experimental, em dezembro de 2016 - Aplicação de herbicida Glifosato (480 g L⁻¹) subdose na forrageira (2 L ha⁻¹), em janeiro de 2017 - Adubação de plantio: 350 kg ha⁻¹ da formulação NPK 4-30-16 (14 kg N, 105 kg P₂O₅, 56 kg K₂O) - Semeadura do milho: janeiro de 2017 com o milho híbrido LG 6030, aproximadamente 5,4 sementes por metro linear - Adubação de cobertura: 100 kg N ha⁻¹ e 60 kg K₂O ha⁻¹ - Colheita do milho: julho de 2017



Figura 1. Localização da área experimental.

3.2. AMOSTRAGEM E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO E PLANTAS

Amostras de solos foram coletadas em março de 2017, na floração do milho, nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m. O solo foi amostrado espacialmente de acordo com a distância em relação à linha de cultivo da gliricídia. Cada amostra foi composta de seis sub-amostras (duas na linha e quatro na entrelinha do milho). Cada amostra foi coletada espacialmente na primeira linha de plantio adjacente à leguminosa arbórea (A), e na linha de plantio entre os renques de gliricídia (B), como apresentado na Figura 2. As amostras de solo foram coletadas à 0,45 m e 2,50 m de distância da linha de gliricídia, representados por A e B na figura respectivamente. As amostras para determinação das frações da MOS foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm.

As variáveis de produção do sistema agrossilvicultural com gliricídia estudadas foram: 1) produtividade de grãos, 2) palha de milho e 3) biomassa aérea da forrageira *P. maximum* cv. Massai. A amostragem dos componentes (milho e forrageira) foi realizada em duas posições por parcela experimental: 1) na posição adjacente à gliricídia (0,45 m de distância do renque) e 2) posição central da parcela (2,5 m de distância do renque). A amostragem da produção de milho foi realizada coletando-se 10 plantas na linha nas duas posições avaliadas, para obtenção dos dados de produção de grãos, e cinco plantas na linha para produção de palha. Para obtenção dos dados de produção da forrageira Massai, foram duas amostras com quadrado de 0,5 m² por posição na parcela experimental. As amostras para determinação da produção dos componentes (grão, palha de milho e biomassa de parte aérea de Massai) foram secas em estufa com circulação de ar durante 48 horas a 50 °C, para obtenção da matéria seca.

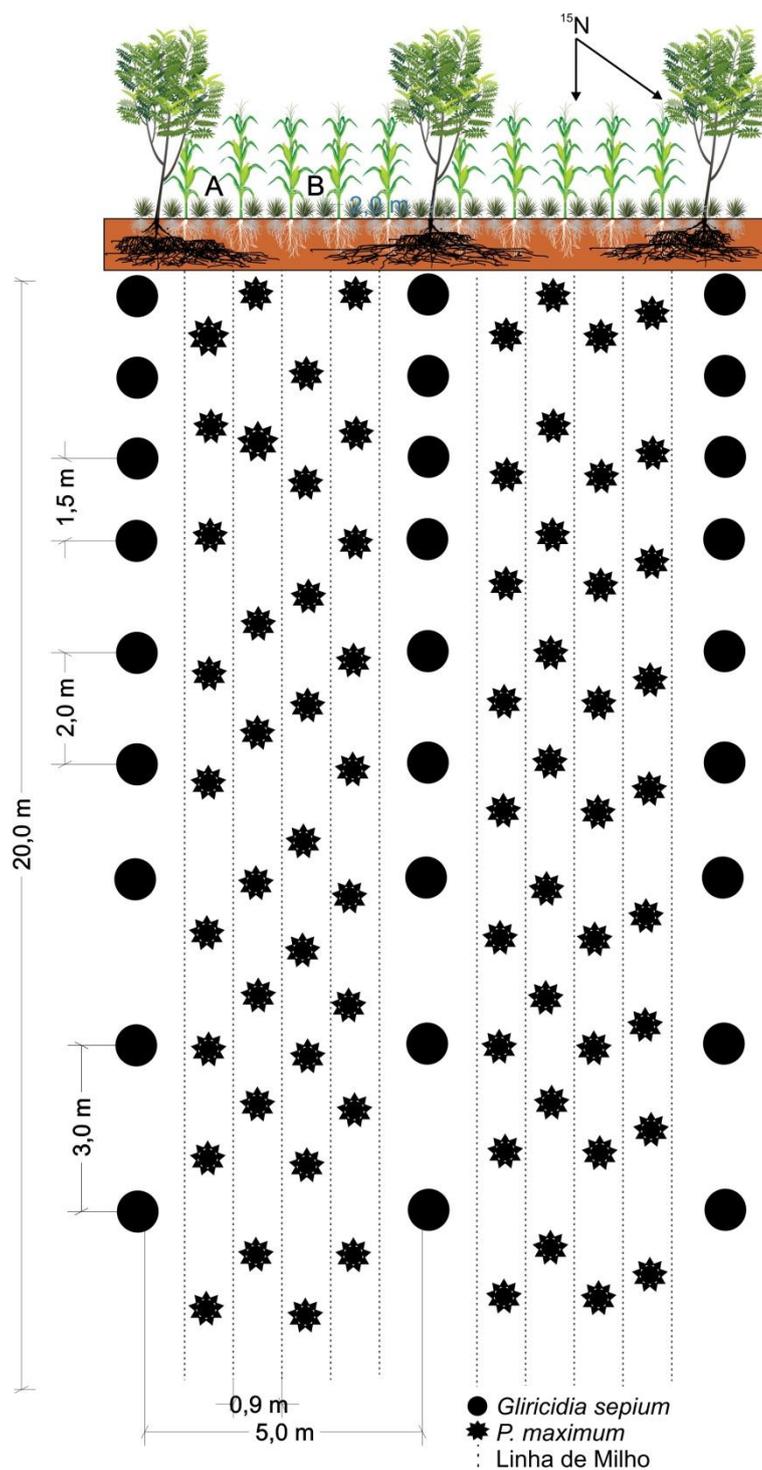


Figura 2. Esquema experimental representando a distribuição dos componentes produtivos no sistema integrado e espaçamentos utilizados na *Gliricidia sepium*.

3.3. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

3.3.1. *Determinação de nitrogênio total do solo*

O nitrogênio total (NT) do solo foi determinado por combustão via seca, em analisador elementar CHN (modelo EA 3000, CNH/O, Eurovector), do laboratório de Matéria Orgânica do Solo da Universidade de Brasília, utilizando aproximadamente 3-5 mg de material previamente macerado e totalmente passado por peneira de malha de 0,149 mm.

3.3.2. *Análise do nitrogênio disponível do solo*

O nitrogênio disponível foi avaliado de acordo com Gianello (1986). As análises foram realizadas em duplicata, transferido-se 2g de solo de cada amostra para destilador de nitrogênio (modelo TE-0363, Tecnal), onde foram adicionados 25 ml da solução-tampão pH 11,2 (200g de $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ + 50g de bórax, em 2 L de água deslilada), 0,2 g de MgO, 0,1 g de liga de devarda e 10 gotas de dimeticona para reduzir a formação de espuma na presença da liga de devarda. O destilado foi recolhido em erlenmeyer de 50 ml, contendo 10 ml de HCl 0,05 mol L⁻¹. Os cálculos foram realizados a partir da curva de calibração obtida pela destilação de soluções-padrão contendo 0, 15, 30, 45 e 60 µg mL⁻¹ de N. O N extraído foi quantificado por colorimetria em espectrofotômetro a 440 nm.

3.4. MICRO-PARCELAS COM SULFATO DE AMÔNIO ENRIQUECIDO COM ¹⁵N

As microparcelsas que receberam o fertilizante nitrogenado enriquecido com ¹⁵N foram alocadas nas linhas de milho adjacentes à leguminosa (LA) e nas linhas do meio (LM) da parcela entre os renques de gliricídia (Figura 3). Cada microparcela tinha 1,5 m de comprimento e 0,9 m de largura. A adubação de plantio foi de 350 kg ha⁻¹ da formulação NPK 4-30-16, fornecendo 14 kg N, 105 kg P₂O₅, 56 kg K₂O. A adubação de cobertura foi parcelada em duas aplicações, a primeira foi realizada no estágio V4 do milho com a aplicação de 52 kg N (0,8% ¹⁵N em excesso) e 60 kg K₂O ha⁻¹. Na segunda adubação de cobertura foram aplicados 52 kg N ha⁻¹ (0,8% ¹⁵N em excesso). Na floração do milho foram coletadas amostras da folha-bandeira, nas duas posições estudadas por parcela experimental. Em julho de 2017, na colheita do milho, foram coletadas amostras de grãos e amostras de

biomassa de folhas da forrageira dentro da área útil de cada micro-parcela (0,9 m²). Posteriormente o material foi seco em estufa, até atingir 12% de umidade no caso dos grãos de milho. A biomassa de folhas da forrageira foi seca em estufa por 48 horas para obtenção da matéria seca (MS).



Figura 3. Parcelas experimentais com identificação das micro-parcelas enriquecidas com ¹⁵N.

3.4.1. Eficiência de uso do N mineral

O N derivado do fertilizante mineral enriquecido com ¹⁵N (NDFM) foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{NDFM (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{atom\% } ^{15}\text{N MS}}{\text{atom\% } ^{15}\text{N fertilizante}} \times \text{N total na MS}$$

MS: matéria seca

A MS pode ser da folha e de grãos de milho ou folhas da forrageira.

3.4.2. N derivado do solo

O N derivado do solo (NDS) foi considerado todo o N absorvido pelo milho ou pelas forrageiras não derivado do fertilizante mineral:

$$\text{NDS (kg ha}^{-1}\text{)} = (1 - \text{NDFM}) \times \text{Ntotal na MS}$$

3.5. ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DOS COMPONENTES DO SISTEMA

3.5.1. Produtividade de grãos de milho

A produtividade de grão de milho por parcela e por posição foi calculada com a seguinte equação:

$$\text{Produtividade de grão (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{MS grão} \times 10.000/1,67$$

MS grão = produção de 10 plantas

10.000 = área de um hectare (m²)

1,67 = área ocupada por 10 plantas.

3.5.2. Produtividade de grãos de milho

A produtividade de palha de milho por parcela e por posição foi calculada com a seguinte equação:

$$\text{Produtividade de grão (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{MS palha} \times 10.000/0,83$$

MS palha = produção de cinco plantas

0,83 = área ocupada por cinco plantas.

3.5.2. Produtividade de biomassa de parte aérea da forrageira

A produtividade de parte aérea da forrageira Massai por hectare foi calculada com a seguinte equação:

$$\text{Produtividade de forrageira (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{MS forrageira} \times 10.000/0,50$$

MS forrageira = produção de cinco plantas

0,50 = área por posição e parcela.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Foi adotado um esquema fatorial 3x2, com três repetições. Foram considerados três densidades de plantas de gliricídia e duas posições na parcela. As análises foram realizadas utilizando o *software* SAS System for Windows (versão 9.3, SAS 2006).

5. Resultados e Discussão

5.1. Absorção, eficiência de recuperação do fertilizante nitrogenado e nitrogênio derivado do solo absorvido pelo milho em sistema agrossilvicultural com *Gliricidia sepium*

Ocorreram interações entre as densidades de plantas e a posição de coleta em relação à gliricídia para o N derivado do fertilizante mineral (NDFM), eficiência de recuperação do N fertilizante (ERNF) e N derivado do solo (NDS) no grão de milho. Não foram observadas interações significativas entre as densidades de plantas e da posição de coleta para NDFM, ERNF e NDS na palha de milho.

Na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} o milho apresentou maior quantidade de NDFM do que na menor densidade de 667 plantas ha^{-1} . A maior densidade (1333 plantas de gliricídia ha^{-1}) proporcionou valores intermediários do NDFM em grãos de milho, não se diferenciando das demais densidades. A maior deposição de material orgânico de gliricídia nas maiores densidades de plantas, pode ter resultado em maior concentração de NDFM nos grãos de milho. A presença do componente arbóreo no sistema possivelmente não reduziu a absorção de NDFM pelo milho cultivado no centro da parcela, devido ao menor sombreamento nesta posição (Chirwa et al., 2003). Resultados obtidos por Coser et al. (2016a) em sistema ILP no conteúdo de NDFM em grãos de milho foram similares ao do presente estudo na posição central da parcela. Nesse estudo o NDFM variou de 45,8 kg N ha^{-1} a 48,3 kg N ha^{-1} no monocultivo de milho e no consórcio de milho com *P. maximum* cv. Aruana, respectivamente. Ikerra et al. (1999) também demonstraram maior absorção de N em consórcio com gliricídia do que no monocultivo de milho. Da mesma forma o fornecimento de resíduos de podas de gliricídia resultou em maior absorção de N pelo milho (Akinnifesi et al., 1996; Zaharah et al., 1999). Portanto, a densidade até 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} favorece a absorção de N mineral pelo milho, provavelmente como resultado da maior biomassa gerada pelas árvores e do sinergismo na absorção do N das fontes mineral e orgânica.

De maneira geral, as maiores quantidades de NDFM nos grãos de milho foram obtidas na linha do meio da parcela em todas as densidades de gliricídia avaliadas. O efeito de proximidade da gliricídia resultou em menor conteúdo de NDFM nos grãos de milho, provavelmente devido ao sombreamento e a competição na absorção do N fertilizante exercida pela gliricídia. As plantas de milho localizadas no meio do renque foram provavelmente beneficiadas por um ambiente com menor sombreamento e competição por nutrientes e água, favorecendo a acumulação de N nos grãos. Rowe et al. (2005) atribuíram a

menor incorporação do NDFM no milho cultivado adjacente à árvore à competição exercida pela leguminosa no sistema de aleias. Akinnifesi et al. (1996) não observaram efeito consistente da proximidade das plantas de milho às árvores na absorção de N nos grãos, pois a poda das árvores reduziu o sombreamento e retardou a absorção de N pela gliricídia. Chirwa et al. (2003) demonstraram a necessidade de podar a gliricídia para evitar efeitos competitivos que possam comprometer o desempenho produtivo do milho. Embora Makumba et al. (2009) tenham demonstrado a compatibilidade de raízes de milho e gliricídia, neste estudo pode ter ocorrido competição por NDFM, possivelmente resultado da falta de poda da gliricídia durante o desenvolvimento do milho e maior distribuição das raízes da gliricídia na camada superficial do solo.

O conteúdo de NDFM na palhada do milho não foi influenciado pela densidade de plantas de gliricídia e também da posição de coleta em relação ao componente arbóreo ($P = 0,05$). A folha do milho é dreno de N durante a fase de desenvolvimento dos grãos, e isso pode ter refletido na ausência de diferenças no conteúdo de N da palhada de milho (Rowe et al., 2001). O teor de NDFM na palhada do milho variou de 27,98 kg ha⁻¹ na linha de milho adjacente à árvore na densidade de 667 plantas de gliricídia ha⁻¹ a 39,93 kg ha⁻¹ na linha do meio do renque na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ (Tabela 4). Coser et al. (2016a) observaram que o conteúdo de NDFM da palhada do milho foi de 31,5 kg ha⁻¹ no tratamento com milho consorciado ao *P. maximum* cv. Aruana. Os resultados do conteúdo de NDFM na palha do milho tiveram maior variação no sistema agrossilvicultural, em comparação aos sistemas de milho consorciado com forrageiras estudados por Coser et al. (2016a), possivelmente devido ao efeito de interceptação da radiação solar pela gliricídia (Chirwa et al., 2003).

A ERNF seguiu o mesmo comportamento dos valores do NDFM, com a densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ proporcionando maior EUN pelo milho do que a de 667 plantas de gliricídia ha⁻¹, não havendo diferenças entre as demais densidades. A densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ possivelmente resultou num ambiente mais favorável à absorção de NDFM, e conseqüentemente resultou em maior ERNF nos grãos de milho. As menores ERNF pelos grãos de milho, 29% e 9,7%, na linha do meio e na linha adjacente, respectivamente, foram obtidas na densidade de 667 plantas de gliricídia ha⁻¹. Isso pode ser resultado da menor absorção de NDFM pela árvore durante o desenvolvimento do milho e da maior perda de N por lixiviação. Rowe et al. (2001) também observaram alta ERNF pelo milho (44-62%),

enquanto Akinnifesi et al. (1996) observaram ERNF de apenas 16% para o milho consorciado com leucena. A combinação de altas taxas de precipitação, lixiviação e culturas de enraizamento superficial podem levar a ERNF baixas (Schroth & Zech, 1995). Siqueira et al. (2014) observaram que o aumento da densidade de plantio da gliricídia pode melhorar a qualidade química do solo, aumentar a entrada de biomassa e a disponibilidade de nutrientes. A imobilização de N oriundo da gliricídia e do N mineral aplicado ao milho aumenta a eficiência de uso dos nutrientes, através da menor disponibilidade de N quando as demandas das culturas são menores (Chirwa et al., 2006). O incremento do teor de carbono orgânico no solo resultado do estabelecimento das plantas de gliricídia (Marin et al., 2006; Beedy et al., 2010), do consórcio de gliricídia com a forrageira *P. maximum* cv. Massai (Coser et al., 2018) também podem explicar a maior disponibilidade de N para as culturas nestes sistemas (Akinnifesi et al., 2007). Akinnifesi et al. (1996) observaram que a adição de restos de podas de *Leucaena* aumentou a concentração de N nos grãos de milho em 50%, em relação ao controle sem aplicação de restos de poda.

A proximidade do milho em relação à gliricídia reduziu a eficiência de recuperação do N fertilizante (ERNF) no grão de milho em todas as densidades de plantas avaliadas. A menor ERNF acumulada nos grãos de milho foi de 9,74% na linha adjacente à árvore no sistema com 667 plantas de gliricídia ha^{-1} . A maior ERNF observada foi 45,78%, na linha do meio da parcela na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} (Tabela 4). Akinnifesi et al. (1996) observaram que a eficiência de uso do N pelo milho de restos de poda foi maior nas plantas cultivadas adjacentes à árvore do que na linha do meio das parcelas durante a safra. A maior média de ERNF nos grãos de milho no presente trabalho tem similaridade com os resultados observados em sistemas integrados na ausência do componente arbóreo. Coser et al. (2016a) observaram que a ERNF nos grãos de milho variou de 46% no monocultivo a 48% no consórcio de milho e *P. maximum*. No presente estudo, a menor absorção de NDFM e ERNF pelo milho cultivado adjacente à árvore pode ser atribuída à competição exercida pela gliricídia na absorção do NDFM.

Da mesma forma que ocorreu com o NDFM, a densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} proporcionou maior NDS em grãos de milho (27,03 kg N ha^{-1}) do que na densidade de 667 plantas de gliricídia ha^{-1} (16,50 kg N ha^{-1}). De maneira geral, a principal fonte de N para o milho foi o fertilizante mineral. Resultado diferente daquele obtido por Coser et al. (2016a) em sistema ILP, onde o NDS foi de cerca de 60% do N contido no grão de milho. E também

diferente dos resultados obtidos por Figueiredo et al., (2005) em monocultivo de milho, que observaram maior contribuição do NDS na nutrição do milho. Ikerra et al. (1999) observaram maior acúmulo de N inorgânico no solo com gliricídia consorciada do que no monocultivo do milho. Siqueira et al. (2014) observaram que o aumento da densidade de plantio da gliricídia elevou os níveis de fertilidade do solo, principalmente na densidade acima de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹. Possivelmente, o sistema agrossilvicultural com consórcio entre gliricídia, milho e a forrageira aumentou a disponibilidade de NDFM no solo, favorecendo a absorção de N mineral pelo milho em comparação ao NDS.

A proximidade da gliricídia também reduziu significativamente o conteúdo de NDS nos grãos de milho em relação à linha do meio da parcela na densidade de 1333 plantas de gliricídia ha⁻¹ (Tabela 4). Nas densidades de 667 e 1000 plantas ha⁻¹ de gliricídia o efeito de proximidade da gliricídia não foi significativo ($P < 0,05$) no conteúdo de NDS nos grãos de milho. A maior deposição de material orgânico rico em N na posição adjacente à gliricídia não resultou em maior absorção de NDS. Possivelmente o fator limitante à absorção de NDS nos grãos foi o sombreamento proporcionado pelo componente arbóreo, que reduz o crescimento do milho nesta posição (Chirwa et al., 2003). Marin et al. (2006) observaram que o milho acumulou mais nutrientes nas posições adjacentes à gliricídia, devido ao incremento da fertilidade do solo nessas posições, em solo de fertilidade não corrigida. Akinnifesi et al. (1996) observaram que a eficiência de uso da poda de N foi maior nas plantas de milho adjacentes às árvores do que no meio das parcelas na safra, mas o inverso foi observado na safrinha. Chirwa et al. (2007) observaram menor teor de água disponível no solo do sistema com árvores no início da estação chuvosa em comparação à posição central entre os renques. Possivelmente, a evapotranspiração da gliricídia diminuiu o conteúdo de água disponível no solo para as culturas associadas e reduziu a absorção de N pelo milho nas posições mais próximas da gliricídia. O adequado manejo de podas na gliricídia pode reduzir a competição exercida pela árvore, aumentar a produção de material orgânico e incrementar a nutrição das culturas associadas (Barreto et al., 2012).

Não houve interação ($P = 0,05$) da densidade de plantas de gliricídia e da posição em relação à árvore no conteúdo de NDS na palha de milho (Tabela 4). O NDS na palha do milho variou de 18,07 kg ha⁻¹ na linha adjacente à árvore à 27,00 kg ha⁻¹ na posição central da parcela, ambos no sistema com 667 plantas de gliricídia ha⁻¹. A palha do milho não refletiu as

diferenças na absorção devido à folha ser uma fonte de N durante a fase de enchimento dos grãos (Rowe et al., 2001).

De maneira geral, a proximidade das linhas de milho ao componente florestal gerou efeito competitivo, sendo as linhas ao centro, entre renques, mais eficientes na recuperação do N fertilizante pelo milho. A redução da absorção de NDFM e NDS nas posições adjacentes à gliricídia se deve principalmente a competição por água, luz e nutriente exercida pelo componente arbóreo em todas as densidades de gliricídia avaliadas. Houve efeito de competição entre os componentes florestal e anual do sistema avaliado na absorção de NDFM e NDS. Portanto, há a necessidade de podar a gliricídia durante o ciclo de cultivo do milho, quando o objetivo for a maior produção de grãos de milho no sistema.

Tabela 4. Nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM), eficiência de recuperação do N fertilizante (ERNF) e N derivado do solo (NDS) no grão e na palha de milho em sistema agrossilvicultural com 667, 1000, e 1333 plantas de *Gliricidia sepium* ha⁻¹. As plantas de milho foram coletadas nas linhas adjacentes (LA) às plantas de *G. sepium* e nas linhas do meio (LM) das parcelas.

NDFM (kg N ha ⁻¹)						
Grãos de milho						
Linha	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	30,46	bA	48,07	aA	44,39	abA
LA	10,23	bB	31,43	aB	18,60	abB
Palha de milho						
Linha	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	30,77	aA	39,93	aA	37,52	aA
LA	27,98	aA	35,26	aA	38,81	aA
ERNF (%)						
Grãos de milho						
Linha	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	29,01	bA	45,78	aA	42,27	abA
LA	9,74	bB	29,93	aB	17,71	abB
Palha de milho						
Linha	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	29,30	aA	38,03	aA	35,74	aA
LA	33,44	aA	33,58	aA	36,96	aA
NDS (kg N ha ⁻¹)						
Grãos de milho						
Linha	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	16,50	bA	27,03	aA	26,42	abA
LA	7,15	bA	19,18	aA	11,56	abB
Palha de milho						
Linha	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	27,00	aA	19,45	aA	21,52	aA
LA	18,07	aA	18,79	aA	22,67	aA

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

5.2. Nitrogênio derivado do fertilizante mineral e do solo na biomassa da parte aérea de *P. maximum* cv. Massai em sistema agrossilvicultural com *Gliricidia sepium*

A densidade de plantas e a proximidade da gliricídia não resultaram em diferenças ($P > 0,05$) no conteúdo de NDFM nas brotações da forrageira *P. maximum* cv. Massai (Tabela 5). O conteúdo de NDFM absorvido nas brotações da forrageira variou de $1,69 \text{ kg N ha}^{-1}$ a $5,45 \text{ kg N ha}^{-1}$. A ausência de diferenças no conteúdo de NDFM nas brotações de *P. maximum* cv. Massai, possivelmente é resultado da baixa competição por NDFM entre a forrageira e o milho como demonstrado por Coser et al. (2016a) em sistema de consórcio de milho e *P. maximum* cv. Aruana. Coser et al. (2016a) observaram que o conteúdo de NDFM contido nas brotações da forrageira foram em média $3,71 \text{ kg ha}^{-1}$, resultados similares aos obtidos no presente estudo, possivelmente pela falta de interação do componente arbóreo com a absorção pela forrageira do NDFM aplicado ao milho.

Também não houve efeito ($P > 0,05$) da densidade de plantas e da proximidade com gliricídia na ERNF pelas brotações de *P. maximum* cv. Massai (Tabela 5). As brotações da forrageira absorveram de 1,61 % do N mineral aplicado na cultura do milho na posição adjacente à árvore no sistema com 1333 plantas de gliricídia ha^{-1} à 5,19 % na posição central da parcela no sistema com 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} . Esses resultados demonstram que o consórcio de forrageiras tropicais e milho em sistema agrossilvicultural com gliricídia não causaram competição significativa da forrageira pelo N fertilizante aplicado ao milho.

Ocorreram interações significativas da densidade de plantas e da proximidade da gliricídia no conteúdo de NDS nas brotações da forrageira *P. maximum* cv. Massai. A maior quantidade de NDS na forrageira foi obtida na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} . O NDS nas brotações da forrageira *P. Maximum* cv. Massai variaram de $6,33 \text{ kg N ha}^{-1}$ no sistema com 1333 plantas de gliricídia ha^{-1} a $16,22 \text{ kg N ha}^{-1}$ no sistema com 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} na posição central da parcela (Tabela 5). O aumento da densidade de plantio aumenta a competição por nutrientes entre as plantas e reduz sua disponibilidade para cada planta (Siqueira et al., 2014), mas na densidade ótima de plantio a gliricídia pode fornecer consideráveis quantidades de nutrientes provenientes da produção de biomassa e competição reduzida por nutrientes com as demais plantas. Sierra & Nygren (2006) observaram que o teor de N na biomassa da parte aérea da forrageira *Dichanthium aristatum* foi maior sob as árvores de gliricídia do que nas pastagens convencionais, indicando a maior absorção de N do capim nesses sistemas. Jalonen et al. (2009) demonstraram a transferência direta de N das árvores

através de exsudados radiculares e redes micorrízicas fornecendo até 14% do N total da planta. As plantas de gliricídia possivelmente promoveram a maior mineralização e disponibilidade de N no solo para a forrageira através da maior entrada de biomassa rica em N no solo na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹.

Não houve efeito isolado da proximidade da gliricídia no NDS nas brotações de *P. maximum* cv. Massai (Tabela 5). A absorção de NDS nas brotações da forrageira na posição adjacente à gliricídia variou de 6,33 kg na densidade de 1333 plantas ha⁻¹ a 12,91 kg N ha⁻¹ na densidade de 1000 plantas ha⁻¹. Na posição central da parcela o NDS nas brotações da forrageira *P. maximum* cv. Massai variou de 4,47 kg ha⁻¹ na densidade de 1333 plantas ha⁻¹ a 16,22 kg ha⁻¹ na densidade de 1000 plantas ha⁻¹. A maior ($P < 0,05$) contribuição da densidade de 1000 plantas ha⁻¹ na posição central indica maior sinergia dos componentes produtivos nessa densidade de plantas, resultando na maior nutrição das culturas associadas. Resultados semelhantes na absorção de NDS pelas forrageiras na ausência de árvores foram observados por Cosser et al. (2016a), onde as brotações de *P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola* no consórcio com o milho absorveram do solo de 6,41 a 11,2 kg N ha⁻¹, respectivamente. A principal fonte de N para a forrageira foi o solo, como demonstrado pelo maior conteúdo de NDS em relação ao NDFM nas brotações da forrageira. Resultados semelhantes foram obtidos por Cosser et al. (2016a). Hagggar & Beer (1993) demonstraram que não houve diferenças na mineralização de N nas diferentes distâncias da gliricídia em aléias. As densidades de 667 e 1333 plantas de gliricídia ha⁻¹ resultaram em menor ($P < 0,05$) contribuição de NDS na nutrição da forrageira no meio da parcela, possivelmente resultado da menor disponibilidade de N nesta posição (Sierra & Nygren, 2006). Os dados sugerem que as árvores promoveram a nutrição da forrageira *P. maximum* cv. Massai, principalmente na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹.

Tabela 5. Nitrogênio (N) derivado do fertilizante mineral (NDFM), eficiência de recuperação do N fertilizante (ERNF) e N derivado do solo (NDS) em brotações de *Panicum maximum* cv. Massai em sistema agrossilvicultural com 667, 1000, e 1333 plantas de *Gliricidia sepium* ha⁻¹. As brotações de *P. maximum* foram coletadas nas linhas adjacentes às plantas de *G. sepium* (LA) e nas linhas do meio (LM) das parcelas.

NDFM (kg N ha ⁻¹)						
Linha	Brotações de <i>P. maximum</i>					
	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	2,14	aA	5,45	aA	1,74	aA
LA	3,10	aA	1,89	aA	1,69	aA
ERNF (%)						
Linha	Brotações de <i>P. maximum</i>					
	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	2,04	aA	5,19	aA	1,66	aA
LA	2,95	aA	1,80	aA	1,61	aA
NDS (kg N ha ⁻¹)						
Linha	Brotações de <i>P. maximum</i>					
	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	6,39	bA	16,22	aA	4,47	bA
LA	10,77	aA	12,91	aA	6,33	aA

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

5.3. Absorção de nitrogênio derivado do fertilizante mineral, eficiência de recuperação do N fertilizante e N derivado do solo nos grãos de milho, palha e brotações de *P. maximum* cv. Massai pelo sistema agrossilvicultural com *Gliricidia sepium*

Ocorreram interações significativas (P < 0,05) entre a densidade de plantas de gliricídia e a posição de coleta em relação ao renque no conteúdo de NDFM e ERNF acumulado no sistema solo-planta (Tabela 6). O NDS acumulado nos componentes do sistema agrossilvicultural não diferiu (P = 0,05) nas densidades de gliricídia e na posição de coleta em relação à árvore (Tabela 6).

A absorção de NDFM pelo milho (palha + grão) e nas brotações de *P. maximum* cv. Massai no sistema agrossilvicultural (NDFM-SIS) foi maior (P < 0,05) na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹, do que na densidade de 667 plantas ha⁻¹, não havendo diferença entre as demais densidades (Tabela 6). De maneira geral a elevada absorção de NDFM-SIS pode ser explicada pela maior ciclagem de nutrientes promovida pela gliricídia (Akinnifesi et al., 2007), com maior disponibilidade de N (Chirwa et al., 2006) e conseqüentemente maior absorção desse nutriente no sistema solo-planta (Haggar et al., 1993). Portanto, a absorção de NDFM-SIS é facilitada pela gliricídia no sistema agrossilvicultural possivelmente através da reciclagem de N que seria lixiviado (Akinnifesi et al., 2007), aumento da disponibilidade

através de exsudados radiculares (Jalonen et al., 2009) e deposição na superfície do solo através da poda (Chirwa et al., 2006).

Só houve efeito da posição de amostragem em relação à leguminosa arbórea no acúmulo de NDFM-SIS na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} , resultando em maior ($P < 0,05$) absorção na posição central da parcela, em comparação à posição adjacente à árvore. As demais densidades avaliadas não diferiram no conteúdo de NDFM-SIS nas duas posições de coleta. A menor competição exercida pela gliricídia, na posição central da parcela na densidade de 1000 plantas ha^{-1} , possivelmente resultou na maior acumulação de NDFM-SIS, como observaram Schroth & Zech (1995). A introdução de árvores com raízes densas e poda de árvores menos frequente pode gerar um aumento da competição entre as culturas e árvore (Schroth & Zech, 1995). Portanto, o manejo de podas antes e durante o cultivo de plantas associadas à gliricídia deve ser a adequada para reduzir a competição no sistema agrossilvicultural, mas se o objetivo principal for à ciclagem de nutrientes em profundidade através das árvores, a poda menos frequente é preferível.

A eficiência de recuperação do N fertilizante pelo sistema agrossilvicultural (ERNF-SIS) também foi maior ($P < 0,05$) na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha^{-1} (89%) em relação à densidade de 667 plantas ha^{-1} (60,3%) na posição central da parcela (Tabela 6). A interação da densidade de plantas e a ERNF-SIS observada na posição central da parcela indicam que este efeito ficou restrito a esta posição, não havendo efeito sob a ERNF-SIS na posição adjacente à gliricídia. Rowe et al. (2001) estimaram que 44-58% do N na gliricídia tenha sido da fixação atmosférica de N_2 , indicando que a gliricídia absorve grandes quantidades de N do solo. Rowe et al. (2005) demonstraram que a gliricídia absorveu quantidades substanciais de ^{15}N mineral durante os ciclos de cultivo, recuperando cerca de 11,5% do ^{15}N aplicado em forma de uréia após 180 dias. Siqueira et al. (2014) demonstraram que o aumento da densidade de plantio reduz a disponibilidade de nutrientes para cada planta e, na densidade ótima de plantio da gliricídia (1000 plantas ha^{-1}), a competição por recursos (nutrientes, água e luz) seria mínima e não reduziria significativamente o desenvolvimento das culturas associadas (Siqueira et al., 2014). Ainda de acordo com estes autores, o aumento da densidade de plantio aumenta a quantidade de biomassa produzida, reduz a concentração de nutrientes na biomassa, mas em contrapartida o solo recebe grande quantidade de nutrientes através da deposição ou poda. Os estudos citados ajudam a explicar a tendência de redução da ERNF-SIS das plantas (milho e capim) na densidade de 1333 plantas de gliricídia

ha⁻¹ em comparação a densidade de 1000 plantas ha⁻¹, possivelmente resultado da maior competição das árvores por NDFM, água e luz. A maior contribuição de biomassa adicionada ao solo na densidade de 1333 plantas de gliricídia ha⁻¹ não resultou em aumento da ERNF-SIS. Possivelmente, a maior competição por radiação fotossintética exercida pela gliricídia com o aumento da densidade de plantio (Siqueira et al., 2014), tenha resultado na ERNF-SIS intermediária obtida na densidade 1333 plantas de gliricídia ha⁻¹. Portanto, a densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ proporcionou a maior ERNF-SIS na posição central da parcela, gerando duplo benefício da deposição de biomassa e da presença da árvore, sendo a densidade ótima de plantio de gliricídia no sistema agrossilvipastoril quando o objetivo for aumentar a ERNF-SIS.

O efeito de proximidade da gliricídia dos componentes do sistema (capim e milho) sob a ERNF-SIS interagiu significativamente apenas na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹, sendo maior ($P < 0,05$) na posição central da parcela em relação à posição adjacente à árvore (Tabela 6). Não houve efeito interativo da proximidade da gliricídia sob a ERNF-SIS nas densidades 667 e 1333 plantas de gliricídia ha⁻¹. Provavelmente as plantas de capim e milho sob a copa de gliricídia foram afetadas negativamente pela menor radiação fotossinteticamente ativa, água e nutrientes disponíveis (Schroth & Zech, 1995; Barreto et al., 2012). Enquanto, as plantas do meio da parcela se beneficiaram pela presença das árvores no sistema, principalmente na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹.

Não houve efeito da densidade de plantas de gliricídia nem da proximidade da árvore no conteúdo de N derivado do solo no sistema agrossilvicultural (NDS-SIS) acumulado nos componentes (milho + capim). O NDS-SIS variou de 35,99 kg ha⁻¹ na posição adjacente à árvore na densidade de 667 plantas de gliricídia ha⁻¹ a 62,69 kg ha⁻¹ na posição central na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹. Coser et al. (2016a) observaram maiores acúmulos de NDS em monocultivo e no ILP, onde o conteúdo de NDS no monocultivo de milho foi de 64,1 kg ha⁻¹, enquanto no consórcio com *P. maximum* cv. Aruana foi de 81,5 kg ha⁻¹. Chirwa et al. (2006) observaram maior acúmulo de N na biomassa acima do solo em sistema agroflorestal com gliricídia (200 a 270 kg ha⁻¹) do que nos tratamentos sem o componente arbóreo (40 a 95 kg ha⁻¹), demonstrando o maior acúmulo de N na biomassa no sistema com árvore. Os resultados obtidos no presente estudo podem ser explicados através do curto período de implantação da leguminosa arbórea ao sistema e a possível absorção de NDS pela gliricídia e não contabilizada neste estudo. Em avaliações posteriores, podem

ocorrer diferenças na contribuição do NDS-SIS, através do maior período de adição de biomassa rica em N, incorporação ao solo e reciclagem de nutrientes em profundidade.

Tabela 6. Nitrogênio (N) total derivado do fertilizante mineral (NDFM-SIS, kg ha⁻¹), eficiência de recuperação do N fertilizante (ERNF-SIS, %) e N derivado do solo (NDS-SIS, kg ha⁻¹) nos grãos de milho, palha e brotações de *P. maximum* representando a quantidade de N acumulada no sistema agrossilvicultural com 667, 1000 e 1333 plantas de *Gliricidia sepium* ha⁻¹. A palha do milho, grãos e brotações de *P. maximum* foram coletadas nas linhas adjacentes (LA) as plantas de *G. sepium* e na linha do meio das parcelas (LM).

NDFM-SIS (kg N ha ⁻¹)						
Linha	Grãos de milho + palha + brotações <i>P. maximum</i>					
	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	63.37	bA	93.45	aA	83.66	abA
LA	41.30	aA	68.58	aB	59.09	aA
ERNF-SIS (%)						
Linha	Grãos de milho + palha + brotações <i>P. maximum</i>					
	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	60.35	bA	89.00	aA	79.67	abA
LA	39.33	aA	65.31	aB	56.28	aA
NDS-SIS (kg N ha ⁻¹)						
Linha	Grãos de milho + palha + brotações <i>P. maximum</i>					
	667 pl. ha ⁻¹		1000 pl. ha ⁻¹		1333 pl. ha ⁻¹	
LM	49.89	aA	62.69	aA	52,41	aA
LA	35.99	aA	50.88	aA	40.56	aA

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

5.4 Retorno ao solo de nitrogênio derivado do fertilizante mineral e nitrogênio derivado do solo em sistema agrossilvicultural com *Gliricidia sepium*

O NDFM que retornou ao solo através da palha de milho e brotações da forrageira *P. maximum* cv. Massai foi maior na na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ na posição adjacente à gliricídia, retornando 12 kg ha⁻¹ de N a mais do que na densidade de 667 plantas de gliricídia ha⁻¹ (Figura 4). A densidade maior de árvores apresentou comportamento intermediário entre as demais densidades. Em todos os casos, a contribuição maior para o retorno do NDFM ao solo foi da palhada do milho, representando mais de 90% do NDFM que retorna ao solo, pela maior demanda de N mineral.

A densidade de 667 plantas de gliricida ha⁻¹ retornou ao solo 31,08 kg ha⁻¹ de NDFM na posição próxima à gliricídia e 32,91 kg ha⁻¹ de NDFM na posição central da parcela. Na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ retornou ao solo 45,38 kg ha⁻¹ na posição adjacente à gliricídia e 37,15 kg ha⁻¹ do NDFM aplicado ao milho na posição central da parcela. A densidade de 1333 plantas de gliricida ha⁻¹ retornou 40,5 e 39,26 kg ha⁻¹ do NDFM

através da palha do milho e brotação da forrageira na posição adjacente à árvore e central da parcela, respectivamente. Resultados parecidos foram obtidos por Coser et al. (2016a) em sistema integrado na ausência do componente arbóreo, onde o consórcio de milho com *P. maximum* retornou 31,5 kg N ha⁻¹ ao solo. Estes resultados demonstraram o maior retorno de NDFM na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ na posição adjacente à árvore, possivelmente resultado da menor translocação de NDFM das folhas para os grãos (Rowe et al., 2001). Estes resultados também comprovaram a maior demanda do milho na absorção do N fertilizante aplicado e retorno através da palha neste sistema, destacando o maior potencial de ciclagem de nutrientes do milho.

O NDS que retornou ao solo pela da parte aérea da forrageira e da palhada do milho variou de 25,99 kg ha⁻¹ no sistema com 1333 plantas de gliricídia ha⁻¹ a 35,66 kg ha⁻¹ na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹. Também foi observada maior contribuição da palha do milho no conteúdo de NDS que retornou ao solo, assim como ocorrido com o NDFM retornado ao solo. A ausência de diferenças no conteúdo de NDS retornado ao solo se deve possivelmente ao curto período de manejo do sistema com a gliricídia, e avaliações posteriores podem observar diferenças de fornecimento de NDS nas diferentes densidades e da posição em relação à gliricídia.

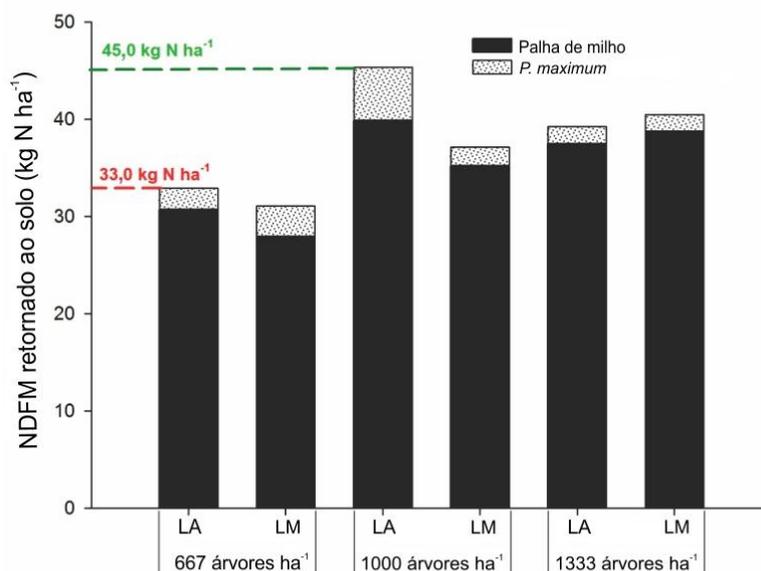


Figura 4. Nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM) que retornou ao solo pelas brotações do *P. maximum* e palha do milho em sistema agrossilvicultural com 667, 1000 e

1333 plantas de *G. sepium* ha⁻¹. LA e LM representam as linhas de milho adjacentes às árvores e linhas do meio da parcela, respectivamente.

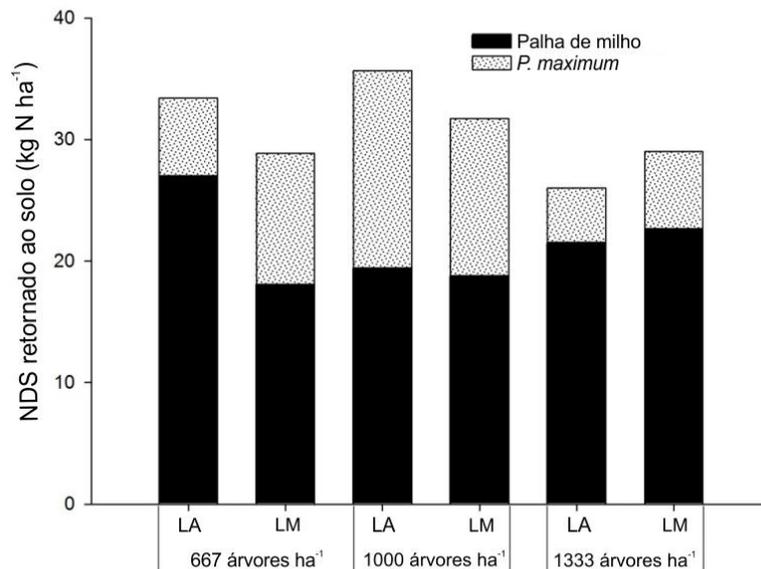


Figura 5. Nitrogênio derivado do solo (NDS) que retornou ao solo pela biomassa de parte aérea do *P. maximum* e palha do milho em três sistemas agrossilviculturais com 667, 1000 e 1333 plantas de *Gliricidia sepium* ha⁻¹. LA e LM representam as linhas de milho adjacentes às árvores e linhas do meio da parcela, respectivamente.

5.5. Nitrogênio total do solo (NTS) e Nitrogênio disponível do solo (NDIS) em sistema agrossilvicultural com diferentes densidades de *Gliricidia sepium*

Não houve efeito significativo da densidade de plantas de gliricídia e da posição de coleta no teor de N total do solo (NTS) na camada de 0,0 – 0,2 m de solo (Tabela 7).

Essa ausência de efeito no NTS possivelmente refletiu o curto período de estabelecimento e manejo do sistema agrossilvipastoril. Provavelmente ao longo do estabelecimento do sistema agrossilvicultural e da incorporação do N ao solo ocorram diferenças significativas no conteúdo de NTS, resultado da interação com a densidade de plantas e a posição de amostragem em relação ao renque resultado da maior deposição de biomassa e incorporação ao solo. Outros estudos indicam os ganhos de matéria orgânica do solo (MOS) e carbono orgânico promovidos pelo consórcio gliricídia-milho. Por exemplo, este consórcio incrementou em 3,4 g kg⁻¹ de MOS em comparação ao milho solteiro ao longo de 14 anos de experimento (Beedy et al., 2010). Coser et al. (2018) observaram que o sistema

agrossilvicultural sob plantio direto com o uso do *P. maximum* cv. Massai e *Gliricidia sepium* conseguiram acumular 13,9 Mg ha⁻¹ de C orgânico na camada 0,0-0,4 m do solo, num período de 4 anos. Villanueva-López et al. (2014) observaram que pastagens consorciada com cerca viva de gliricídia resultou em maiores concentrações de MOS, C e N na camada 0-0,1 m, e a 3 e 6 metros de distância da cerca viva. Possivelmente, o acúmulo de NTS deve estar associado ao acúmulo de C na MOS da camada superficial, e a longo prazo maiores diferenças no conteúdo de NTS devem ser observadas.

Houve interação significativa dos fatores densidade de plantas e posição de amostragem em relação aos teores de N disponível do solo (NDIS). O maior teor de NDIS foi observado na densidade de 1333 plantas de gliricídia ha⁻¹ (34,90 mg kg⁻¹). Vários autores relatam a melhoria no conteúdo de NDIS nos sistemas integrados. Coser et al. (2016b) observaram que o NDIS foi maior no consórcio de milho-*P. maximum* em comparação ao monocultivo de milho, 50,4 mg kg⁻¹ no monocultivo de milho e 71,1 mg kg⁻¹ no consórcio com *P. maximum*. Ikerra et al. (1999) observaram que a mineralização da biomassa de gliricídia pode aumentar o conteúdo de N inorgânico no solo. Chirwa et al. (2006) observaram maiores concentrações de N mineral no solo na presença da gliricídia (85 kg ha⁻¹) do que no tratamento controle (60 kg ha⁻¹). Akinnifesi et al. (2007) observaram maior conteúdo de NDIS no consórcio gliricídia-milho e efeito sinérgico na absorção de N pelo milho com a adição de N mineral. Beedy et al. (2010) observaram que as reservas de N na matéria orgânica particulada foram aumentadas pelo consórcio gliricídia e milho, reduzindo a relação C/N desta fração da MOS e aumentando potencialmente o NDIS para as culturas. Akinnifesi et al. (2007) explicaram a maior disponibilidade de N da seguinte forma: (1) o N fixado pela gliricídia pode ser disponibilizado para o milho através da poda e incorporação, e (2) da capacidade da gliricídia interceptar N em risco de ser lixiviado e liberado para o uso do milho. A maior densidade de plantio da gliricídia (1333 plantas ha⁻¹) melhorou o conteúdo de NDIS na camada de 0,0 – 0,2 m, possivelmente através da maior absorção de N em risco de ser lixiviado e da mineralização do N do material orgânico adicionado ao solo pela gliricídia.

Na maior densidade de plantas o NDIS foi maior na posição adjacente à gliricídia, enquanto que nas demais densidade ocorreu o inverso, com maior teor de NDIS na posição do centro da parcela. O conteúdo de NDIS, na posição central da parcela (LM), não foi afetado pela densidade de plantio da gliricídia, demonstrando pouca ou nenhuma influência da densidade de plantas de gliricídia no conteúdo de NDIS nessa posição. Haggard & Beer (1993)

observaram que não houve tendências significativas na mineralização líquida de N com a distância da gliricídia. A maior disponibilidade de N no solo pode ser resultado da maior capacidade de fornecimento de material orgânico rico em N e maior exsudação radicular de N na posição adjacente à árvore (Jalonen et al., 2009). Partey et al. (2017) observaram que a maior disponibilidade de N foi associada à maior biomassa microbiana no solo, e a biomassa microbiana do solo aumentou com o aumento da entrada de resíduos de plantas. Portanto, o aumento da entrada de resíduos através da poda da gliricídia, possivelmente aumenta a atividade microbiana no solo, e conseqüentemente também aumenta o NDIS.

Tabela 7. Nitrogênio total do solo (NTS) e nitrogênio disponível do solo (NDIS) em sistema agrossilvicultural com 667, 1000 e 1333 plantas de *G. sepium* ha⁻¹. As amostras de solo foram coletadas nas linhas adjacente (LA) à *G. sepium* e na linha do meio (LM) da parcela e na camada de 0,00 – 0,20m.

NTS (g kg ⁻¹)			
Linha	667 pl. ha ⁻¹	1000 pl. ha ⁻¹	1333 pl. ha ⁻¹
LM	1,82	1,85	1,75
LA	1,81	1,81	1,92
NDIS (mg kg ⁻¹)			
Linha	667 pl. ha ⁻¹	1000 pl. ha ⁻¹	1333 pl. ha ⁻¹
LM	26,66 aA	28,56 aA	25,87 aB
LA	19,80 bB	18,53 bB	34,90 aA

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

5.6. Produtividade de milho e forrageira Massai em sistema agrossilvicultural com diferentes densidades de *Gliricidia sepium*

Não houve efeito significativo (P = 0,05) da interação da densidade de plantas de gliricídia e da posição de coleta na produtividade de grão e palha de milho e na biomassa aérea da forrageira Massai.

Avaliando a produtividade de milho nas diferentes densidades de plantas de gliricídia e o efeito de proximidade com o componente arbóreo não foram observados efeitos significativos. Apesar disso na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ o milho produziu 7465 kg ha⁻¹ de grãos, na posição central da parcela, representando 43 % a mais do que na densidade de 667 plantas de gliricídia ha⁻¹, na posição adjacente à gliricídia (Figura 6). Comparando as produtividades de milho consorciado com *P. maximum* e o milho consorciado

no sistema agrossilicultural, com a produtividade obtida no estudo de Coser et al. (2016a) foi maior ($11,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) do que a maior produtividade média obtida neste estudo, e os autores também observaram que o consórcio aumentou em $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ a produção de grãos de milho em relação ao monocultivo. Akinnifesi et al. (2006) observaram que a produtividade de grãos de milho em média variou de $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ no consórcio de gliricídia e milho sem adição de fertilizantes, $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ com um quarta da dose de N recomendada (23 kg N ha^{-1}) e $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ com metade da dose recomendada (46 kg N ha^{-1}). Isto demonstra o potencial do consórcio gliricídia e milho no fornecimento de N e a sinergia com pequenas doses de N fertilizante. Em estudos posteriores, a dose de N fertilizante aplicado ao milho pode ser objeto de estudo.

Avaliando isoladamente o efeito de proximidade da gliricídia sob a produtividade de grãos de milho nas três densidades de gliricídia, na linha adjacente à gliricídia o milho produziu em média $4597 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e a linha do meio da parcela produziu $6530 \text{ kg MS ha}^{-1}$. Isto demonstra que o efeito de proximidade da gliricídia possivelmente reduziu a produtividade do milho através da competição por radiação fotossintética. Schroth & Zech (1995) também relataram maior produtividade de milho na linha central da parcela, em comparação ao monocultivo de milho, como resultado da competição exercida pela gliricídia. Os resultados demonstram que para minimizar a competição acima do solo por radiação solar imposta pela gliricídia, se faz necessário realizar podas durante o crescimento do milho (Makumba et al., 2006a). Barreto et al. (2012) relataram que a frequência de quatro e seis podas anuais resultaram em maior produtividade de grãos de milho do que uma menor frequência de podas. Portanto, a poda da gliricídia durante o crescimento do milho se faz necessária quando o principal objetivo do consórcio for aumentar a produção de grãos de milho.

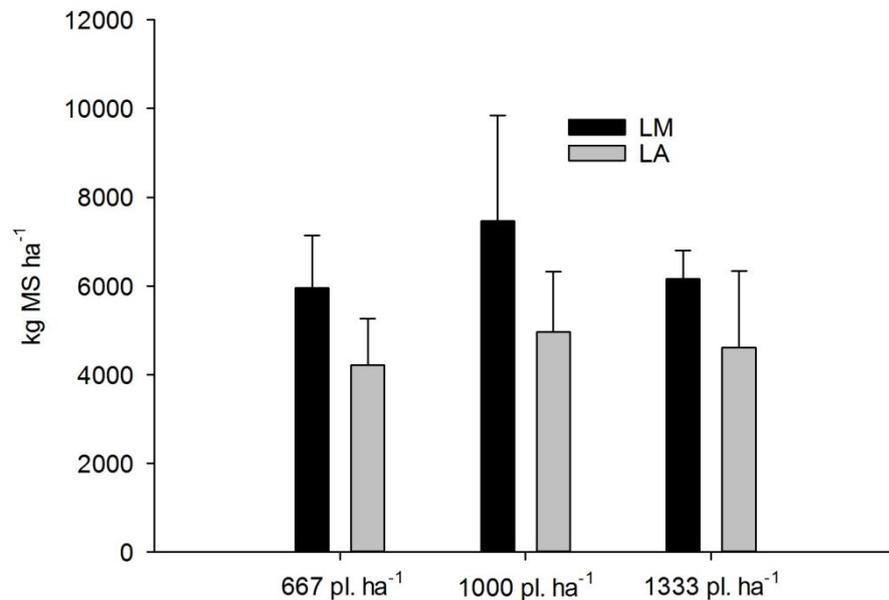


Figura 6. Produtividade de grãos de milho (kg ha⁻¹) em três sistemas agrossilviculturais com 667, 1000 e 1333 plantas de *Gliricidia sepium* ha⁻¹. LM e LA representam as linhas do meio da parcela e linhas de milho adjacentes às árvores, respectivamente.

A produtividade de palha de milho nas diferentes densidades de plantas de gliricídia e o efeito de proximidade com o componente arbóreo não foi significativo. Apesar disso, verificou-se que a produtividade média de palha de milho variou de 3398 kg ha⁻¹ na linha de milho adjacente à gliricídia e 4475 kg MS ha⁻¹ na linha de milho central da parcela. Coser et al. (2016a) observaram que a produção de palha de milho no consórcio com *P. maximum* foi de 4410 kg ha⁻¹, não havendo diferenças na produção de palha entre o consórcio e o monocultivo de milho. Akinnifesi et al. (2007) observaram que o consórcio de milho e gliricídia aumentou a produção média de palha de milho ao longo dos anos (5300 kg ha⁻¹) em comparação ao monocultivo de milho (3500 kg ha⁻¹). Possivelmente, a maior produção de palha no consórcio de milho e gliricídia obtido por Akinnifesi et al. (2007) seja resultado da melhoria do armazenamento de água no solo, através da deposição contínua de biomassa de gliricídia no solo.

Avaliando isoladamente o efeito de proximidade da gliricídia e a produtividade média de palha de milho nas três densidades de plantas estudadas, foi observado aumento da produtividade na linha do meio da parcela (4338 kg MS ha⁻¹) em comparação a linha adjacente à gliricídia (3443 kg MS ha⁻¹). Possivelmente, a competição por radiação

fotossintética exercida pelo componente arbóreo sob o milho cultivado adjacente à gliricídia, reduziu a produção de palha do milho. Portanto, o efeito de proximidade da gliricídia ao milho afeta negativamente a produção de palha, independente da densidade de plantas.

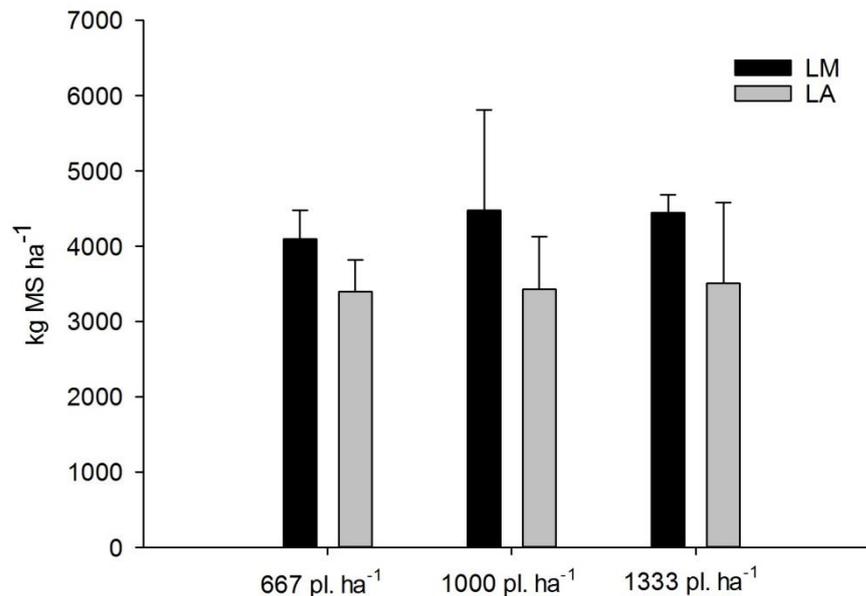


Figura 7. Produtividade de palha de milho (kg MS ha⁻¹) em três sistemas agrossilviculturais com 667, 1000 e 1333 plantas de *Gliricidia sepium* ha⁻¹. LM e LA representam as linhas do meio da parcela e linhas de milho adjacentes às árvores, respectivamente.

Não houve interação ($P = 0,05$) da produtividade de biomassa de parte aérea de forrageira *P. maximum* cv. Massai nas diferentes densidades de plantas de gliricídia e efeito de proximidade com o componente arbóreo (Figura 8). Diferentemente do ocorrido nas demais variáveis de produção estudadas (grão e palha de milho), em que a produção de MS foi maior nas posições centrais da parcela, a biomassa de parte aérea da forrageira Massai não teve sua produção limitada na posição adjacente à gliricídia. A forrageira *P. maximum* cv. Massai demonstrou ser tolerante ao sombreamento, demonstrando elevado potencial de produção de biomassa na posição adjacente à gliricídia. Pachas et al. (2018) demonstraram que o aumento da densidade de plantas de leucena consorciada ao capim Rhodes (*Chloris gayana*), reduziu a produção da forrageira, com produção desprezível na densidade de 8618 plantas ha⁻¹. Neste estudo, as densidades de plantas de gliricídia não interagiram significativamente na produção de biomassa de parte aérea de capim Massai, mas o aumento da densidade de plantas acima da avaliada neste estudo pode reduzir a produção da forrageira.

Portanto, a densidade de 1000 plantas de glicíndia ha^{-1} é a mais indicada para o melhor aproveitamento do sinergismo dos componentes produtivos no sistema agrossilvicultural com glicíndia, obtendo-se elevada eficiência de uso do N fertilizante e alta produção dos componentes consorciados.

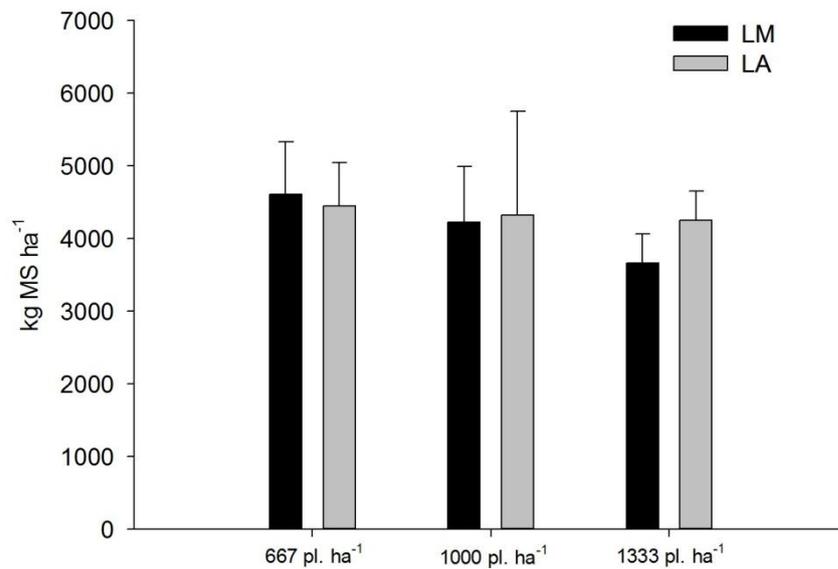


Figura 7. Produtividade de biomassa de parte aérea de *P. maximum* cv. Massai (kg MS ha^{-1}) em três sistemas agrossilviculturais com 667, 1000 e 1333 plantas de *Gliricidia sepium* ha^{-1} . LM e LA representam as linhas do meio da parcela e linhas adjacentes às árvores, respectivamente.

6. Conclusões

O presente estudo demonstra que a eficiência de uso do adubo nitrogenado foi influenciada pela densidade de plantas de gliricídia e pela posição de plantio em relação à árvore. Comparada a 667 plantas de gliricídia ha⁻¹, a densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ proporcionou maior eficiência de uso do nitrogênio do fertilizante mineral pelo milho, pela forrageira e pelo sistema agrossilvicultural como um todo. O sistema agrossilvicultural apresentou elevada eficiência de utilização do N mineral, alcançando valor de 89% na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹. A proximidade do milho à gliricídia gerou efeito competitivo, reduzindo a eficiência de recuperação do N mineral pelo milho nas posições adjacentes à leguminosa. Contrariando diversos estudos sobre eficiência de uso de N pelo milho em monocultivo, no sistema integrado, a maior fonte de N para o milho foi o fertilizante mineral, demonstrando que este sistema tem alta capacidade de fornecimento de N oriundo do fertilizante mineral para o milho, reduzindo as perdas desse nutriente. O conteúdo de N derivado do solo na forrageira *Panicum maximum* cv. Massai foi influenciado pela densidade de plantas de gliricídia, sendo o maior fornecimento de N na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹. O maior retorno de N derivado do fertilizante mineral na palha de milho e brotações de forrageira foi obtido na linha adjacente à árvore na densidade de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹. O conteúdo de NDIS, na posição central da parcela, não foi afetado pela densidade de plantas, demonstrando pouca ou nenhuma influência da densidade de plantas de gliricídia no conteúdo de NDIS nessa posição. A produtividade de grãos não diferiu entre as densidades de plantas, mas de maneira geral houve uma redução da produtividade na posição adjacente à gliricídia. A produção de palha repetiu o comportamento da produção de grãos, e não houve diferenças entre as densidades de plantas de gliricídia e do efeito de proximidade, mas de maneira geral a produção de palha na posição adjacente à gliricídia foi menor em todas as densidades de plantas estudadas. A produtividade média da forrageira Massai não se diferenciou nas densidades de plantas e sob o efeito de proximidade. Apesar disso houve maior equilíbrio de produção de biomassa de parte aérea nas duas posições estudadas, em comparação a produção de grãos e palha de milho. Portanto, a densidade de plantio de 1000 plantas de gliricídia ha⁻¹ é recomendada para que se obtenha alta eficiência de uso do N mineral e produtividade dos componentes produtivos consorciados (milho e forrageira).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akinnifesi, F. K., Kang, B. T., Sanginga, N., & Tijani-Eniola, H. (1996). Nitrogen use efficiency and N-competition between *Leucaena* hedgerows and maize in an alley cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 47(1), 71-80.
- Akinnifesi, F. K., Makumba, W., & Kwesiga, F. R. (2006). Sustainable maize production using gliricidia/maize intercropping in southern Malawi. *Experimental Agriculture*, 42(4), 441-457.
- Akinnifesi, F. K., Makumba, W., Sileshi, G., Ajayi, O. C., & Mweta, D. (2007). Synergistic effect of inorganic N and P fertilizers and organic inputs from *Gliricidia sepium* on productivity of intercropped maize in Southern Malawi. *Plant and Soil*, 294(1-2), 203-217.
- Alves, B. J. R., Zotarelli, L., Jantalia, C. P., Boddey, R. M., & Urquiaga, S. (2005). Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. *Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, Embrapa-SCT*, 343-350.
- Apolinário, V. X. D. O., Dubeux, J. C. B., Lira, M. D. A., Sampaio, E. V., de Amorim, S. O., & Muir, J. P. (2016). Arboreal legume litter nutrient contribution to a tropical silvopasture. *Agronomy Journal*, 108(6), 2478-2484. (a)
- Apolinário, V. X., Dubeux, J. C., Lira, M. A., Ferreira, R. L., Mello, A. C., Coelho, D. L., ... & Sampaio, E. V. (2016). Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral system. *Crop Science*, 56(3), 1356-1363. (b)
- Balbino, L. C., Barcellos, A. de O., & Stone, L. F. *Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta*. Brasília: Embrapa, 2011. 130p.
- Barreto, A. C., Chaer, G. M., & Fernandes, M. F. (2012). Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 120, 112-120.
- Beedy, T. L., Snapp, S. S., Akinnifesi, F. K., & Sileshi, G. W. (2010). Impact of *Gliricidia sepium* intercropping on soil organic matter fractions in a maize-based cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(3-4), 139-146.
- Bertalot, M. J., Guerrini, I. A., Mendoza, E., & Pinto, M. S. (2014). Productivity, leaf nutrient content and soil carbon stocked in agroforestry and traditional management of maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 5(06), 884.
- Cantarella, H. Nitrogênio. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 375-470.
- Carvalho, A. M. de, de Oliveira, W. R. D., Ramos, M. L. G., Coser, T. R., de Oliveira, A. D., Pulrolnik, K., & Marchão, R. L. (2017). Soil N₂O fluxes in integrated production systems, continuous pasture and Cerrado. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108(1), 69-83.

- Carvalho, P. C. D. F., Moraes, A. D., Pontes, L. D. S., Anghinoni, I., Sulc, R. M., & Batello, C. (2014). Definitions and terminologies for integrated crop-livestock system. *Revista Ciência Agronômica*, 45(5SPE), 1040-1046.
- Chalk, P. M., Peoples, M. B., McNeill, A. M., Boddey, R. M., Unkovich, M. J., Gardener, M. J., & Chen, D. (2014). Methodologies for estimating nitrogen transfer between legumes and companion species in agro-ecosystems: a review of ^{15}N -enriched techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 73, 10-21.
- Chintu, R., & Zaharah, A. R. (2003). Nitrogen uptake of maize (*Zea mays*. L) from isotope-labeled biomass of *Paraserianthes falcataria* grown under controlled conditions. *Agroforestry systems*, 57(2), 101-107.
- Chirwa, P. W., Black, C. R., Ong, C. K., & Maghembe, J. (2006). Nitrogen dynamics in cropping systems in southern Malawi containing *Gliricidia sepium*, pigeonpea and maize. *Agroforestry Systems*, 67(1), 93-106.
- Chirwa, P. W., Black, C. R., Ong, C. K., & Maghembe, J. A. (2003). Tree and crop productivity in gliricidia/maize/pigeonpea cropping systems in southern Malawi. *Agroforestry Systems*, 59(3), 265-277.
- Chirwa, P. W., Ong, C. K., Maghembe, J., & Black, C. R. (2007). Soil water dynamics in cropping systems containing *Gliricidia sepium*, pigeonpea and maize in southern Malawi. *Agroforestry Systems*, 69(1), 29-43.
- Coser, T. R., Figueiredo, C. C. de, Jovanovic, B., Moreira, T. N., Leite, G. G., Cabral Filho, S. L. S., ... & Marchão, R. L. (2018). Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. *Agricultural Systems*, 184-195.
- Coser, T. R., Ramos, M. L. G., Figueiredo, C. C. de, Carvalho, A. M., Cavalcante, E., Moreira, M. K. D. R., & Oliveira, S. A. (2016). Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1660-1667. (b)
- Coser, T. R., Ramos, M. L. G., Figueiredo, C. C. de, Urquiaga, S., Carvalho, A. M., Barros, F. V., & Mendonça, M. T. (2016). Nitrogen uptake efficiency of maize in monoculture and intercropped with *Brachiaria humidicola* and *Panicum maximum* in a dystrophic Red-Yellow Latosol of the Brazilian Cerrado. *Crop and Pasture Science*, 67(1), 47-54. (a)
- Costa, M. P., Schoeneboom, J. C., Oliveira, S. A., Viñas, R. S., & de Medeiros, G. A. (2018). A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1460-1471.
- Couto-Vázquez, A., & González-Prieto, S. J. (2016). Fate of ^{15}N -fertilizers in the soil-plant system of a forage rotation under conservation and plough tillage. *Soil and Tillage Research*, 161, 10-18.

Dangal, S. R., Tian, H., Zhang, B., Pan, S., Lu, C., & Yang, J. (2017). Methane emission from global livestock sector during 1890–2014: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns. *Global Change Biology*, 23(10), 4147-4161.

Diouf, A., Ndiaye, M., Fall-Ndiaye, M. A., & Diop, T. A. (2017). Maize crop N uptake from organic material of *Gliricidia sepium* coinoculated with rhizobium and arbuscular mycorrhizal fungus in sub-saharian Africa sandy soil. *American Journal of Plant Sciences*, 8(03), 428-440.

Drumond, M. A., & de Carvalho Filho, O. M. (1999). Introdução e avaliação da *Gliricidia sepium* na região semi-árida do Nordeste Brasileiro. In: Queiroz, M. A. de; Goedert, P.; Ramos, S. R. (Ed.). *Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.

Embrapa, 2013. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa < <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/sobre-o-tema> > Acesso em 2 de Novembro de 2017.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2017). How to feed the World in 2050 (FAO, Rome). http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. Acesso em 16 de Novembro de 2017.

Figueiredo, C. C. de, Resck, D. V. S., Gomes, A. C., & Urquiaga, S. (2005). Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(3), 279-287.

Garrido, M. da S., Menezes, R. S. C., Sampaio, E. V. D. S. B., Marques, T. R. R., & Olszewski, N. (2017). Accumulation and apparent recovery of N, P and K after the incorporation of *Gliricidia* and manure in intercropping during the cultivation of corn-cowpea-cotton. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 107(2), 187-196.

Gianello, C., & Bremner, J. M. (1986). Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17(2), 215-236.

Haggar, J. P., & Beer, J. W. (1993). Effect on maize growth of the interaction between increased nitrogen availability and competition with trees in alley cropping. *Agroforestry systems*, 21(3), 239-249.

Haggar, J. P., Tanner, E. V. J., Beer, J. W., & Kass, D. C. L. (1993). Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(10), 1363-1378.

Ikerra, S. T., Maghembe, J. A., Smithson, P. C., & Buresh, R. J. (1999). Soil nitrogen dynamics and relationships with maize yields in a gliricidia-maize intercrop in Malawi. *Plant and soil*, 211(2), 155-164.

- Jalonen, R., Nygren, P., & Sierra, J. (2009). Transfer of nitrogen from a tropical legume tree to an associated fodder grass via root exudation and common mycelial networks. *Plant, cell & environment*, 32(10), 1366-1376.
- Karim, A. B., & Savill, P. S. (1991). Effect of spacing on growth and biomass production of *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp in an alley cropping system in Sierra Leone. *Agroforestry Systems*, 16(3), 213-222.
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P. C., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8.
- Macleán, R. H., Litsinger, J. A., Moody, K., & Watson, A. K. (1992). The impact of alley cropping *Gliricidia sepium* and *Cassia spectabilis* on upland rice and maize production. *Agroforestry Systems*, 20(3), 213-228.
- Makumba, W., Akinnifesi, F. K., & Janssen, B. H. (2009). Spatial rooting patterns of gliricidia, pigeon pea and maize intercrops and effect on profile soil N and P distribution in southern Malawi. *African Journal of Agricultural Research*, 4(4), 278-288.
- Makumba, W., Janssen, B., Oenema, O., & Akinnifesi, F. K. (2006). Influence of time of application on the performance of gliricidia prunings as a source of N for maize. *Experimental agriculture*, 42(1), 51-63. (b)
- Makumba, W., Janssen, B., Oenema, O., Akinnifesi, F. K., Mweta, D., & Kwesiga, F. (2006). The long-term effects of a gliricidia–maize intercropping system in Southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties. *Agriculture, ecosystems & environment*, 116(1-2), 85-92. (a)
- Marin, A. M. P., Menezes, R. S. C., & Salcedo, I. H. (2007). Productivity of maize intercropped or not with *Gliricidia* amended with two organic fertilizers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(5), 669-677.
- Marin, A. M. P., Menezes, R. S. C., Silva, E. D., & Sampaio, E. V. D. S. B. (2006). Effects of *Gliricidia sepium* on soil nutrients, microclimate and maize yield in an agroforestry system in semi-arid Paraíba, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(3), 555-564.
- Martins, J. C. R., Freitas, A. D. S. D., Menezes, R. S. C., & Sampaio, E. V. D. S. B. (2015). Nitrogen symbiotically fixed by cowpea and *Gliricidia* in traditional and agroforestry systems under semiarid conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(2), 178-184.
- Martins, M. R., Jantalia, C. P., Reis, V. M., Döwich, I., Polidoro, J. C., Alves, B. J. R., & Urquiaga, S. (2018). Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-¹⁵N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant and Soil*, 422(1-2), 239-250.
- Medinilla-Salinas, L., de la Cruz Vargas-Mendoza, M., López-Ortiz, S., Ávila-Reséndiz, C., Campbell, W. B., & del Carmen Gutiérrez-Castorena, M. (2013). Growth, productivity and quality of *Megathyrus maximus* under cover from *Gliricidia sepium*. *Agroforestry systems*, 87(4), 891-899.

Ministério do Meio Ambiente – MMA <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em 10 de Janeiro de 2018.

Oliveira, W. R. D. D., Ramos, M. L. G., Carvalho, A. M., Coser, T. R., Silva, A. M. M., Lacerda, M. M., & Pulrolnik, K. (2016). Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1501-1510.

Pachas, A. N. A., Shelton, H. M., Lambrides, C. J., Dalzell, S. A., & Murtagh, G. J. (2018). Effect of tree density on competition between *Leucaena leucocephala* and *Chloris gayana* using a Nelder Wheel trial. I. Aboveground interactions. *Crop and Pasture Science*, 69(4), 419-429.

Partey, S. T., Zougmore, R. B., Thevathasan, N. V., & Preziosi, R. F. (2017). N availability, soil microbial biomass and β -glucosidase activity as influenced by the decomposition of nine plant residues during soil fertility improvement in Ghana. *Pedosphere*, 1002-0160 (17) 604338, 1-23.

Poffenbarger, H. J., Sawyer, J. E., Barker, D. W., Olk, D. C., Six, J., & Castellano, M. J. (2018). Legacy effects of long-term nitrogen fertilizer application on the fate of nitrogen fertilizer inputs in continuous maize. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265, 544-555.

Primo, D. C., Menezes, R. S. C., Sampaio, E. V. D. S. B., da Silva Garrido, M., Júnior, J. C. B. D., & Souza, C. S. (2014). Recovery of N applied as ^{15}N -manure or ^{15}N -gliricidia biomass by maize, cotton and cowpea. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 100(2), 205-214.

Rodrigues, G., Oliveira, P. D., Novaes, R., Pereira, S., Nicodemo, M., Sena, A. D. S., ... & Wruck, F. (2017). *Avaliação de impactos ambientais de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta conforme contexto de adoção*. Embrapa Meio Ambiente.

Rowe, E. C., Van Noordwijk, M., Suprayogo, D., & Cadisch, G. (2005). Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. *Plant and Soil*, 268(1), 61-74.

Rowe, E. C., van Noordwijk, M., Suprayogo, D., Hairiah, K., Giller, K. E., & Cadisch, G. (2001). Root distributions partially explain ^{15}N uptake patterns in *Gliricidia* and *Peltophorum* hedgerow intercropping systems. *Plant and Soil*, 235(2), 167-179.

SAS (2006) 'The SAS—System for Windows. Release 9.3.' (SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA)

Schroth, G., & Zech, W. (1995). Root length dynamics in agroforestry with *Gliricidia sepium* as compared to sole cropping in the semi-deciduous rainforest zone of West Africa. *Plant and Soil*, 170(2), 297-306.

Sierra, J., & Nygren, P. (2006). Transfer of N fixed by a legume tree to the associated grass in a tropical silvopastoral system. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1893-1903.

- Siqueira, P. L., Silva, P. S., Silva, K. E., Oliveira, V. R. D., Dantas, I. M., & de Oliveira, F. H. (2014). Soil fertility beneath the crown of tree species submitted to planting densities. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(9), 914-919.
- Villanueva-López, G., Martínez-Zurimendi, P., Ramírez-Avilés, L., Casanova-Lugo, F., & Jarquín-Sánchez, A. (2014). Influence of livestock systems with live fences of *Gliricidia sepium* on several soil properties in Tabasco, Mexico. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41(2), 175-186.
- Wolz, K. J., & DeLucia, E. H. (2018). Alley cropping: Global patterns of species composition and function. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 61-68.
- Zaharah, A. R., Bah, A. R., Mwange, N. K., Kathuli, P., & Juma, P. (1999). Management of gliricidia (*Gliricidia sepium*) residues for improved sweet corn yield in an Ultisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 54(1), 31-39.
- Zhu, S., Vivanco, J. M., & Manter, D. K. (2016). Nitrogen fertilizer rate affects root exudation, the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize. *Applied Soil Ecology*, 107, 324-333.