



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

**EFICIÊNCIA DO USO DE NITROGÊNIO E PROPRIEDADES DO SOLO
EM MILHO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO
COM FORRAGEIRAS**

THAIS RODRIGUES COSER

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA/DF
OUTUBRO/2013**



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

**EFICIÊNCIA DO USO DE NITROGÊNIO E PROPRIEDADES DO SOLO
EM MILHO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO
COM FORRAGEIRAS**

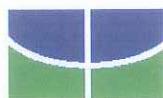
THAIS RODRIGUES COSER

**ORIENTADORA: MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS
CO-ORIENTADOR: CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO**

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 018D/2013

**BRASÍLIA/DF
OUTUBRO/2013**



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

**EFICIÊNCIA DO USO DE NITROGÊNIO E PROPRIEDADES DO SOLO
EM MILHO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO
COM FORRAGEIRAS**

THAIS RODRIGUES COSER

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA E
MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
AGRONOMIA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE SOLO, ÁGUA E QUALIDADE
AMBIENTAL.


APROVADA POR:




MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS, Ph.D. (UnB – FAV)
(ORIENTADORA) CPF: 002.094.438-12, e-mail: lucrecia@unb.br



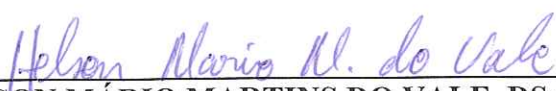
MARCELO FAGIOLI, DSc (UnB – FAV)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 729.409.306-78, e-mail: mfagioli@unb.br



ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO, DSc. (Embrapa – Cerrados)
(EXAMINADORA EXTERNA) CPF: 409.440.034-11, e-mail: arminda@cpac.embrapa.br



IÊDA DE CARVALHO MENDES, Ph.D. (Embrapa – Cerrados)
(EXAMINADORA EXTERNA) CPF: 393.403.761-53, e-mail: mendes@cpac.embrapa.br



HELSON MÁRIO MARTINS DO VALE, DSc. (UnB – IB)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 810.503.803-04, e-mail: helson@unb.br

BRASÍLIA/DF, 18 de OUTUBRO de 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

Coser, Thais Rodrigues

Eficiência do uso de nitrogênio e propriedades do solo em milho sob sistemas de monocultura e consorciado com forrageiras. / Thais Rodrigues Coser; orientação de Maria Lucrécia Gerosa Ramos e co-orientação de Cícero Célio de Figueiredo. – Brasília, 2013.

133p.: il.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2013.

1. Matéria orgânica do solo. 2. Biomassa microbiana do solo. 3. Técnica isotópica ¹⁵N. 4. Nitrogênio. 5. *Brachiaria humidicola*. 6. *Panicum maximum* cv. Aruana. 7. *Zea mays*. 8. Cerrado.

I. Ramos, M. L. G. II. Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COSER, T. R. **Eficiência do uso de nitrogênio e propriedades do solo em milho sob sistemas de monocultura e consorciado com forrageiras**. 2013. 133p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Thais Rodrigues Coser

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: **Eficiência do uso de nitrogênio e propriedades do solo em milho sob sistemas de monocultura e consorciado com forrageiras**. GRAU: Doutor. ANO: 2013.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado 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 tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Thais Rodrigues Coser

CPF: 689.113.001-87

E-mail: thacoser@gmail.com

DEDICO

Aos meus pais Lucimar e Valter, que se fizeram presentes de forma incondicional em cada momento desta conquista e de tantos outros. Pelo amor, por todo o apoio e dedicação.

OFEREÇO

À minha princesa Júlia, minha vida e maior alegria.

Ao André (Tonca), meu companheiro, meu amor, pela paciência e por todo o apoio nesta caminhada.

À toda minha família, pelo incentivo, amor, carinho e pela felicidade que sempre me proporcionam.

AGRADEÇO

À Universidade de Brasília e à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV).

À querida professora Maria Lucrecia G. Ramos pela orientação, por toda a atenção, confiança e valiosos ensinamentos.

Ao professor Cícero C. de Figueiredo, pela co-orientação, sugestões pontuais e precisas e por todo o apoio.

Aos queridíssimos estagiários Filipe Barros, Maria Thereza Mendonça, Patrícia de Araújo, Kildery Reis, Djane dos Santos, Eduardo Cavalcante, Marcelo Capbodevilla, Erick Sabino, Juliano Escobar e Jéssica Braz pela ajuda indispensável, pela disposição e pelos momentos de descontração.

À pesquisadora Arminda Carvalho pelo incentivo e confiança, e pela oportunidade de desenvolver trabalho na área de emissão de gases na Embrapa Cerrados.

Aos professores Marcelo Fagioli e Sebastião Oliveira por toda a ajuda e apoio durante a realização desse trabalho.

Aos técnicos de laboratório da UnB, Neto, Ricardo, Márcio, Glauber, Luís, Allan pela disposição e ajuda em todo o processo de análise laboratorial.

A todos os funcionários da Fazenda Água Limpa (FAL), pela ajuda.

Aos funcionários da Embrapa Cerrados, em especial ao Luciano Pinheiro e ao Francisco Bastos pela ajuda.

A todos os professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB pelos conhecimentos adquiridos.

Aos pesquisadores Segundo Urquiaga e Bruno Alves pelo apoio e sugestões.

Aos colegas e amigos da UnB, Hermes, Marina, Lídia, Willian, Adjaci, Márcia, Joilson, Manuel, Leandro, Juliana.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.2. HIPÓTESES	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. O Cerrado e os sistemas de manejo do solo	4
2.2. Nitrogênio no sistema solo-planta.....	8
2.3. A técnica do isótopo ¹⁵ N e a eficiência de recuperação de nitrogênio do fertilizante pelo milho	11
2.4. Indicadores microbiológicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de consórcio com milho.....	16
2.5. REFERÊNCIAS.....	19
3. CAPÍTULO 1. EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO PELO MILHO EM SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO COM <i>B. HUMIDICOLA</i> E <i>P. MAXIMUM</i> CV. ARUANA SOB SOLO DE CERRADO	34
RESUMO	35
ABSTRACT	36
3.1. INTRODUÇÃO	37
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.2.1. Localização e caracterização da área experimental.....	40
3.2.2. Condução dos sistemas de manejo avaliados e caracterização das culturas.....	42
3.2.3. Época e modo de aplicação de ¹⁵ N.....	44
3.2.4. Amostragem do milho e das forrageiras para determinação da composição isotópica ¹⁵ N.....	45
3.2.5. Nitrogênio derivado do fertilizante e do solo e a eficiência de recuperação de nitrogênio do fertilizante	46
3.2.6. Época e profundidade de amostragem do solo	46
3.2.7. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo.....	47
3.2.8. Nitrogênio disponível do solo.....	48
3.2.9. Matéria seca do milho e das forrageiras e produtividade e variáveis agronômicas do milho	49
3.2.10. Taxa de decomposição e composição química dos resíduos do milho e das forrageiras.....	49
3.2.11. Análises estatísticas.....	52
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
3.3.1. Eficiência de recuperação do nitrogênio do fertilizante	52
3.3.2. Nitrogênio derivado do solo e nitrogênio total acumulado no milho.....	55
3.3.3. Nitrogênio da biomassa microbiana e nitrogênio disponível no solo	59
3.3.4. Matéria seca do milho e das forrageiras, produtividade e variáveis agronômicas do milho	60
3.3.5. Taxa de decomposição e composição química dos resíduos do milho e das forrageiras	62
3.4. CONCLUSÕES	64
3.5. REFERÊNCIAS.....	64

4. CAPÍTULO 2. BIOMASSA MICROBIANA, NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO DE MILHO E FORRAGEIRAS NO CERRADO	73
RESUMO	74
ABSTRACT	75
4.1. INTRODUÇÃO	76
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	79
4.2.1. Localização e caracterização da área experimental.....	79
4.2.2. Condução dos sistemas de manejo avaliados e caracterização das culturas.....	80
4.2.3. Épocas e profundidades de amostragem do solo	82
4.2.4. Carbono orgânico total e nitrogênio total	83
4.2.5. Nitrogênio disponível no solo.....	83
4.2.6. Avaliação da biomassa microbiana do solo.....	84
4.2.7. Nitrogênio da biomassa microbiana.....	84
4.2.8. Carbono da biomassa microbiana	85
4.2.9. Respiração basal.....	86
4.2.10. Análises estatísticas	86
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	87
4.3.1. Valor F e análise de variância	87
4.3.2. Carbono orgânico total e nitrogênio total	88
4.3.3. Nitrogênio disponível do solo.....	90
4.3.4. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo e relação nitrogênio da biomassa microbiana:nitrogênio total	92
4.3.5. Carbono da biomassa microbiana do solo e relação carbono da biomassa microbiana:carbono orgânico total	95
4.3.6. Respiração basal.....	99
4.3.7. Correlações entre as variáveis.....	100
4.4. CONCLUSÕES	101
4.5. REFERÊNCIAS	102
ANEXOS.....	112
ANEXO A. Histórico de adubação do solo e de semeadura das forrageiras	113
ANEXO B. Ilustração da forma de amostragem do solo nas parcelas experimentais.....	114
ANEXO C. Procedimento sequencial para determinação de hemicelulose, celulose e lignina.....	115
ANEXO D. Análise de variância para eficiência de recuperação do N do fertilizante no grão (ERNFG) e na palhada (ERNFP) do milho, N derivado do fertilizante nitrogenado no grão (NDFMG) e na palhada (NDFMP) do milho	116
ANEXO E. Análise de variância para N derivado do solo no grão (NDSG) e na palhada (NDSP), N total acumulado no grão (NTOTALG), na palhada (NTOTALP) e na planta inteira (NTOTAL) do milho.....	117
ANEXO F. Análise de variância para N da biomassa microbiana (NBMS) e N disponível do solo na profundidade de 0-5 cm.....	118
ANEXO G. Análise de variância para produtividade, matéria seca do milho (MSM), índice de colheita (IC) e coeficiente de utilização biológica de N (CUB) do milho	119
ANEXO H. Análise de variância para hemicelulose, celulose, lignina e relação C/N do milho e das forrageiras <i>P. maximum</i> cv. Aruana e <i>B. humidicola</i>	120

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 1. EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO PELO MILHO EM SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO COM *B. HUMIDICOLA* E *P. MAXIMUM* CV. ARUANA SOB SOLO DE CERRADO

- Tabela 1.** Caracterização química e física do solo da área experimental antes da instalação do experimento em 200741
- Tabela 2.** Eficiência de recuperação do nitrogênio do fertilizante (ERNF) e nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM) em grãos e palhada de milho em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*..52
- Tabela 3.** Nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM), nitrogênio derivado do solo (NDS) e a eficiência de recuperação do fertilizante mineral (ERNF) na parte aérea das forrageiras *Panicum maximum* cv. Aruana e *Brachiaria humidicola* em consórcio com milho em sistema plantio direto.....54
- Tabela 4.** Nitrogênio derivado do solo (NDS) e nitrogênio total acumulado (NTOTAL) em grãos e palhada de milho em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*.....55
- Tabela 5.** Nitrogênio da biomassa microbiana do solo - NBMS e N disponível em solo submetido a três sistemas de manejo e avaliado na profundidade de 0-5 cm, antes da semeadura do milho.....59
- Tabela 6.** Nitrogênio da biomassa microbiana do solo - NBMS e N disponível em solo submetido a três sistemas de manejo e avaliado na profundidade de 0-5 cm, antes da semeadura do milho.....59
- Tabela 6.** Produtividade, produção de matéria seca do milho (MS milho), produção de matéria seca das forrageiras (MS forrageiras) índice de colheita (IC) e coeficiente de utilização biológica de N (CUB) pelo milho cultivado sob sistemas em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*..61
- Tabela 7.** Constante k, meia vida e tempo de reciclagem das espécies milho, milho + *P. maximum* cv. Aruana e milho + *B. humidicola*.....63
- Tabela 8.** Teores médios de hemicelulose, celulose e lignina e relação C/N em milho, *Panicum maximum* cv. Aruana e *Brachiaria humidicola*.....63

CAPÍTULO 2. BIOMASSA MICROBIANA, NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO DE MILHO E FORRAGEIRAS NO CERRADO

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental antes da instalação do experimento em 2007 **80**

Tabela 2 . Valor F e a significância da análise de variância dos efeitos dos fatores (M = manejo e E = época) e de suas interações (M x E) no C orgânico (C_{OT}), N total (N_T), N disponível (N_D), N da biomassa microbiana (N_{BM}), relação N_{BM} e N_T (q_{MIN}), C da biomassa microbiana (C_{BM}), respiração basal (RB), relação C_{BM} e C_{OT} (q_{MIC}) em solo cultivado sob sistemas de monocultura e consorciado de milho e forrageiras nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho)..... **87**

Tabela 3. Carbono orgânico total (C_{OT}) e nitrogênio total (N_T) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e de forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* nas profundidade de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho) ... **88**

Tabela 4. Nitrogênio disponível (N_D) e relação N_D/N_T em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e de forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho) ... **91**

Tabela 5. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BM}) e quociente microbiano de N (q_{MIN}) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio *Brachiaria humidicola* na profundidade de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, e em duas épocas (antes da semadura e logo após a colheita do milho)..... **93**

Tabela 6. Carbono da biomassa microbiana (C_{BM} - mg kg⁻¹ solo), respiração basal (RB - mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹), e quociente microbiano de C (q_{MIC} - %) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* ⁽¹⁾ nas profundidade de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho) **96**

Tabela 7. Coeficiente de correlação linear de Pearson entre N da biomassa microbiana do solo (N_{BM}), N total (N_T), relação N_{BM} e N_T (q_{MIN}), N disponível (N_D), C da biomassa microbiana (C_{BM}), respiração basal (RB), C orgânico (C_{OT}) e relação C_{BM} e C_{OT} (q_{MIC}) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e de forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho)..... **100**

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO PELO MILHO EM SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO COM *B. HUMIDICOLA* E *P. MAXIMUM* CV. ARUANA NO CERRADO

Figura 1. Distribuição da precipitação pluvial e temperatura média do ar mensal entre os meses de julho/2010 a junho/201141

Figura 2. Localização das microparcels dentro da parcela experimental44

Figura 3. Recuperação pela planta de milho (grãos + palhada) e pela parte aérea de forrageiras do nitrogênio aplicado na forma de sulfato de amônio em três sistemas de produção de milho: em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*54

Figura 4. Nitrogênio acumulado na palhada do milho e nas partes aéreas de forrageiras representando a quantidade de N que retornou ao solo em três sistemas de produção de milho: em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*.....57

CAPÍTULO 2. BIOMASSA MICROBIANA, NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO DE MILHO E FORRAGEIRAS NO CERRADO

Figura 1. Distribuição da precipitação pluvial e temperatura média do ar mensal entre os meses de julho/2010 a junho/201179

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi quantificar a eficiência de recuperação do fertilizante nitrogenado (ERNF) pelo milho, o nitrogênio (N_T) e o carbono orgânico total do solo (C_{OT}), a biomassa microbiana (BMS), o nitrogênio disponível do solo (N_D) e suas relações em diferentes manejos sob plantio direto no Cerrado. Os sistemas de manejo foram: milho em monocultura; milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Aruana; milho consorciado com *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cv. Aruana em monocultura; e *Brachiaria humidicola* em monocultura. O experimento foi conduzido durante a safra de 2010/2011 em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no Cerrado, sob um delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. Para quantificar a ERNF pelo milho utilizou-se o fertilizante sulfato de amônio marcado com ^{15}N na dose de 100 kg N ha^{-1} . A ERNF pelo milho (grãos + palhada) e a sua produtividade não foram afetadas pela presença das forrageiras em consórcio. As forrageiras *P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola* em consórcio recuperaram entre 2,08 a 3,71% do N-fertilizante aplicado. O nitrogênio derivado do solo foi a principal fonte desse nutriente para as plantas. Os sistemas consorciados de milho aumentaram a disponibilidade de nitrogênio para a planta, mas não alteraram os teores de C_{OT} e N_T do solo em relação ao milho cultivado em monocultura. A presença da forrageira *P. maximum* no cultivo do milho aumentou os teores de nitrogênio da BMS e o quociente microbiano de N do solo em relação aos sistemas de monocultura, e aumentou também, o carbono da BMS em relação ao milho consorciado com *B. humidicola* na camada superficial do solo.

Palavras chave: ^{15}N , plantio direto, Latossolo, nitrogênio disponível no solo, biomassa microbiana, *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cv. Aruana, *Zea mays*.

NITROGEN UPTAKE EFFICIENCY BY MAIZE AND SOIL PROPERTIES UNDER MONOCULTURE AND INTERCROPPING SYSTEMS WITH FORAGES

ABSTRACT

The objective of this work was to quantify the nitrogen (N) fertilizer uptake efficiency in maize, soil N and total organic carbon (C), microbial biomass, the available nitrogen and their correlations in various management systems in the Cerrado region. The experiment was established in a complete randomized block design with three replicates and with the following treatments: maize grown as monoculture; maize intercropped with *Panicum maximum* cv. Aruana; maize intercropped with *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cv. Aruana grown as monoculture; and *Brachiaria humidicola* grown as monoculture. The experiment was conducted throughout the 2010/2011 season, in a Dystrophic Red-Yellow Latosol (Typic Haplustox) under no-tillage system. The fertilizer uptake efficiency in maize was quantified using the ^{15}N isotope technique and ammonium sulphate at a rate of 100 kg N ha⁻¹. The nitrogen fertilizer uptake efficiency in maize and the grain yield were not affected by the presence of the intercropped forages. The tropical forages *P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola* recovered between 2,08 and 3,71% of the N-fertilizer applied. The soil was the main nitrogen source for the plants. The intercropped systems increased available nitrogen in the soil, but did not alter the total soil nitrogen and carbon in comparison to maize in monoculture. The use of *P. maximum* with maize increased nitrogen microbial biomass and microbial quotient in comparison to the monocultured systems, and also increased carbon microbial biomass in comparison to Maize/*B. humidicola* in the 0-5 cm layer of the soil.

Key words: ^{15}N , no-tillage system, Oxisol, available soil nitrogen, microbial biomass, *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cv. Aruana, *Zea mays*.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A região de Cerrado ocupa cerca de 204 milhões de hectares (MMA, 2011), representando 30% da biodiversidade nacional e importantes áreas de recarga hídrica, que contribuem para grande parte das bacias hidrográficas brasileiras (LIMA; SILVA, 2005; MMA, 2011). Entretanto, apenas 48% das áreas do Cerrado permanecem inalteradas, sendo que as pastagens cultivadas (26,5%) e as culturas agrícolas (10,6%) são as classes predominantes de uso da terra (MMA, 2011). O manejo inadequado das pastagens, as práticas de monocultura e o revolvimento do solo são os principais problemas da degradação nessas áreas de uso do Cerrado (AIDAR, KLUTHCOUSKI, 2003; MACEDO et al., 2009).

O sistema plantio direto desenvolvido com práticas consorciadas de culturas graníferas e forrageiras tropicais representa uma alternativa para mudança dos manejos de uso da terra. Os sistemas consorciados representam excelente estratégia para aumentar a sustentabilidade do plantio direto. Além disso, incentivam a produção de forragem para a entressafra e a produção de grãos (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003) e podem promover a recuperação eficiente de pastagens degradadas e da fertilidade do solo, propiciando melhor qualidade da produção e do meio ambiente, e aumento da competitividade dos sistemas de produção.

Em geral, o nitrogênio (N) é o nutriente que mais limita a produção e o desenvolvimento das plantas. A sua complexa dinâmica no solo, associada à sua baixa recuperação pelas culturas na forma de fertilizantes, pode diminuir a produtividade da cultura e causar danos ambientais, como a emissão de óxido nitroso para a atmosfera e a lixiviação de nitrato para o lençol freático (AMADO et al., 2002). Com a implantação de sistemas consorciados, a dinâmica de absorção pela cultura anual pode ser alterada em função da presença das gramíneas forrageiras. Além disso, o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo pode proporcionar aumento do teor de matéria orgânica e assim alterar as

propriedades químicas e biológicas do solo, destacando-se os teores de carbono e nitrogênio total e os de biomassa microbiana do solo.

A cultura do milho destaca-se como granífera cultivada no Cerrado e seu rendimento médio é superior àquele observado para o restante do Brasil. Cerca de 44% da produção nacional da cultura de milho na safra de 2012/2013 proveio da região do Cerrado (CONAB, 2013). Diversos trabalhos mostram que a eficiência de recuperação de nitrogênio aplicado na forma de fertilizante (ERNF) pelo milho raramente ultrapassa os 50% (LARA CABEZAS et al., 2000; SCIVITTARO et al., 2003; FIGUEIREDO et al., 2005; GAVA et al., 2006; SILVA et al., 2006; ALMEIDA, 2008; DUETE et al., 2008; DUETE et al., 2009; FERNANDES; LIBARDI, 2012). Entretanto, sob plantio direto e cultivo mínimo, a cultura do milho tem se mostrado mais eficiente em recuperar o N-fertilizante do solo, e apresenta maiores teores de N total, e N derivado do solo (NDS) nos grãos. Ainda são poucas as pesquisas no Cerrado que avaliam a interferência da consorciação de espécies forrageiras com a cultura do milho quanto à ERNF.

1.1. OBJETIVOS

- Quantificar a eficiência de recuperação de fertilizante nitrogenado pelo milho sob sistemas de monocultura e consorciado com forrageiras no Cerrado utilizando-se a técnica isotópica ^{15}N ;
- Avaliar o efeito de sistemas de cultivo de milho e de forrageiras no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, na atividade microbiana do solo, no carbono orgânico, no nitrogênio total e na disponibilidade de nitrogênio no solo.

1.2. HIPÓTESES

- A absorção de nitrogênio pelo milho derivado de fertilizantes e do solo é diferenciada sob sistemas de consórcio milho-forrageiras em relação aos sistemas de monocultura de milho no Cerrado;
- Sistemas de cultivo de milho e de forrageiras promovem alterações dos indicadores microbiológicos e químicos de qualidade do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Cerrado e os sistemas de manejo do solo

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil e ocupa cerca de 204 milhões de hectares (MMA, 2011), distribuídos, principalmente, pelo Planalto Central Brasileiro, abrangendo como área contínua os Estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, parte de Minas Gerais, Bahia, Distrito Federal, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, entre outros. Assim, representa 70 sistemas de terra, pertencentes a 25 unidades geográficas em função de determinantes físicos como o solo, relevo e topografia (COCHRANE et al., 1985). Sistemas de terras é uma área, ou grupo de áreas, no qual existe um padrão recorrente de clima, paisagem e solos (FELFILI; SILVA JÚNIOR, 2005). As altitudes do Bioma podem variar de 300 m (Baixada Cuiabana, MT) a mais de 1600 m na Chapada dos Veadeiros (GO) (RIBEIRO; WALTER, 1998). O clima do Cerrado é classificado conforme Köppen como Aw (clima tropical úmido), com inverno seco de abril a setembro e verão chuvoso e quente entre outubro e março. A precipitação anual varia de 900 a 1800 mm e as temperaturas entre 22 a 27 graus Celsius. Também chamado de savana brasileira, o Cerrado é considerado como a savana mais diversificada do mundo possuindo cerca de 30% da biodiversidade nacional e 5% da flora e fauna mundiais, além de conter importantes áreas de recarga hídrica, que contribuem para grande parte das bacias hidrográficas brasileiras – Amazonas, Tocantins, Paraná, Paraguai, São Francisco e Parnaíba (LIMA; SILVA, 2005).

A mudança da capital do Brasil para o centro do país, no Planalto Central, conjugada com políticas agrícolas e com a inovação tecnológica alavancou o desenvolvimento agropecuário no Centro-Oeste, principalmente voltado para a produção de grãos, como o milho e a soja. Atualmente, apenas 48% das áreas do Cerrado permanecem inalteradas,

incluindo-se áreas com vegetação em regeneração e pastagens nativas, sendo que as pastagens cultivadas (26,5%) e as culturas agrícolas (10,6%) são as classes predominantes (MMA, 2011). Entretanto, o manejo inadequado das pastagens, as práticas de monocultura e o revolvimento do solo são os principais problemas da degradação nessas áreas (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2003; MACEDO et al., 2009). A preocupação com a degradação dos recursos naturais, como a água e o solo e as perspectivas catastróficas fazem com que a comunidade científica busque sistemas de manejo inovadores para otimização da produção de culturas, resguardando a biodiversidade e os recursos naturais, como a água e o solo, para gerações futuras (LAL; PIERCE, 1991; RESCK et al., 2008; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Assim, a adoção de técnicas de manejo para a melhoria e conservação do solo e da água na região do Cerrado é essencial para uma agricultura mais sustentável.

Nessa região predominam os Latossolos, que compreendem aproximadamente 46% dos solos do Cerrado, seguidos dos Neossolos Quartzarênicos e Argissolos com uma ocorrência de aproximadamente 15% em cada classe. Os Plintossolos, Cambissolos, Nitossolos Vermelhos e Chernossolos encontram-se em aproximadamente 3%, 3,1%, 1,7% e 0,1% da região do Cerrado, respectivamente (REATTO; MARTINS, 2005). Na paisagem, os Latossolos ocupam um relevo de plano a suave ondulado e declividade menor que 7%. Estes são solos intemperizados e, portanto, bastante profundos, que possuem boas condições físicas devido ao enriquecimento por óxidos de ferro e alumínio, que dão ao solo um aspecto maciço e poroso (RESENDE et al., 2007), favorecendo a mecanização. Entretanto, sua estrutura forte, muito pequena e granular favorece a erosão e o encrostamento (RESENDE et al., 2007). A acidez, pobreza de nutrientes e sua elevada saturação de alumínio, são devidas ao seu material de origem, à intemperização dos minerais primários e à sua fração argilosa (sesquióxidos e argila do tipo 1:1), que apresenta baixa atividade (RESENDE et al., 2007). Portanto, os sistemas de manejo que visam a manutenção da matéria orgânica do solo e melhor eficiência

de utilização de fertilizantes e corretivos devem ter o uso encorajados e pesquisados para promover a melhoria ou a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (BALOTA et al., 2004a; ARAÚJO et al., 2007; HANEY et al., 2010; KARLEN et al., 2013; LOPES et al., 2013), além de maiores produtividades de culturas e pastagens, e menores impactos ambientais.

Como uma das práticas de conservação do solo, o sistema plantio direto surgiu no Brasil a partir das décadas de 60/70 no sul (principalmente, na região do Paraná) e se difundiu para a região tropical do Brasil no início dos anos 80 (BOLLINGER et al., 2006). Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto e CONAB, o sistema plantio direto, em todo Brasil, ocupou uma área de 32 milhões de hectares em 2012. Vários estudos tem demonstrado os benefícios da adoção do sistema plantio direto no incremento de carbono orgânico no solo (JANTALIA et al., 2007; KARLEN et al., 2013), na diminuição das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O (LAL, 2002; CARMO et al., 2007) e na qualidade biológica do solo (VALPASSOS et al., 2001; BALOTA et al., 2004a; CARMO et al., 2007; SILVA et al., 2010; FERREIRA et al., 2011).

O sistema plantio direto é altamente dependente da rotação e/ou consorciação de culturas para a produção e manutenção de palhada como cobertura do solo e para a ciclagem de nutrientes (MACEDO, 2009). A rotação de culturas consiste na alternância anual de espécies vegetais numa mesma área agrícola (CARVALHO, 2008). Os sistemas consorciados referem-se ao cultivo de diferentes espécies vegetais no mesmo espaço e ao mesmo tempo. Porém, estas espécies não precisam ser semeadas ou colhidas na mesma época, mas devem crescer simultaneamente por um bom tempo (ANIL et al., 1998; LITHOURGIDIS et al., 2011). Portanto, essas práticas surgem com o objetivo de aumentar a cobertura e ciclagem de nutrientes, recuperar e manter a qualidade do solo, além de interesse comercial, com a

possibilidade de utilização de forrageiras tropicais para a produção de forragem na entressafra (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003; LITHOURGIDIS et al., 2011).

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) compreende o cultivo de diferentes sistemas agropecuários produtivos na mesma área, em plantio rotacionado ou consorciado (MACEDO, 2009). A produção consorciada de culturas de grãos com forrageiras tropicais, principalmente as do gênero *Brachiaria* e *Panicum*, denominada de Sistema Santa Fé, tem demonstrado viabilidade técnica e econômica (MACEDO, 2009; COBUCCI et al., 2007; PARIZ et al., 2009). Esse sistema visa incrementar a produção de palhada (em quantidade e qualidade para o sistema plantio direto), a produção de forragem para a entressafra e a produção de grãos (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003). O consórcio é estabelecido anualmente, podendo ser implantado simultaneamente com a cultura anual ou após a emergência desta (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

O milho, que representa 44% da produção de grãos no Brasil, é cultivado em cerca de 15,8 milhões de hectares (CONAB, 2013) e é uma das principais culturas utilizadas em sistemas consorciado de ILP, em função da sua maior capacidade de competição com as gramíneas forrageiras na sua fase inicial de estabelecimento (MARTHA-JÚNIOR et al., 2011; VILELA et al., 2011). Pesquisas para amenizar o efeito da competição entre o milho e espécies forrageiras vêm sendo realizadas com o intuito de definir a melhor época para semeadura das forrageiras tropicais, o espaçamento ideal entre as linhas da cultura anual e o manejo mais adequado para o uso de herbicidas (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003; BORGHI et al., 2007; PARIZ et al., 2009; GARCIA et al., 2013;). Garcia et al. (2013) verificaram que a produtividade do milho em Latossolo Vermelho distrófico na região do Cerrado não foi afetada pela inserção das forrageiras *Panicum maximum* e *Brachiaria*, tampouco pela época de semeadura das forrageiras (semeadas no plantio ou na época de cobertura do milho). Entretanto, Pariz et al. (2009) verificaram, também na região de Cerrado e sob Latossolo, que

o *P. maximum* cv. Mombaça quando plantado simultaneamente com o milho diminui sua produtividade. Em geral, as gramíneas apresentam alta resposta à adubação nitrogenada, entretanto, observou-se ausência de competição pela absorção do fertilizante nitrogenado entre o milho e a *Brachiaria ruziziensis* em sistema consorciado (ALMEIDA, 2008; LARA CABEZAS, 2011). Lara Cabezas (2011) constatou, ainda, que o consórcio com gramíneas forrageiras pode proporcionar um aumento de 19% de matéria seca para cobertura do solo, fato importante para regiões como o Cerrado.

Apesar dos potenciais benefícios da adoção de sistemas consorciados e integração lavoura-pecuária, estes sistemas ainda são pouco explorados no Brasil. Recomenda-se que sejam realizadas mais pesquisas com espécies alternativas de forrageiras para o consórcio e com foco em suas inter-relações técnicas e seus respectivos usos para subsidiar a expansão desses sistemas no Brasil (BALBINO et al., 2011).

2.2. Nitrogênio no sistema solo-planta

O nitrogênio, nutriente mais demandado pelas plantas, encontra-se em quantidades mínimas nas suas formas minerais no solo (NH_4^+ e NO_3^-), pois cerca de 98% do nitrogênio do solo encontra-se complexado na forma orgânica e, ao contrário dos outros nutrientes, não é liberado pelo intemperismo dos minerais nos solos (SCHULTEN; SCHNITZER, 1998). Apesar do solo apresentar um valor considerável de nitrogênio complexado em formas orgânicas, este é mineralizado em pequenas quantidades (1 a 3%) durante o ciclo de cultivo de culturas (KEENEY, 1982), pois apresenta-se como parte de uma mistura heterogênea de compostos com estabilidade variável, como resíduos vegetais e animais, materiais húmicos, microbiota do solo e metabólitos microbianos (CURTIN; MCCALLUM, 2004). A mineralização do nitrogênio orgânico baseia-se na transformação de proteínas, aminoácidos e ácidos nucléicos em amônio (NH_4^+), que é uma forma mineral assimilada pelas plantas. Esta

forma mineral pode sofrer vários processos bioquímicos e ser perdida no sistema. Estas perdas decorrem da conversão do NH_4^+ em amônia (volatilização de NH_3) e nitrato (lixiviação de NO_3^-) e do conseqüente processo de desnitrificação (N_2O , N_2).

A prática de plantio direto associada a sistemas que envolvem consorciação de forrageiras e graníferas propicia o aumento do teor de matéria orgânica devido ao maior aporte de resíduos vegetais e, conseqüentemente, de nutrientes mineralizados, principalmente nas camadas superficiais do solo. Assim, o manejo do solo pode alterar o teor de nitrogênio total do solo e, como resultado, o de nitrogênio potencialmente mineralizável e aquele disponível às plantas. Aspectos importantes na evolução dos teores de nitrogênio total e potencialmente mineralizável estão relacionados aos históricos de manejo dos solos (BUSO; KLIEMANN, 2003) e o estudo de suas transformações no solo pode ser importante para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada em sistemas consorciados.

O potencial de mineralização de nitrogênio orgânico do solo pode ser determinado por meio de modelos que se baseiam em resultados obtidos pela incubação e lixiviação do solo e que estimam, matematicamente, a dinâmica do nitrogênio no solo (CAMARGO et al., 2008). O nitrogênio orgânico potencialmente mineralizável (N_0) é aquele susceptível à mineralização e que é disponibilizado sob formas de nitrogênio mineral em um determinado período de tempo. Obtendo-se o potencial de mineralização de nitrogênio do solo, por um certo período, pode-se supor que a quantidade de nitrogênio mineralizado é função do conteúdo e da taxa de mineralização das formas orgânicas nitrogenadas e há uma relação direta entre o nitrogênio mineralizado e a absorção pelas plantas (CAMARGO et al., 2008). Em estudo de correlação entre o nitrogênio mineralizado e aquele absorvido por plantas em solos do Cerrado, observou-se que houve absorção de nitrogênio pelas plantas a partir do nitrogênio mineralizado em condições de aerobiose (OLIVEIRA, 1987). Outro método biológico para a determinação do N potencialmente mineralizável é o proposto por Keeney e Bremner (1966)

em que se determina a quantidade de N-NH_4^+ mineralizado após incubação de solo por um período de sete dias sob anaerobiose.

O modelo exponencial simples mais utilizado para predição do potencial de mineralização de nitrogênio no solo é o proposto por Stanford e Smith (1972), em que o solo é incubado em condições de aerobiose por até 32 semanas para a obtenção do nitrogênio mineralizado, que é considerado como a única forma de nitrogênio potencialmente mineralizável a uma taxa proporcional à sua concentração. Além desse, outros modelos exponenciais duplos, como o proposto por Molina et al. (1980) consideram dois compartimentos no processo de mineralização - o lábil, e o não-lábil (de difícil mineralização).

Métodos químicos de extração de N disponível do solo, com o uso soluções de KCl 2 mol L^{-1} , tampão fosfato-borato, de KMnO_4 e de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$ são comparativamente relacionados com as metodologias biológicas (de aerobiose e anaerobiose) pela sua maior simplicidade e pela rapidez na obtenção dos resultados, facilitando a análise de rotina em laboratórios (OLIVEIRA, 1987; ECIOLAZA e OLIVEIRA, 1993; CAMPBELL et al., 1995; CORDOVIL et al., 2007; YAGI, 2008). Observa-se ainda, que o N disponível extraído quimicamente do solo é altamente correlacionado com o N absorvido pelas culturas de milho e trigo (OLIVEIRA, 1987, GIANELLO et al., 2000; SERRA, 2006; MENEGHIN et al., 2008; YAGI, 2008).

O método da solução fosfato borato a pH 11,2 (GIANELLO, 1985) avalia o fator capacidade de N do solo (GIANELLO et al., 2000). Estima-se que este método tem capacidade de extrair o N de aminoácidos e de açúcares aminados (TRACEY, 1952; CURTIN e CAMPBELL, 2006), além de estimar o NH_4^+ inicialmente presentes nas amostras de solo. Experimentos de extração de N disponível pela metodologia da solução tampão de fosfato-

borato a 11,2 apresentam alta correlação com o N absorvido pelas culturas (OLIVEIRA, 1987; GIANELLO et al., 2000; SERRA, 2006; MENEGHIN et al., 2008; YAGI, 2008).

Serra (2006) com o intuito de avaliar a possibilidade de extrair o NO_3^- das amostras de solo, adaptou a metodologia de Gianello (1985), adicionando a liga de Devarda durante o processo de destilação. Foi observado que a presença da liga de Devarda apresentou melhor correlação do N extraído com aquele absorvido pela cultura do milho em relação à metodologia original de Gianello (1985).

2.3. A técnica do isótopo ^{15}N e a eficiência de recuperação de nitrogênio do fertilizante pelo milho

A técnica de utilização do isótopo ^{15}N é amplamente usada em estudos que visam melhorar a eficiência da utilização de fertilizantes nitrogenados. O isótopo ^{15}N tem a capacidade de contribuir de forma eficiente para o aumento do conhecimento sobre as transformações do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera (TRIVELIN e FRANCO, 2011). Componentes marcados (com ^{15}N , ^{13}C , ^{14}C , etc.) são normalmente descritos como traçadores, os quais quando aplicados no solo podem ser monitorados ao longo do tempo de forma qualitativa e/ou quantitativa (BARRACLOUGH, 1995; HART e MYROLD, 1996; CARREIRA et al., 2010). Para tanto, assume-se na técnica de utilização de isótopos, que a composição isotópica dos traçadores é constante, que organismos vivos não podem distinguir um isótopo de um mesmo elemento de outro não marcado, e que a identidade química de isótopos são mantidas em sistemas bioquímicos (VARVEL e PETERSON, 1990).

O uso de fertilizantes nitrogenados marcados com ^{15}N baseia-se no princípio da diluição isotópica, em que íons de interesse agrícola, como por exemplo, o NO_3^- e o NH_4^+ , são marcados durante a fabricação dos fertilizantes nitrogenados (ZAPATA et al., 2000; TRIVELIN e FRANCO, 2011). O enriquecimento do fertilizante nitrogenado com ^{15}N

permite acompanhar de forma direta o destino do ^{15}N -fertilizante no sistema solo-planta, obtendo-se informações sobre a quantidade de nitrogênio da planta que proveio do fertilizante (NDFM) e do solo (NDS), além de quantificar a eficiência de recuperação do fertilizante nitrogenado (ERNF) pela planta de interesse.

Quando o fertilizante marcado de origem amoniacal ou nítrica é colocado no solo, formam-se sub-reservatórios de N no sistema: a) N inorgânico originalmente presente no solo ou aquele que, subsequentemente, será mineralizado a partir da matéria orgânica do solo e que apresentará abundância natural ou muito próxima de 0,3663% de átomos de ^{15}N e 99,6337% de átomos ^{14}N ; b) N inorgânico marcado com ^{15}N em concentração superior àquela encontrada na natureza (BARRACLOUGH, 1995). Portanto, observa-se que a planta poderá absorver ^{15}N tanto do reservatório marcado quanto do não-marcado. Assim, no cálculo do NDFM é feita a determinação da razão isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ para distinguir e separá-los, sabendo-se que esta razão será equivalente à abundância natural do ^{15}N (BARRACLOUGH, 1995). Dessa forma, como existe a abundância natural de ^{15}N passível de absorção pelas plantas, o fertilizante nitrogenado marcado, geralmente, é expresso em percentagem de átomos de ^{15}N em excesso.

Vários trabalhos tem utilizado essa técnica para diversas finalidades, como na determinação da eficiência da adubação (FIGUEIREDO et al., 2005; LARA-CABEZAS e COUTO, 2007; DUETE et al., 2008; DUETE et al., 2009; MARTHA-JÚNIOR et al., 2009; DOURADO-NETO et al., 2010; LANGE et al., 2010; LARA CABEZAS, 2011; FERNANDES e LIBARDI, 2012) e da emissão de gases de efeito estufa do solo (BERGSMAN et al., 2001; CLOUGH et al., 2006; YANG et al., 2011; MILAGRES et al., 2013). Coelho et al. (1991) ao utilizarem o isótopo estável ^{15}N em um sistema de produção de milho na região do Cerrado sob Latossolo Vermelho-Escuro, não observaram diferenças significativas nas porcentagens de nitrogênio proveniente do fertilizante entre os grãos, folha

e palha, colmo mais pendão do milho. Calvache et al. (1982) também verificaram pouca variação da percentagem de nitrogênio da planta proveniente do fertilizante nos diferentes órgãos da planta (grãos, folhas, caules, brácteas, sabugo) e em diferentes épocas de avaliação, mostrando uma mobilidade balanceada do nitrogênio dentro da planta. Esses resultados mostraram que não há necessidade de se analisar individualmente a quantidade de ^{15}N nas diferentes partes da planta, resultando em economia de tempo e custos (COELHO et al., 1991). As pequenas variações na composição isotópica do N nas diferentes partes da planta podem estar associadas à alta mobilidade e à dinâmica contínua de síntese dos compostos nitrogenados dentro da planta (HILL, 1980; URQUIAGA, 1982).

Trabalhos mostram que a eficiência média de recuperação de fertilizantes nitrogenados pela cultura do milho (ERNF), sob condições de campo, pode variar desde 6% até 82% (COELHO et al., 1992; LARA CABEZAS e COUTO, 2007; LARA CABEZAS e PÁDUA, 2007; SANTOS et al., 2010; LARA CABEZAS, 2011). Entretanto, a ENRF do milho (parte aérea) quando avaliada no final do ciclo da cultura raramente ultrapassa os 50% (LARA CABEZAS et al., 2000; SCIVITTARO et al., 2003; FIGUEIREDO et al., 2005; GAVA et al., 2006; SILVA et al., 2006; ALMEIDA, 2008; DUETE et al., 2008; DUETE et al., 2009; FERNANDES e LIBARDI, 2012). A baixa recuperação do N do fertilizante relatada nos trabalhos está relacionada às suas perdas por desnitrificação, lixiviação, por volatilização e pela sua imobilização na fração orgânica do solo e, também, pela falta de sincronização entre a disponibilidade de N no solo, a quantidade aplicada na forma de fertilizante e a absorção de N pela planta (LARA CABEZAS et al., 2000; FERNANDES et al., 2006; CHEN et al., 2008; DOURADO-NETO et al., 2010).

Várias pesquisas têm sido realizadas com o intuito de melhorar a ENRF pelo milho. Duete et al. (2008) estudaram o efeito de diversas doses e parcelamentos de N para o milho sob Latossolo Vermelho eutrófico no estado de São Paulo e definiram a dose de 135 kg N ha^{-1}

parcelada em três vezes (até o estágio de oito folhas) como a mais adequada para o melhor aproveitamento do N do fertilizante. Para o mesmo solo e região, a aplicação de N-fertilizante quando a planta de milho apresentava oito folhas expandidas mostrou-se mais eficiente na recuperação do N pelos grãos do que a aplicação na semeadura ou com quatro folhas expandidas (DUETE et al., 2009). Comparando-se a aplicação de três doses de N (60, 120 e 180 kg N ha⁻¹) em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Fernandes e Libardi (2012) observaram maior ERNF pelo milho na dose de 120 kg N ha⁻¹.

A fonte nitrogenada também pode influenciar na ERNF pelo milho, pois o sulfato de amônio em relação à uréia foi mais eficientemente absorvido pelo milho e promoveu uma maior mineralização do N orgânico em Latossolo Vermelho no Cerrado, no estado de Minas Gerais (LARA CABEZAS e COUTO, 2007). Esses autores associaram a maior ERNF à menor imobilização dessa fonte nitrogenada no solo e à presença do enxofre, que em sinergia com o N é importante para a formação protéica da planta, principalmente em solos de Cerrado. Ao contrário do sulfato de amônio, a uréia quando aplicada a um solo com pH menor do que 6,3 (maioria dos solos brasileiros), passa por hidrólise enzimática liberando N-amoniaco sujeito a perdas de N por volatilização na forma de NH₃ (CANTARELLA, 2007).

No Cerrado, sob Latossolo, sistemas de manejo com histórico de implantação de 20 anos, mostraram diferenças quanto à ERNF pelo milho. Sob plantio direto e cultivo mínimo, a cultura do milho apresentou maiores teores de N-fertilizante nos grãos, além de maiores teores de N total, e N derivado do solo (NDS) (FIGUEIREDO et al., 2005). O NDS no experimento dos autores acima citados representou 75% de todo o N absorvido pela cultura do milho. O NDS representa todo o N da planta que não é oriundo do fertilizante nitrogenado. Sabe-se que o sistema plantio direto ou de cultivo mínimo associado a práticas de consorciação de plantas de cobertura pode aumentar a matéria orgânica do solo, e com isso propiciar maiores quantidades de nutrientes às plantas, principalmente de N

(KLUTHCOUSKI e AIDAR, 2003), alterando assim a quantidade de N na planta que pode provir do solo (NDS). Estima-se, em média, que em torno de 79% de todo o N absorvido pelas plantas advêm do N encontrado no solo (DOURADO-NETO et al., 2010).

O uso de plantas de cobertura com o intuito de melhorar a eficiência do sistema plantio direto e a sustentabilidade de agroecossistemas vem aumentando, e informações sobre a dinâmica dessas espécies, em associação com culturas principais, podem refletir na dinâmica da decomposição da cobertura vegetal, nos estoques de carbono e demais nutrientes, como o nitrogênio (SODRÉ FILHO et al., 2004; CARVALHO et al., 2008). Leguminosas, como a mucuna-preta e a crotalária juncea mostram-se eficientes para melhorar a ERNF pelo milho. A presença da mucuna-preta aumenta em 9% a recuperação do N-fertilizante pelo milho em Latossolo Vermelho quando comparada com sua ausência (SCIVITTARO et al., 2003). No Cerrado, Silva et al. (2006), também observaram que o manejo de milho em sucessão à crotalária juncea sob sistema plantio direto proporciona maior produtividade de grãos e quantidade de N na planta proveniente do fertilizante nitrogenado em relação ao milheto e ao controle (vegetação espontânea). Provavelmente, isto pode ter relação com a maior quantidade de massa seca, elevada concentração de N e com a baixa relação C/N desta leguminosa (CARVALHO et al., 2008).

O cultivo de gramíneas, como a *Brachiaria*, cultivada em consórcio com o milho é importante para a produção de forragem para a entressafra e palhada para o sistema plantio direto (KLUTHCOUSKI e AIDAR, 2003). A ERNF pelo milho e a sua produtividade parecem não ser influenciadas pela presença da gramínea (LARA CABEZAS e PÁDUA, 2007; ALMEIDA, 2008). Além disso, o cultivo de gramíneas em sistemas de consórcio pode representar uma menor perda do N-fertilizante do sistema solo-planta, já que a parte aérea da *Brachiaria* pode recuperar entre 1,4 a 5% de N aplicado na forma de fertilizante (ALMEIDA et al., 2008; FERNANDES e LIBARDI, 2012).

2.4. Indicadores microbiológicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de consórcio com milho

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade deste em exercer suas funções dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, de forma a sustentar a produção de plantas e de animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde dos homens (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997). Com o intuito de avaliar mudanças nas propriedades e nos processos de solo, em função das práticas de manejo adotadas ao longo do tempo, Doran e Parkin (1994) propuseram a avaliação de atributos ou indicadores de qualidade do solo que refletissem nas propriedades químicas, físicas e biológicas do mesmo, que fossem sensíveis ao manejo e de fácil determinação. Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como efêmeros, intermediários ou permanentes (ISLAM e WEIL, 2000). Os indicadores efêmeros, como a umidade, a densidade e o pH do solo são alterados em curto espaço de tempo e com as práticas de manejo do solo, enquanto que os indicadores permanentes são aqueles inerentes ao solo, como a profundidade, a textura e a mineralogia. Os indicadores intermediários influenciam na capacidade do solo de exercer suas funções e incluem o carbono orgânico total ou a matéria orgânica do solo, a biomassa microbiana e a respiração basal. Segundo Islam e Weil (2000), os atributos intermediários representam os de maior importância para a análise da qualidade do solo. Alguns dos atributos intermediários incluem a matéria orgânica e a biomassa microbiana do solo. Latossolos altamente produtivos apresentam elevados teores de biomassa microbiana, e que em conjunto com maiores teores de matéria orgânica do solo resultam em solos com elevada qualidade (LOPES et al., 2013).

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída pelos produtos de decomposição de resíduos animais e vegetais e do metabolismo microbiano. É composta, basicamente, por elementos como o carbono, nitrogênio, enxofre, hidrogênio e oxigênio. O carbono representa

em torno de 58% da constituição da MOS. Portanto, os estudos de caracterização, dinâmica e funcionalidade da MOS baseiam-se na estimativa do carbono orgânico total do solo. A MOS tem expressiva importância como fonte de nutrientes para as plantas, na agregação e infiltração de água, no aumento da capacidade de troca de cátions, na complexação de elementos tóxicos e como fonte de energia para microrganismos heterotróficos. Assim, destaca-se como o indicador ou o atributo principal para a avaliação da qualidade do solo, pois a sua presença relaciona-se de forma positiva com a melhoria dos atributos físicos (ARAÚJO et al., 2007; HANEY et al., 2010; FERNANDES et al., 2011a; KARLEN et al., 2013), químicos (ARAÚJO et al., 2007; FERNANDES et al., 2011a; KARLEN et al., 2013) e biológicos do solo (BALOTA et al., 2004a; ARAÚJO et al., 2007; FERNANDES et al., 2011a; LOPES et al., 2013; KARLEN et al., 2013). A importância da MOS abrange, também, as discussões relacionadas com a área de sequestro de carbono no solo (BAYER et al., 2006; ZANATTA et al., 2007; CARVALHO et al., 2009; FERNANDES et al., 2011b). Práticas de manejo que favorecem a liberação de CO₂ do solo podem elevar a sua quantidade na atmosfera e, assim, afetar o ciclo global de gases de efeito estufa e o consequente processo de mudança climática.

A biomassa microbiana (BMS) representa o compartimento mais ativo e dinâmico do solo. Apesar da sua pequena participação na reserva de nutrientes do solo (1 a 5% do nitrogênio total) e de carbono (1 a 5% do carbono orgânico total) é responsável pela reserva lábil e pela ciclagem de nutrientes, além da decomposição da matéria orgânica e fluxo de energia (JENKINSON e LADD, 1981; SMITH e PAUL, 1990). A BMS mostra correlação com microrganismos de interesse agrícola, como amonificadores, nitrificadores e fixadores de nitrogênio, além também de correlacionar-se com a atividade enzimática e a matéria orgânica do solo (ANDRADE et al., 1995; BALOTA et al., 2004b; PEREIRA et al., 2007; FERNANDES et al., 2011a; LOPES et al., 2013; KARLEN et al., 2013). Além disso, é

sensível às mudanças que ocorrem no solo, sendo, portanto, uma boa indicadora de qualidade do solo (JACKSON et al., 2003). Segundo Jackson et al. (2003), perturbações no solo, a curto prazo, afetam negativamente sua qualidade, quando pode ocorrer aumento de emissões de gases do efeito estufa (N_2O , CO_2 e CH_4) ou decréscimo na imobilização de nitrogênio pela biomassa microbiana. O crescimento microbiano é limitado, muitas vezes, pela escassez de nutrientes encontrados no solo, mas a adição de fontes de carbono ou nitrogênio ao solo pode aumentar a biomassa microbiana e com isso imobilizá-lo na sua constituição celular (GRAHAM et al., 2002). Sistemas de manejo que visam a manutenção e/ou aumento da matéria orgânica e a ausência de revolvimento no solo, como o plantio direto, podem aumentar em 83% a BMS em camadas superficiais (0-5 cm), em comparação com sistemas convencionais (BALOTA et al., 2004a; PEREZ et al., 2004). Este aumento pode estar associado ao maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, que favorece temperaturas menores, armazenamento de água, maior agregação do solo e teores elevados de carbono orgânico, propiciando um ambiente mais favorável para o crescimento de microrganismos (BALOTA et al., 2004a).

A recuperação de pastagens degradadas com a implantação de um sistema de integração lavoura-pecuária (de três anos) aumenta o carbono da biomassa microbiana do solo, inclusive quando comparada a florestas nativas de Cerrado (MUNIZ et al., 2011) sob Latossolo. Em Neossolo Quartzarênico no Cerrado, Frazão et al. (2010) observaram valores equivalentes de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo em áreas nativas de Cerrado e sob pastagens cultivadas de *Brachiaria decumbens*. A abundância de raízes proporcionadas pelas espécies forrageiras, a cobertura do solo e a ausência de revolvimento do solo nesses sistemas, proporcionam condições favoráveis à microbiota do solo, aumentam o teor de carbono e conseqüentemente estimulam a biomassa microbiana do solo (CARNEIRO et al., 2008; SOUZA et al., 2008; MUNIZ et al., 2011). Assim, práticas de

manejo do solo com uso de espécies forrageiras são promissoras para melhorar a qualidade biológica do solo.

2.5. REFERÊNCIAS

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.25-58.

ALMEIDA, R. E. M. **Balço de ^{15}N em sistemas de produço de milho para a adoço do plantio direto no Oeste baiano**. 2008. 85f. Dissertaço (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; PAVAN, M. A.; BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Atividade microbiana em funço da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciênci do Solo**, Viçosa, v. 19, p.191-196, 1995.

ANIL, L.; PARK, J.; PHIPPS, R. H.; MILLER, F. A. Temperate intercropping of cereals for forage: A review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. **Grass and Forage Science**, v. 53, p.301-317, 1998.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciênci do Solo**, Viçosa, v.31, p.1099-1108, 2007.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco Referencial: integraço lavoura-pecuária-floresta (ILPF)**. Brasília: Embrapa, 2011, 130p.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, p.300-306, 2004b.

BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term and crop rotation effect on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 77, p.137-145, 2004a.

BARRACLOUGH, D. ^{15}N isotope dilution techniques to study soil nitrogen transformations and plant uptake. **Fertilizer Research**, v. 42, p.185-192, 1995.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, p.237-245, 2006.

BERGSMAN, T. T.; OSTROM, N. E.; EMMONS, M.; ROBERTSON, G. P. Measuring simultaneous fluxes from soil of N_2O and N_2 in the field using the ^{15}N -gas nonequilibrium technique. **Environmental Science and Technology**, v. 35, p.4307-4312, 2001.

BOLLINGER, A.; MAGID, J.; JORGE, T.; AMADO, C.; NETO, F. S.; RIBEIRO, M.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A review of landmark research and farmer practice. **Advances in Agronomy** v. 91, p.47-110, 2006.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.163-171, 2007.

BUSO, W. H. D.; KLIEMANN, H. J. Relações de carbono orgânico e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milheto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n.2, p. 97-105, 2003.

CALVACHE, M. U.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; VITÓRIA, R.; SILVA, J.C.A. e URQUIAGA, S. Absorção e redistribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$, por dois híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n.11, p.1547-1557, 1982.

CAMARGO, F. A. O.; SILVA, L. S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. Nitrogênio orgânico no solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.87-99.

CAMPBELL, C. A.; JAME, Y. W.; AKINREMI, O. O.; CABRERA, M. L. Adapting the potentially mineralizable N concept for the prediction of fertilizer N requirements. **Fertilizer Research**, v. 42, p.61-75, 1995.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.376-470.

CARMO, J. B.; PICCOLO, M. C.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; SOUSA NETO, E.; CERRI, C. C. Short-term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, N₂O) and microbial biomass after tillage during pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 96, p.250-259, 2007.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B.; PERREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, p.276-283, 2008.

CARREIRA, J. A.; VINEGA, B.; BLANES, M. C.; GARCIA-RUIZ, R. Stable isotopes and changing paradigms on soil nitrogen and carbon biogeochemistry. **Ecossistemas**, v. 19, n.3, p.14-23, 2010.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SILVA JUNIOR, J. G. A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.2831-2838, 2008.

CARVALHO, A. M. Plantio direto e plantas de cobertura em agroecossistemas do Cerrado. In: PARRON, L. M.; AGUIAR, L. M. S.; DUBOC, E.; CAMARGO, A. J. A.; AQUINO, F.

G. (Eds.). **Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008, 464p.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p.342-349, 2009.

CHEN D.; SUTER H.; ISLAM A.; EDIS R.; FRENEY J. R. Prospects of improving efficiency of fertilizer nitrogen in Australian agriculture; a review of enhanced efficiency fertilizers. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 289-301, 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB, v. 1, 2013. 67p.

CLOUGH, T. J; KELLIHER, F. M.; WANG, Y. P. Diffusion of ¹⁵N-labelled N₂O into soil columns: a promising method to examine the fate of N₂O in subsoils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p.1462-1468, 2006.

COBUCCI, T.; WRUCK, F. J.; KLUTHCOUSKI, J.; MUNIZ, L. C.; MARTHA JUNIOR, G. B.; CARNEVALLI, R. A.; TEIXEIRA, S. R.; MACHADO, A. A.; TEIXEIRA NETO, M. L. Opções de integração lavoura-pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**, v.28, p. 64-79, 2007.

COCHRANE, T. T.; SANCHEZ, L. G.; AZEVEDO, L. G.; PORRAS, J. A.; GARVER, C. L. **Land in tropical America**. Cali: CIAT; Planaltina, DF: Embrapa CPAC, v.3, 1985. 554p.

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

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p.61-67, 1992.

CORDOVIL, C. M.; COUTINHO, J.; GOSS, M.; CABRAL, F. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen, from organic residues applied to a sandy soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, p.989-1006, 2007.

CURTIN, D.; McCALLUM, F. M. Biological and chemical assays to estimate nitrogen supplying power of soils with contrasting management histories. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, p.737-746, 2004.

CURTIN, D.; CAMPBELL, C. A. Mineralizable nitrogen. In: CARTER, M. R.; GREGORICH, E. G. (Eds.) **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: CRC Press, 2nd edition, 2006. p. 599-606.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 35, p.1-20, 1994.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O.O.S.; BASANTA, M.V.; CONG, P.T.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S.M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M.S.A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L.C.; WANG, J.Y.; ZAGAL, E.; KESSEL, C. van. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.74, p.139-152, 2010.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.161-171, 2008.

DUETE, R. E. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. R. Acúmulo de nitrogênio (¹⁵N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n.2, p.463-472, 2009.

ECIOLAZA, M. C. B.; OLIVEIRA, S. A. Teste de extratores químicos para avaliação da disponibilidade de nitrogênio em solos do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n.4, p.523-532, 1993.

FEBRAPDP e CONAB – Federação Brasileira de Plantio Direto na palha. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. Diversidade alfa e beta no Cerrado sensu strictu, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Eds.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 493p.

FERNANDES, E. B.; BUSTAMANTE, M. da C.; KOZOVITS, A. R.; ZEPP, R. G. Soil emissions of NO, N₂O and CO₂ from croplands in the savanna region of central Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 144, p.29-40, 2011b.

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

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do nitrogênio do sulfato de amônio (¹⁵N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p.885-893, 2012.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; MENDES, I. C.; DICK, R. P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandiu alfisols to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 142, n.3/4, p.419-427, 2011a.

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n.4, p.899-907, 2011.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.3, p.279-287, 2005.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a Sandy Brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 135, p.161-167, 2010.

GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M. C. M. T.; BUZETTI, S. B.; CELESTRINO, T. S.; LOPES, K. S. M. Desempenho agrônômico da cultura do milho e espécies forrageiras em sistema de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n.4, p.589-595, 2013.

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

GIANELLO, C. **Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil**. 1985. 93p. (PhD Tesis) - Iowa State University, Ames, 1985.

GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O.; REICHMANN, E.; TEDESCO, M. J. Avaliação da disponibilidade do nitrogênio do solo estimada por métodos químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.93-101, 2000.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p.93-102, 2002.

HANEY, R. L.; KINIRY, J. R.; JOHNSON, M-V. V. Soil microbial activity under different grass species: underground impacts of biofuel cropping. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, p.754-758, 2010.

HART, S. C.; MYROLD, D. D. ^{15}N tracer studies of soil nitrogen transformations. In: BOUTON, T. W.; YAMSAKI, S. I. **Mass Spectrometry of Soils**, New York: Marcel Dekker, 1996. p. 225-245.

HILL, J. The remobilization of nutrients from leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v. 2, n. 4, p.407-44, 1980.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, p. 69-78, 2000.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, v. 114, p.305-317, 2003.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil & Tillage Research**, v. 95, n.1, p.97-109, 2007.

JENKINSON, D. S., LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A., LADD, J. N. **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 5, 1981. p.415-471.

KARLEN, D. L.; MAUSBACK, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p.4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A.; KOVAR, J. L.; COLVIN, T. S. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. **Soil & Tillage Research**, v. 133, p.54-64, 2013.

KEENEY, D. R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F. J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Agronomy Monograph, ASA, CSSA, and SSSA, 1982. p.605-649.

KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. A chemical index of soil nitrogen availability. **Nature**, v. 211, p. 892-893, 1966.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Sistema Santa Fé. In: **Integração lavoura-pecuária** Kluthcouski, J.; Stone, L. F.; Aidar, H. (Eds.). Santo Antônio de Goiás; Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.407-459.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O. MAGNABOSCO, C. U. **Sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa**: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, (Circular Técnica), 2000. 28p.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Sulfato de amônio e uréia em cobertura no milho em semeadura direta no Cerrado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.6, p.817-824, 2010.

LAL, R. Soil carbon dynamics in crop land and rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p.353-362, 2002.

LAL, R.; PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F. J. (Ed.). **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.

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

LARA-CABEZAS, W. A. R. Manejo de gramíneas cultivadas em forma exclusiva e consorciada com *Brachiaria ruziziensis* e eficiência do nitrogênio aplicado em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n.2, p.130-145, 2011.

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

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

LIMA, J. E. W.; SILVA, E. M. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado Brasileiro. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Ed.) **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. **493p**.

LITHOURGIDIS, A. S.; DORDAS, C. A.; DAMALAS, C. A.; VLACHOSTERGIOS, D. N. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 4, p.396-410, 2011.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. G. M.; MONTANDON, C. G.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p.461-472, 2013.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 38, p.133-146, 2009.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.10, p.1117-1126, 2011.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; VILELA, L. Recuperação de ^{15}N -Uréia no sistema solo-planta de pastagem de capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 95-101, 2009.

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; AMÁBILE, R. F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o trigo, em solo do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1941-1948, 2008.

MILAGRES, J. J. M.; SANT'ANA FILHO, C. R.; SCHONINGER, E. L.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O., BENDASSOLLI, J. A. Use of the ^{15}N gas flux method to calculate the emission factor for N_2O in a Brazilian soil cultivated with sugarcane. In: **Water, Food, Energy & Innovation for a Sustainable World**. ASA, CSSA & SSSA International Annual Meeting, Tampa, Florida. Nov. 03-06, 2013. Disponível em: <<http://scisoc.confex.com/crops/2013am/webprogram/Paper81624.html>> Acesso: 17 set. 2013

MMA. Mistério do Meio Ambiente. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado**. Brasília: MMA, 2011. 200 p.

MOLINA, J. A. E.; CLAPP, C. E.; LARSON, W. E. Potentially mineralizable nitrogen in soil: The simple exponential model does not apply for first 12 weeks of incubation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.442-444, 1980.

MUNIZ, L. C.; MADARI, B. E.; TROVO, J. B. F.; CANTANHÊ, I. S. L.; MACHADO, P. L. O. A.; COBUCCI, T.; FRANÇA, A. F. S. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop livestock integrated system **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.10, p.1262-1268, 2011.

OLIVEIRA, S. A. **Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal**. 1987. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1987.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M. A. A.; BERGAMASCHINE, A. F.; BUZETTI, S.; CHIODEROLI, C. A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p.360-370, 2009.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L. M. O.; CAMPO, R. J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.1397-1412, 2007.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; McManus, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 567-573, jun. 2004.

REATTO, A.; MARTINS, E. S. Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Ed.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 493p.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p.89-166.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e

alocação do nitrogênio (^{15}N) na planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p.1185-1194, 2010.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 40, n.26, p.1-15, 1998.

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

SERRA, D. D. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal. 2006. 93f. (Tese de Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

SILVA, R. R.; SILVA, M. L.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M., CURI, N.; ALOVISI, A. M. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campo das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p.1585-1592, 2010.

SMITH, J. L., PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M., STOTSKY, G. (Ed.) **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 6. 1990. p.357-396.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R., CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p.327-334, 2004.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração

agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.3, p.1273-1282, 2008.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen Mineralization potential of soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 36, p.465-472, 1972.

TRACEY, M. V. The determination of glucosamine by alkaline decomposition. **Biochemical Journal**, Colchester, v. 52, p.256-267, 1952.

TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J. Adubação nitrogenada e a sustentabilidade de agrossistemas. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, 2011. p.193-220.

URQUIAGA, S. C. **Dinâmica de nitrogênio no sistema solo-planta na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar carioca**. 1982. 118f. (Tese de Doutorado) - Piracicaba, ESALQ, 1982.

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

VARVEL, G. E.; PETERSON, T. A. Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation systems. **Agronomy Journal**, v. 82, p.935-938, 1990.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.4, p.743-755, 2009.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; JÚNIOR, R. G.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p.1127-1138, 2011.

YAGI, R. **Métodos químicos para a estimativa do nitrogênio disponível do solo**. 2008. 120f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

YANG, W. H.; TEH, Y. A.; SILVER, W. A test of a field-based ¹⁵N-nitrous oxide pool dilution technique to measure gross N₂O production in soil. **Global Change Biology**, p.1-12, 2011.

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F. C. B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil & Tillage Research**, v. 94, p.510-519, 2007.

ZAPATA, F. Metodologias isotópicas para estudios de la eficiencia de la fertilizacion nitrogenada y otros del ciclo de N. In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. (Eds.). **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2000. p.25-29.

CAPÍTULO 1

**EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO PELO MILHO EM SISTEMAS DE
MONOCULTURA E CONSORCIADO COM *B. HUMIDICOLA* E *P. MAXIMUM* CV.
ARUANA SOB SOLO DE CERRADO**

**EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO PELO MILHO EM SISTEMAS DE
MONOCULTURA E CONSORCIADO COM *B. HUMIDICOLA* E *P. MAXIMUM* CV.
ARUANA SOB SOLO DE CERRADO**

RESUMO

O sistema plantio direto (SPD) associado às práticas de consorciação de plantas de cobertura e graníferas é de uso crescente no Cerrado. O objetivo deste trabalho foi quantificar a eficiência de recuperação do fertilizante nitrogenado pelo milho sob sistemas de monocultura e em consórcio com forrageiras tropicais, em plantio direto, utilizando-se a técnica isotópica de ^{15}N . O experimento foi conduzido durante a safra de 2010/2011 em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico no Cerrado. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições e os tratamentos foram: milho em monocultura; milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana; e milho em consórcio com *Brachiaria humidicola*. O milho foi adubado com sulfato de amônio marcado com ^{15}N na dose de 30 kg ha⁻¹ na semeadura e 70 kg ha⁻¹ aos 44 DAE. A ERNF pelo milho (grãos + palhada) e a sua produtividade não foram afetadas pela presença das forrageiras em consórcio. As forrageiras *P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola* em consórcio recuperaram entre 2,08 a 3,71% do N-fertilizante aplicado. O nitrogênio derivado do solo foi a principal fonte desse nutriente para as plantas

Palavras chave: *Zea mays*, ^{15}N , plantio direto, Latossolo, nitrogênio disponível, decomposição.

**NITROGEN UPTAKE EFFICIENCY BY MAIZE UNDER MONOCULTURE AND
INTERCROPPING SYSTEMS WITH *B. HUMIDICOLA* AND *P. MAXIMUM* CV.
ARUANA IN THE CERRADO**

ABSTRACT

The no-tillage system associated with intercropping practices of grains and forages as cover crops are increasing in the Cerrado agricultural areas. The objective of this work was to quantify the nitrogen uptake efficiency of maize grown exclusively and intercropped with tropical forages under no-tillage system, using the ^{15}N isotope technique. The experiment was conducted throughout the 2010/2011 season, in a Dystrophic Red-Yellow Latosol (Typic Haplustox) in the Cerrado. The experiment was established in a complete randomized block design with three replicates and with the following treatments: maize grown exclusively; maize intercropped with *Panicum maximum* cv. Aruana; and maize intercropped with *Brachiaria humidicola*. Nitrogen was applied as ammonium sulphate at a rate of 100 kg ha^{-1} - 30 kg N ha^{-1} was applied at planting and 70 kg N ha^{-1} as sidedressing. The nitrogen fertilizer uptake efficiency in maize and the grain yield were not affected by the presence of the intercropped forages. The tropical forages *P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola* recovered between 2,08 and 3,71% of the N-fertilizer applied. The soil was the main nitrogen source for the plants.

Key words: *Zea mays* L., ^{15}N , no-tillage system, Oxisol, available nitrogen, decomposition.

3.1. INTRODUÇÃO

O cultivo do milho representa 44% da produção de grãos no Brasil, sendo cultivado em cerca de 15,8 milhões de hectares (CONAB, 2013). A produtividade média nacional da cultura ainda é baixa quando comparada aos principais países produtores. Na safra de 2012/2013 a produtividade nacional foi de 5,1 t ha⁻¹ de grãos e a região Centro Oeste foi a maior produtora, representando 44% da produção nacional, seguida pela região Sul, com 33% (CONAB, 2013). O nitrogênio (N) é o nutriente que, em geral, pela sua baixa disponibilidade no solo, mais limita a produção e o desenvolvimento do milho, tendo como causas principais a complexa dinâmica de N no solo e a inadequada utilização desse nutriente pelos produtores, resultando em baixa eficiência de uso pela cultura. Essa baixa eficiência de uso do nitrogênio diminui a produtividade do milho e pode causar sérios danos ambientais, como a emissão de óxido nitroso para a atmosfera e a lixiviação de nitrato para o lençol freático (AMADO et al., 2002).

O nitrogênio encontra-se em quantidades mínimas nas formas minerais no solo (NH₄⁺ e NO₃⁻), pois cerca de 98 % do N do solo encontram-se complexados nas frações orgânicas (SCHULTEN e SCHNITZER, 1998). A contribuição da mineralização de N orgânico como fonte para as plantas pode variar de 30 a 200 kg N ha⁻¹ (CABRERA et al., 1994) dependendo da quantidade de N orgânico mineralizável e das condições edafo-climáticas, como a temperatura e umidade do solo (CURTIN e CAMPBELL, 2004). Assim, as principais fontes de N para as plantas provêm da fertilização nitrogenada, da mineralização do N de resíduos vegetais, da matéria orgânica do solo e da fixação biológica de nitrogênio.

A eficiência de recuperação de fertilizantes nitrogenados (ERNF) pelo milho em solos sob condições tropicais raramente ultrapassa 50% (COELHO et al., 1991; FIGUEIREDO et al., 2005; SILVA et al., 2006; GAVA et al., 2006; DUETE et al., 2008; DUETE et al., 2009; DOURADO-NETO et al., 2010; FERNANDES e LIBARDI, 2012). Essa baixa recuperação

do N do fertilizante pelas plantas cultivadas tem sido atribuída à falta de sincronização entre a disponibilidade de N no solo e a quantidade aplicada na forma de fertilizante; às suas perdas na forma de nitrato, amônia, óxidos nitroso e nítrico e à sua imobilização na fração orgânica do solo (LARA CABEZAS et al., 2000; FERNANDES et al., 2006; CHEN et al., 2008; DOURADO-NETO et al., 2010). No Cerrado, Figueiredo et al. (2005) observaram uma eficiência de recuperação do N-fertilizante (ERNF) nos grãos de milho variando de 26 a 34% com o uso de sulfato de amônio e Coelho et al. (1991) observaram, na mesma cultura, uma recuperação de 56% do N aplicado na forma de uréia, sendo que 42% foram alocados nos grãos e o restante (14%) na sua palhada (sabugos, folha, palha, colmo e pendão). Dourado-Neto et al. (2010) destacam que apesar da ERNF pelas culturas ser baixa ($\approx 33\%$) no primeiro ano de aplicação de ^{15}N -fertilizante, em torno de um terço do fertilizante ^{15}N é incorporado à matéria orgânica do solo (MOS), mostrando a importância da mesma em disponibilizar N às culturas subsequentes nos agroecossistemas do mundo.

Com a utilização de marcadores isotópicos é possível avaliar a contribuição do N derivado do solo (NDS) em sistemas agrícolas, podendo ser de grande importância na nutrição de plantas cultivadas, como no caso do milho. Em estudo realizado em diversos ecossistemas tropicais do mundo, em média, o solo forneceu 79% do nitrogênio absorvido pelas plantas (DOURADO-NETO et al., 2010). No Cerrado, a contribuição do solo para o fornecimento do N também é elevada, com valores médios de 75% do N absorvido e alocados pelos grãos de milho (FIGUEIREDO et al., 2005).

O sistema plantio direto (SPD) associado a práticas de consorciação de plantas forrageiras e graníferas propicia aumento do teor de matéria orgânica devido ao maior aporte de resíduos vegetais e, conseqüentemente, de nutrientes mineralizados, principalmente nas camadas superficiais do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2003). Tais práticas são relevantes para a região do Cerrado devido à estacionalidade da precipitação que impossibilita os cultivos da

entressafra na estação da seca (outono-inverno), assim como o acúmulo de resíduos vegetais na primavera-verão que são rapidamente degradados devido às elevadas temperaturas e adequada umidade. Nessas condições, o uso de espécies forrageiras como plantas de cobertura representa uma excelente alternativa para o manejo de solos do Cerrado. No entanto, a interferência da consorciação dessas espécies na eficiência de utilização de adubos nitrogenados pelo milho precisa ser melhor compreendida.

É crescente o uso de técnicas isotópicas para a avaliação da dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e estas representam uma excelente ferramenta no estudo de sistemas consorciados. O uso do isótopo estável ^{15}N possibilita a diferenciação da eficiência de adubação nitrogenada em sistemas de cultivos diversos (FIGUEIREDO et al., 2005; GAVA et al., 2006; FERNANDES et al., 2012), a diferenciação e a quantificação da absorção do nitrogênio derivado de fertilizantes e do solo em culturas agrícolas e pastagens em sistemas de monocultura e de consórcio (ZHOU et al., 1998; LARA CABEZAS e PÁDUA, 2007; LARA CABEZAS e COUTO, 2007; MARTHA-JÚNIOR et al., 2009; LARA CABEZAS, 2011), bem como a quantificação da emissão de gases para a atmosfera (BERGSMAN et al., 2001; YANG et al., 2011; MILAGRES et al., 2013). A técnica do isótopo ^{15}N também é utilizada na determinação da taxa de mineralização de nitrogênio (PARÉ et al., 2000; SNYDER et al., 2010; ALAMIN et al., 2013), na diferenciação e forma de aplicação de fontes nitrogenadas de adubos (LARA CABEZAS et al., 2000; DELGADO et al., 2001; DUETE et al., 2009; LANGE et al., 2010).

As recomendações da adubação nitrogenada que consideram a relação solo-cultivo-manejo devem ser incentivadas, uma vez que a dinâmica do nitrogênio pode ser alterada com as mudanças nos sistemas de manejo, com isso, as doses de nitrogênio aplicadas no solo podem ser insuficientes ou excessivas, provocando deficiências nutricionais em culturas e pastagens ou perdas de nitrogênio no sistema solo-planta, respectivamente.

A escolha de sistemas de manejo do solo e da adubação nitrogenada, que mantenham ou aumentem a produtividade das culturas e diminuam a poluição ambiental é de fundamental importância (VARVEL e PETERSON, 1990). A recomendação de aplicação de doses adequadas de N no solo deve basear-se em algumas informações, como: a quantidade de N requerida pela cultura segundo condições edafo-climáticas da região; a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados; no potencial de mineralização do N orgânico do solo; e no manejo do sistema de produção (MEISINGER, 1984).

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi quantificar a eficiência de recuperação do fertilizante nitrogenado pelo milho sob sistemas de cultivo de milho em monocultura e em consórcio com forrageiras, em plantio direto, utilizando-se a técnica isotópica de ^{15}N .

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado na área experimental da Fazenda Água Limpa, da Universidade de Brasília, localizada no Núcleo Rural Vargem Bonita, Brasília, Distrito Federal (latitude de $15^{\circ} 55' \text{ S}$, longitude de $47^{\circ} 51' \text{ W}$ e altitude de 1080 metros). O clima da região é do tipo Aw (tropical estacional de savana). A região apresenta um período chuvoso de outubro a março e uma estação seca definida de abril a setembro, com uma precipitação pluvial média anual de 1550 mm e temperaturas médias anuais variando de 18° C a $28,5^{\circ} \text{ C}$. A distribuição da precipitação pluvial mensal e da temperatura média do ar entre os meses de julho de 2010 a junho de 2011 estão apresentados na Figura 1.

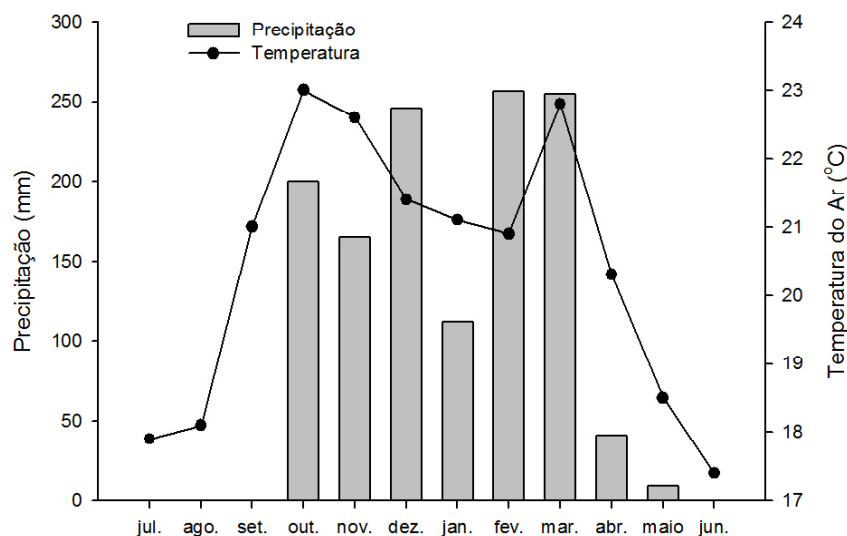


Figura 1. Distribuição da precipitação pluvial e temperatura média do ar mensal entre os meses de julho/2010 a junho/2011 (Fonte: Estação Agroclimatológica da Fazenda Água Limpa – UnB).

O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Algumas das características químicas e físicas do solo na camada de 0-20 cm antes da instalação do experimento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental antes da instalação do experimento em 2007.

Característica ¹	Média
Argila (g kg ⁻¹)	525
Silte (g kg ⁻¹)	275
Areia (g kg ⁻¹)	200
pH (H ₂ O)	5,6
P (mg dm ⁻³)	0,5
K ⁺ (mg dm ⁻³)	19,6
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,9
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,6
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	4,6
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,2
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	32,5

¹ Atributos avaliados segundo metodologia da Embrapa (1997).

3.2.2. Condução dos sistemas de manejo avaliados e caracterização das culturas

Previamente à instalação do experimento, a área que estava sob pastagem de capim *Andropogon gayanus*, variedade Planaltina, por um período de seis anos, foi arada, gradeada e recebeu aplicação de calcário de acordo com as exigências requeridas a partir da interpretação da análise química do solo. Os tratamentos na área experimental foram estabelecidos em outubro de 2007, em sistema plantio direto e foram os seguintes: milho em monocultura; milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana; e milho em consórcio com *Brachiaria humidicola*. Os tratamentos foram dispostos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 9 parcelas. Cada parcela experimental ocupou uma área de 10 m de comprimento e 8 m de largura (80 m²) com 48 m² de área útil. O histórico da área experimental encontra-se em Anexo (ANEXO A).

Antes da semeadura do milho, em novembro de 2010, aplicou-se uma mistura dos herbicidas glifosato na dose de 3 L ha⁻¹ (1,08 kg i.a. ha⁻¹) e do 2,4D na dose de 1,5 L ha⁻¹ (1,1 kg i.a. ha⁻¹) para dessecação de pré-semeadura (OLIVEIRA et al., 2008).

Utilizou-se no experimento o híbrido triplo BG 7055 de ciclo precoce. Este é indicado para a produção de grãos ou para silagem da planta inteira, apresenta grãos semiduros de coloração alaranjada, alta resistência ao acamamento, sendo recomendado para a região Centro-Oeste, e para ser plantado tanto na safra principal quanto como safrinha. O milho foi semeado em dezembro de 2010 com espaçamento entre linhas de 0,90 m e a densidade de seis plantas por metro linear, totalizando 65000 plantas ha⁻¹. A adubação do milho foi realizada de acordo com as exigências requeridas a partir da interpretação da análise química do solo (SOUSA; LOBATO, 2004. A quantidade de calcário aplicada na área baseou-se na elevação da saturação por bases para 50%. No plantio do milho, as parcelas do experimento foram adubadas com 30 kg de N ha⁻¹, 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 70 kg de K₂O ha⁻¹ e 66 kg FTE BR-12 ha⁻¹. Aos 44 dias após a emergência (DAE) do milho, quando as plantas apresentavam em torno

de oito folhas, foi feita a adubação de cobertura com 70 kg de N ha⁻¹, sendo o sulfato de amônio a fonte de N.

As forrageiras utilizadas no consórcio com o milho foram: *Panicum maximum* cv. Aruana e *Brachiaria humidicola*. *P. maximum* cv. Aruana é uma gramínea da família *Poaceae* introduzida no Brasil por meio de sementes provenientes da África e que vem sendo utilizada em pastagens para ovinos e caprinos (GERDES et al., 2005; MARQUES et al., 2012; ZANINI et al., 2012;). Esta cultivar apresenta porte médio (atingindo aproximadamente 0,80 m), hábito de crescimento variável entre o cespitoso e o decumbente, elevada capacidade de emitir folhas e perfilhos com rápida rebrotação após o seu corte, boa persistência no inverno (período seco do ano), propagação por sementes e excelente aceitabilidade pelos animais (BIANCHINI et al., 1999; POMPEU et al., 2010). A *Brachiaria humidicola* também chamada de capim agulha ou quicuío-da-Amazônia é da família *Poaceae* e de origem africana com hábito de crescimento estolonífero-rizomatoso, resistente ao pastejo e bem aceita tanto por bovinos quanto por ovinos e caprinos (PERES et al., 2012). Esta espécie é recomendada para a região do Cerrado, podendo ser utilizada como uma alternativa para substituir outras espécies de *Brachiaria* devido principalmente à sua tolerância às cigarrinhas-das-pastagens, a solos úmidos e/ou temporariamente úmidos e de baixa fertilidade natural (VALÉRIO e KOLLER, 1993; PERON e EVANGELISTA, 2004).

As forrageiras *P. maximum* e *B. humidicola* foram semeadas na safra de 2007/2008 e 2009/2010 logo após a semeadura do milho, na quantidade de 30 kg ha⁻¹ de sementes (considerando o valor cultural), a lanço e na entrelinha do milho. As sementes foram levemente incorporadas com o uso de rastelo. A quantidade média de biomassa (matéria seca) aérea produzida pelas forrageiras *P. maximum* e *B. humidicola* no final da safra de 2009/2010 foi de 2,17 t ha⁻¹ e 2,12 t ha⁻¹, respectivamente. No ano subsequente (2010/2011), não foi

realizada semeadura das forrageiras, utilizando-se, portanto, o banco de sementes já estabelecido nas parcelas.

3.2.3. Época e modo de aplicação do ^{15}N

Na avaliação da recuperação do fertilizante nitrogenado pelo milho, foram demarcadas dentro de cada parcela, duas microparcels de $1,8 \text{ m}^2$ ($2,0 \text{ m} \times 0,9 \text{ m}$) (Figura 2). Todas as microparcels foram adubadas com sulfato de amônio marcado com ^{15}N (0,8% átomos ^{15}N em excesso) na dose de 30 kg N ha^{-1} na semeadura e 70 kg N ha^{-1} aos 44 DAE (totalizando 100 kg N ha^{-1} marcado com 0,8% átomos ^{15}N em excesso) na safra 2010/2011. Aplicaram-se também, no plantio do milho, $100 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, $70 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ e $66 \text{ kg FTE BR-12 ha}^{-1}$. A adubação nitrogenada de plantio foi realizada manualmente colocando-se o sulfato de amônio marcado no sulco de semeadura do milho. Para a aplicação de N em cobertura, colocou-se o sulfato de amônio marcado na superfície do solo, ao lado da linha de semeadura do milho, aos 44 DAE, quando as plantas de milho apresentavam em torno de oito folhas.

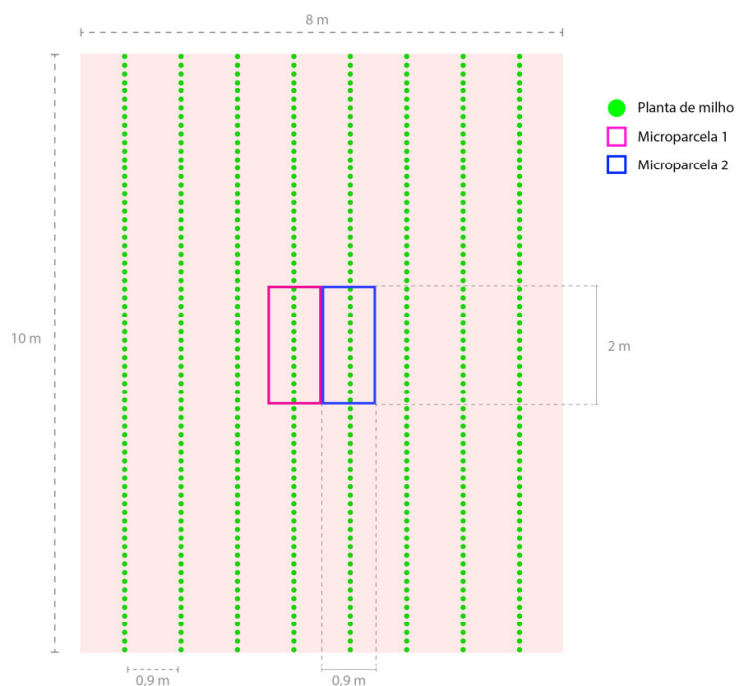


Figura 2. Localização das microparcels dentro da parcela experimental.

3.2.4. Amostragem do milho e das forrageiras para determinação da composição isotópica ^{15}N

As análises foram realizadas utilizando-se os grãos e as folhas do milho colhido no metro linear central da linha de semeadura de cada microparcela em abril de 2011, quando o teor médio de água dos grãos encontrava-se em torno de 13 a 14%. Coletaram-se também, rentes ao solo, amostras da parte aérea das forrageiras *P. maximum* e *B. humidicola* distribuídas nas entrelinhas do milho, dentro das microparcelsas.

Após coletadas no campo, as amostras de grãos e folhas de milho e da parte aérea das forrageiras foram colocadas em estufa a 65°C por 72 horas para a obtenção da massa de matéria seca. As amostras secas foram finamente moídas em moinho do tipo Willey e usadas para a determinação do nitrogênio total pelo método Kjeldahl (BRASIL, 2005) e a composição isotópica do ^{15}N foi analisada no espectrômetro de massa Thermo Finnigan Delta Plus, na Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ.

Calvache et al. (1982) e Coelho et al. (1991), ao utilizarem o isótopo estável ^{15}N em um sistema de produção de milho não observaram diferenças significativas nas porcentagens de nitrogênio proveniente do fertilizante entre os diferentes órgãos da planta, mostrando que ocorre uma mobilidade balanceada do ^{15}N dentro da planta. Esses resultados mostraram que não há necessidade de se analisar individualmente a quantidade de ^{15}N nas diferentes partes da planta, resultando em economia de tempo e custos (COELHO et al., 1991). Assim, nesse trabalho, a composição isotópica de ^{15}N nas folhas coletadas de milho foi extrapolada para a palhada total da planta (excetuando-se os grãos) com base no peso de matéria seca produzida. Desse modo, a partir daqui as folhas coletadas do milho serão tratadas como palhada.

3.2.5. Nitrogênio derivado do fertilizante e do solo e a eficiência de recuperação do nitrogênio do fertilizante

O nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM) foi calculado utilizando-se a seguinte expressão:

$$NDFM(kg\ ha^{-1}) = \left(\frac{\% \text{ átomos de } ^{15}N \text{ em excesso na MS}}{\% \text{ átomos de } ^{15}N \text{ em excesso no fertilizante}} \right) \times NTOTALnaMS,$$

sendo MS a matéria seca da palhada do milho ou das forrageiras, ou dos grãos do milho.

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

$$NDS(kg\ ha^{-1}) = (1 - NDFM) \times NTOTALnaMS$$

A eficiência de recuperação do N-fertilizante (ERNF) pelo milho e pelas forrageiras foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$ERNF (\%) = \left(\frac{NDFM}{100\ kg\ ha^{-1}\ de\ N\ do\ fertilizante\ aplicado\ como\ adubo} \right) \times 100.$$

3.2.6. Época e profundidade de amostragem do solo

Com o intuito de avaliar o nitrogênio da biomassa microbiana e o nitrogênio disponível do solo, coletaram-se amostras de solo antes da semeadura do milho, em dezembro de 2010, na profundidade de 0-5 cm. Para cada parcela do experimento, foram coletadas 15 subamostras (em três locais dentro da parcela, sendo que em cada local foram coletadas uma amostra na linha e quatro outras nas entrelinhas equidistantes) para compor uma amostra composta (ANEXO B). Logo após a coleta, as amostras de solo foram colocadas em caixa de isopor com gelo e resfriadas durante o transporte do campo até o laboratório. No laboratório, as mesmas, ainda friáveis, foram passadas em peneira de 8 mm de malha e delas foram

utilizadas subamostras para analisar o nitrogênio da biomassa microbiana e o nitrogênio disponível do solo.

3.2.7. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

As amostras de solo, logo após a coleta e depois de serem passadas em peneiras de 8 mm de malha, retirando-se fragmentos de raízes e restos vegetais, foram mantidas em câmara fria a aproximadamente 4°C, por um período de um mês até o momento das análises de nitrogênio da biomassa microbiana do solo.

O nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBMS) foi determinado pelo método do clorofórmio fumigação-extração (CFE) conforme descrito por Brookes et al. (1985) e Vance et al. (1987). Antes do processo de fumigação, os teores de umidade das amostras foram corrigidos para 80% da capacidade máxima de retenção de água no solo. As amostras foram divididas em subamostras (triplicatas) de 20 g de solo e incubadas por sete dias à temperatura ambiente. Após este período, parte das amostras foi submetida ao processo de fumigação seguida de extração e a outra parte, apenas ao processo de extração. As amostras foram fumigadas em um dessecador contendo uma placa de Petri com 25 mL de clorofórmio isento de etanol (CHCl_3) por 24 horas, sendo posteriormente retiradas e extraídas, juntamente com as amostras não fumigadas. As amostras foram extraídas com K_2SO_4 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) com pH ajustado entre 6,5 e 6,8 por 40 minutos em agitador contínuo a uma velocidade de 150 rpm, sendo então filtradas em papel de filtro qualitativo (Whatmann 42).

Foram retiradas alíquotas de 20 mL das subamostras filtradas e que foram transferidas para tubos de vidro com 1 g de mistura catalítica (K_2SO_4 : CuSO_4 :selênio em pó na relação 1:0,1:0,01) e 3 mL de H_2SO_4 concentrado. Em seguida, realizou-se a digestão a 80°C por 12 horas, 150°C por 1 hora e 30 min e 300°C durante 3 horas. A destilação foi realizada com 20 mL de NaOH 400 g L^{-1} de água destilada. Preparou-se uma mistura com 15 mL de verde de

bromocresol e 6 mL de vermelho de metila a 0,1% em meio alcoólico, 20 g de H_3BO_3 e três gotas de NaOH 0,1 mol L^{-1} , completada para 1 L de água destilada. Utilizaram-se 10 mL dessa mistura para coletar o destilado em erlenmeyer de 50 mL. Procedeu-se a titulação com H_2SO_4 0,0025 mol L^{-1} . O NBMS foi calculado pela diferença entre a quantidade de N recuperado no extrato da amostra fumigada e o recuperado na amostra não fumigada, multiplicado pelo fator de correção (K_{EN}), cujo valor é de 0,54 (WARDLE, 1994).

3.2.8. Nitrogênio disponível do solo

Para a determinação do N disponível (N_D) utilizou-se o método de extração com Na_3PO_4 /bórax – tampão pH 11,2 + NO_3^- (SERRA, 2006, modificado de GIANELLO, 1985). As subamostras de solo foram passadas em peneiras de 2 mm (terra fina seca ao ar – TFSA) e utilizaram-se 2 g de solo em duplicata. O solo foi colocado no microdestilador juntamente com 25 mL da solução-tampão pH 11,2 (200 g de $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ + 50 g de bórax, em 2.000 mL de água destilada). Foram adicionados 0,2 g de óxido de magnésio e 0,1 g de liga de Devarda para a quantificação do amônio mais nitrato e 10 gotas de dimeticona para diminuir a formação de espuma. O destilado foi coletado em balão volumétrico de 50 mL, que continha 10 mL de ácido clorídrico 0,05 mol L^{-1} . Os cálculos foram realizados a partir da curva de calibração obtida pela destilação de soluções padrão de N contendo 0-15-30-45-60 $\mu g mL^{-1}$ de N. O N extraído foi determinado por colorimetria em espectrofotômetro a 440 nm.

3.2.9. Matéria seca do milho e das forrageiras e produtividade e variáveis agrônomicas do milho

Os grãos e as partes aéreas do milho e das forrageiras foram coletados em abril de 2011. Para determinação da produtividade do milho, colheram-se todos os grãos de três linhas de um metro em cada unidade experimental, considerando-se para o cálculo a umidade de

grãos de 13%. Para verificação da produção de matéria seca do milho (palhada), coletaram-se as plantas de milho rentes ao solo e em três linhas de um metro em cada unidade experimental. As forrageiras foram cortadas rente ao solo e na entrelinha do milho em duas subamostras de de 0,5 m²

O índice de colheita (IC) foi obtido pela razão entre a matéria seca colhida de grãos e a matéria seca total da planta de milho (grãos e palhada), e o coeficiente de utilização biológica (CUB) do N foi calculado pela razão entre a quantidade de biomassa total produzida pelo milho (grãos e palhada) por unidade de nitrogênio absorvido

3.2.10. Taxa de decomposição e composição química dos resíduos do milho e das forrageiras

A amostragem do material vegetal para determinar a taxa de decomposição e caracterização química dos resíduos vegetais foi realizada com o corte das forrageiras (duas repetições de 0,5 m² por parcela) e do milho (3 linhas de 1 metro linear por parcela) rente ao solo logo após a colheita do milho (abril de 2011) nas parcelas experimentais. O material foi secado em estufa de ventilação forçada a 65 °C durante 72 horas. Uma parte desse material foi moído para determinação de celulose, hemicelulose, lignina, nitrogênio total e matéria orgânica, e a outra parte colocada em sacolas de serrapilheira (*litter bags*) para determinar a taxa de decomposição dos resíduos vegetais.

Para quantificar a decomposição dos resíduos vegetais, colocaram-se 20 gramas do material seco dentro de sacos de tela de náilon de malha de 2 x 2 mm e de dimensões de 20 x 20 cm em cada parcela, de acordo com o tratamento correspondente. Os *litter bags* referentes aos sistemas de consórcio, combinaram-se 10 g de milho + 10 g de *P. maximum* e 10 g de milho + 10 g de *B. humidicola*, somando-se 20 g para cada *litter bag*. Para o sistema em monocultura de milho, os *litter bags* foram preenchidos com 20 g de milho. Essas sacolas de

serrapilheira (*litter bags*) foram colocadas na superfície do solo, num total de vinte e quatro em cada parcela (totalizando 72 *litter bags* por tratamento), no mesmo dia em que foi efetuada a primeira roçada das parcelas após a colheita (22/06/2011).

Devido à escassez de chuvas, a primeira coleta de *litter bags* foi realizada no dia 28/09/2011 (aos 92 dias depois de colocadas no campo), e as seguintes coletas foram realizadas aos 129, 170, 203, 224, 283, 315, 349, 384 dias depois de colocadas no campo. Em cada coleta foram retiradas duas unidades de *litter bags* por parcela. As sacolas de serrapilheira foram sempre retiradas das parcelas durante as operações de práticas agrícolas na área (plantio, adubação, aplicação de defensivos agrícolas e herbicidas), sendo recolocadas nas parcelas imediatamente após as operações. Em cada coleta de *litter bag*, o material remanescente dentro das sacolas foi pesado e, em seguida colocado em estufa a 65 °C por 72 h para se obter o peso de material seco remanescente (Mf). Após a secagem, o material seco foi queimado em mufla a 600 °C por um período mínimo de 8 h para a obtenção do conteúdo inorgânico final das espécies vegetais (If). Para a determinação da taxa de decomposição dos materiais vegetais utilizaram-se os seguintes cálculos, baseando-se em Santos e Whitford (1981):

$$D = Z_i + s \times (I_f - I_i) + I_f - M_f$$

$$D(\%) = \frac{D \times 100}{Z_i},$$

Sendo, D = estimativa da matéria orgânica decomposta no solo; Z_i = estimativa da média do conteúdo orgânico inicial por espécie; s = fator de correção médio específico do solo (s = fração orgânica solo/fração inorgânica do solo); I_f = conteúdo inorgânico final de cada amostra; I_i = estimativa da média do conteúdo inorgânico inicial por espécie; M_f = matéria seca final de cada amostra. Os dados obtidos foram ajustados ao modelo exponencial com a taxa de resíduos remanescentes (y) em função do tempo ($y = 100e^{-k(t)}$) da qual se extraiu a

constante (k) para o cálculo de meia vida ($h = \ln 2/k$) e tempo de reciclagem ($r = 1/k$) do material vegetal.

Com o intuito de caracterizar o material vegetal depositado nas parcelas experimentais, determinaram-se os teores de celulose, hemicelulose e lignina do milho e das forrageiras antes de serem colocadas dentro dos *litter bags*. Para isso, utilizou-se o método seqüencial adaptado de Campos et al. (2004) (ANEXO C). A matéria seca do milho e das forrageiras foi moída em moinho tipo Willey. O material moído foi submetido a análises de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina bruta. Os teores de hemicelulose e celulose foram determinados pelas diferenças entre FDN e FDA, e entre FDA e lignina bruta, respectivamente. O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl (BRASIL, 2005) e o carbono orgânico foi obtido pela determinação da matéria orgânica por combustão (EMBRAPA, 1997).

3.2.11. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas pelo software *SAS Systems for Windows* (versão 9.3) (SAS, 2006).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Eficiência de recuperação do nitrogênio do fertilizante

A eficiência de recuperação de nitrogênio do fertilizante (ERNF) pelos grãos de milho, considerando-se a dose total aplicada (100 kg N ha^{-1}), variou de 46% no sistema de milho em monocultura a 48% no sistema em consórcio com *P. maximum* (Tabela 2), não existindo diferenças significativas entre os sistemas de cultivo. A recuperação do fertilizante nitrogenado pelos grãos de milho obtida no presente trabalho foi semelhante à observada por

Almeida (2008), que foi de 40%, por Scivittaro et al. (2003) que obtiveram entre 39 e 47%, e Coelho et al. (1991) que observaram recuperação de 44%, e que utilizaram como fonte de N a uréia. Duete et al. (2009) encontraram uma ERNF nos grãos de milho em torno de 48% quando o nitrato de amônio foi aplicado em cobertura e a planta encontrava-se com oito folhas expandidas. Não foram observadas diferenças para ERNF nos grãos de milho em sistemas de monocultura de milho e de milho em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* quando o N-fertilizante foi aplicado em cobertura no estágio de cinco a seis folhas e na dose de 64 kg N ha⁻¹ (LARA CABEZAS e PÁDUA, 2007).

Tabela 2. Eficiência de recuperação do nitrogênio do fertilizante (ERNF) e nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM) em grãos e palhada de milho em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola* ⁽¹⁾.

Manejo	Grãos		Palhada
		ERNF (%)	
Milho em monocultura	45,75		29,53
Milho/ <i>P. maximum</i>	48,33		31,48
Milho/ <i>B. humidicola</i>	46,87		31,25
CV(%)	14,45		6,23
		NDFM (kg ha ⁻¹)	
Milho em monocultura	45,75		29,53
Milho/ <i>P. maximum</i>	48,33		31,48
Milho/ <i>B. humidicola</i>	46,87		31,25
CV(%)	14,45		6,23

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No presente trabalho, considerando-se que a ERNF nos grãos variou de 46,87 a 48,33% e a ERNF na palhada do milho foi de 29,53 a 31,48% (Tabela 2), verifica-se que a ERNF pela planta do milho foi entre 75,3 a 79,8%. Lara Cabezas e Pádua (2007) avaliando sistemas de produção de milho em monocultura e em consórcio com *B. ruziziensis* encontraram uma ERNF média em torno de 43% para os grãos e 30% para a parte aérea do milho (palhada), totalizando uma ERNF na planta do milho em torno de 73% utilizando o sulfato de amônio como fertilizante nitrogenado. Por outro lado, menores valores foram

obtidos por Almeida (2008) ao aplicarem 150 kg N ha⁻¹ na forma de uréia na semeadura do milho em monocultura e em consórcio com *B. ruziziensis*; a ERNF nos grãos variou de 36 a 40% e na palhada do milho de 21 a 24%, totalizando uma ERNF na planta de milho entre 57 a 64%.

Considerando-se os três sistemas de manejo e somando-se a quantidade de NDFM nos grãos e na palhada de milho (que variou entre 75,3 a 79,8%. kg N ha⁻¹) observou-se que os grãos de milho acumularam a maior parte do N-fertilizante absorvido pela planta, em torno de 60 a 62%. Estes valores estão próximos aos encontrados por Campos (2004) que obteve uma ERNF de 63% nos grãos do milho e 37% nas demais partes da planta, quando o milho foi cultivado em consórcio com *Brachiaria decumbens*, e adubado com 120 kg N ha⁻¹ em cobertura.

O NDFM recuperado pelas forrageiras *P. maximum* e *B. humidicola* foi de 3,71 kg ha⁻¹ e 2,08 kg ha⁻¹, representando uma eficiência de 3,71% e 2,08% de recuperação de N-fertilizante, respectivamente (Tabela 3). Resultados semelhantes foram também encontrados por Lara Cabezas e Pádua (2007) e Almeida (2008) para a *Brachiaria ruziziensis* em sistemas de consórcio com o milho, em torno de 1,6 kg N ha⁻¹ a 2,1 kg N ha⁻¹ representando de 1,4 a 1,5% da eficiência de recuperação do N-fertilizante. O trabalho de Fernandes e Libardi (2012) mostrou que em sucessão ao milho, a *Brachiaria ruziziensis* recuperou 3,98 kg ¹⁵N ha⁻¹ aplicado, representando em torno de 3% da ERNF.

Considerando-se a absorção do fertilizante nitrogenado pela planta de milho (pelos grãos e pela palhada) e pelas forrageiras nos três sistemas de manejo, observou-se no presente trabalho que dos 100 kg N ha⁻¹ aplicados, o sistema de consórcio de milho com *P. maximum* resultou na absorção de 8,24 kg N ha⁻¹ a mais do que o milho em monocultura (Figura 3). Esses resultados mostram que além de não haver competição entre o milho e a forrageira na assimilação do N do fertilizante, o sistema de consórcio milho/*P. maximum* em relação ao

milho em monocultura, pode ter proporcionado uma menor perda do N-fertilizante por lixiviação ou desnitrificação. Além disso, a absorção de N pelas forrageiras representa uma reserva de nitrogênio orgânico que retornará ao solo para os cultivos subsequentes, evitando-se assim as perdas do N mineral aplicado.

Tabela 3. Nitrogênio derivado do fertilizante mineral (NDFM), nitrogênio derivado do solo (NDS) e a eficiência de recuperação do fertilizante mineral (ERNF) na parte aérea das forrageiras *Panicum maximum* cv. Aruana e *Brachiaria humidicola* em consórcio com milho em sistema plantio direto.

Nitrogênio no sistema	<i>P. maximum</i> cv. Aruana	<i>Brachiaria humidicola</i>
NDFM (kg ha ⁻¹)	3,71	2,08
ERNF (%)	3,71	2,08
NDS (kg ha ⁻¹)	7,52	4,33

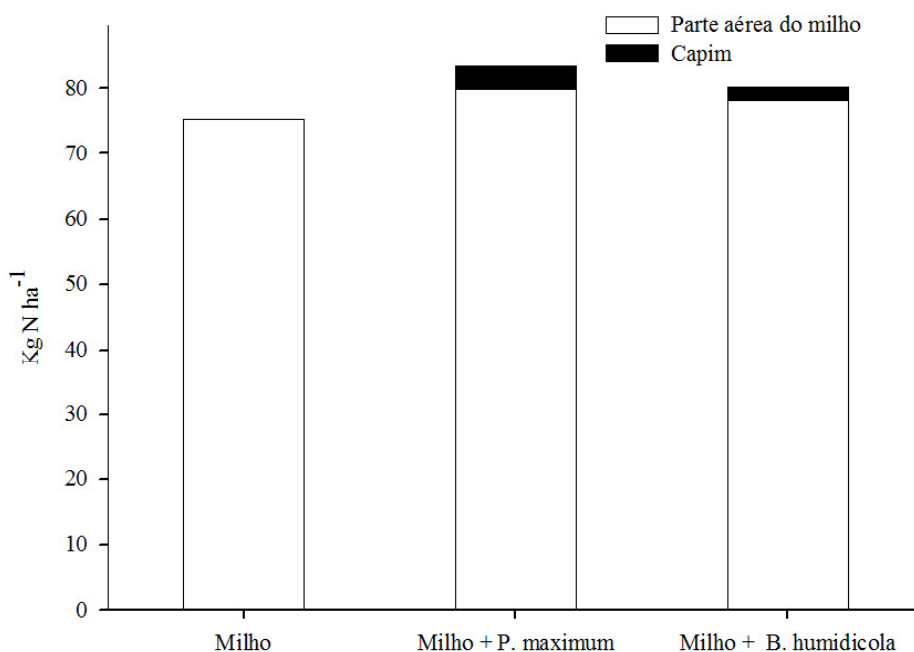


Figura 3. Recuperação pela planta de milho (grãos + palhada) e pela parte aérea de forrageiras do nitrogênio aplicado na forma de sulfato de amônio em três sistemas de produção de milho: em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*.

3.3.2. Nitrogênio derivado do solo e nitrogênio total acumulado no milho

A capacidade do solo de suprir N à cultura do milho nos grãos (NDS) variou de 64,07 kg ha⁻¹ para o sistema em monocultura a 81,53 kg ha⁻¹ para o sistema consorciado com *P. maximum* cv. Aruana (Tabela 4), o que representa de 58 a 63% de todo o N acumulado nos grãos. Considerando-se a planta toda (grãos e palhada) e os três sistemas de manejo, observou-se que a maior parte do N na planta foi proveniente do solo, em torno de 60%. Valores semelhantes para a percentagem de N na parte aérea do milho proveniente do solo foram encontrados por Fernandes e Libardi (2012) sob Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, de cerca de 53 a 56% para doses de N variando de 120 a 180 kg ha⁻¹. Segundo Delgado et al. (2001), a elevada capacidade do solo de suprir N pode estar associada a elevados teores de N mineral presente no solo (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺) e ao incremento da taxa de mineralização do N orgânico do solo devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Tabela 4. Nitrogênio derivado do solo (NDS) e nitrogênio total acumulado (NTOTAL) em grãos e palhada de milho em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*⁽¹⁾.

Manejo	Grãos		Palhada
		NDS (kg ha ⁻¹)	
Milho em monocultura	64,07		37,82
Milho/ <i>P. maximum</i>	81,53		41,58
Milho/ <i>B. humidicola</i>	78,86		40,41
CV (%)	13,40		18,69
		NTOTAL (kg ha ⁻¹)	
Milho em monocultura	109,82		67,35
Milho/ <i>P. maximum</i>	129,86		73,06
Milho/ <i>B. humidicola</i>	125,73		71,66
CV (%)	12,37		11,72
		NTOTAL (kg ha ⁻¹)	
Milho em monocultura		177,17	
Milho/ <i>P. maximum</i>		202,92	
Milho/ <i>B. humidicola</i>		197,39	
CV (%)		11,63	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar de não se ter obtido diferenças estatísticas significativas entre os sistemas de manejo, o NDS alocado na planta de milho (nos grãos e na palhada) representou, no sistema consorciado com *P. maximum*, 21,22 kg N ha⁻¹ a mais que aquele no milho em monocultura.

No Cerrado, sob sistema convencional de manejo, a capacidade do solo de suprir N representou 54 kg ha⁻¹ para a cultura do milho (COELHO et al., 1992), e segundo os autores, esta quantidade equivale a uma taxa de mineralização de 2,0% do nitrogênio orgânico do solo na camada de 0-20 cm durante o ciclo da cultura. Em um experimento sob plantio direto há quatro anos, 77% de todo o nitrogênio acumulado na planta de milho proveio do solo e o restante (23%) do fertilizante (SILVA et al., 2006). Calvache et al. (1982) verificaram que 85% do total de N acumulado pela planta de milho proveio do solo. Ambos os trabalhos de Silva et al. (2006) e Calvache et al. (1982) utilizaram como fonte de N a uréia, que apresenta menor eficiência de recuperação pelo milho em relação ao sulfato de amônio (LARA CABEZAS e PÁDUA, 2007), o que pode justificar os maiores valores de NDS em relação ao presente estudo.

Scivittaro et al. (2003) mostraram que o uso de plantas de cobertura, como a mucuna-preta, intensifica a recuperação pelo milho do N-fertilizante mineral sob Latossolo Vermelho e que o N da planta de cobertura apresenta maior efeito residual no solo do que N-fertilizante. Segundo Recous et al. (1988), em sistemas diferenciados de manejo, como os de rotação, a imobilização de nitrogênio mineral no solo pode, a curto prazo, limitar a eficiência de recuperação anual de fertilizantes nitrogenados, mas a longo prazo, pode aumentar a disponibilidade de nitrogênio por impedir que o N seja perdido no sistema solo-planta-atmosfera, aumentando assim, o reservatório ativo de N no solo.

Com base na quantidade total de N acumulado na palhada do milho (Tabela 4) e os três sistemas de manejo, observa-se que entre 67,35 a 73,06 kg N ha⁻¹ (36 a 38% do N total da planta) retornou ao solo na forma de N orgânico. Considerando-se ainda que as forrageiras *P.*

maximum e *B. humidicola* absorveram de 6,41 a 11,23 kg N ha⁻¹ nas suas partes aéreas, os sistemas de consórcio incorporaram de 11 a 17 kg N ha⁻¹ a mais que o sistema de monocultivo de milho, conforme observa-se na Figura 4.

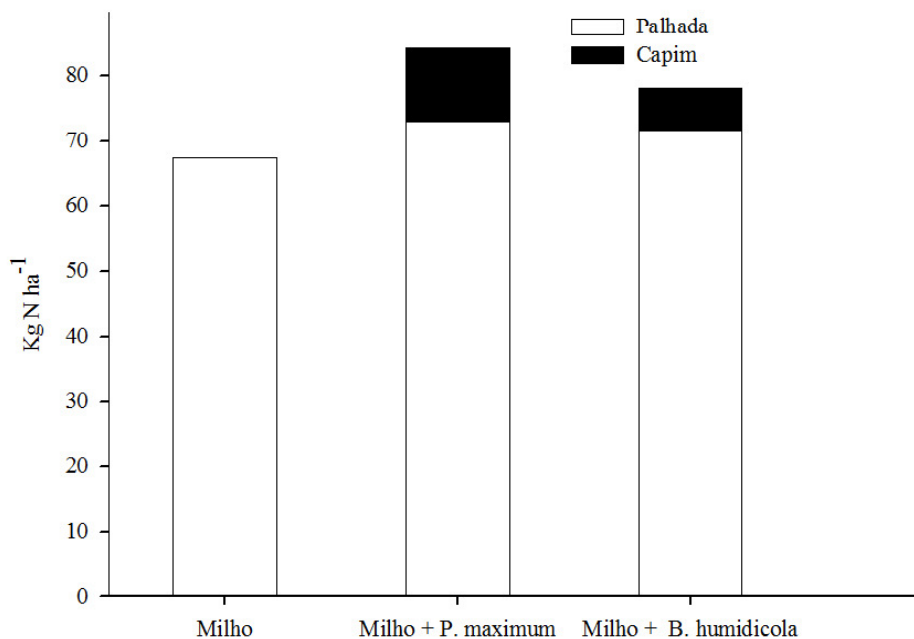


Figura 4. Nitrogênio acumulado na palhada do milho e nas partes aéreas de forrageiras representando a quantidade de N que retornou ao solo em três sistemas de produção de milho: em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*.

Valores de N total acumulado nos grãos de milho variaram de 109,82 a 129,86 kg N ha⁻¹ (Tabela 4). Duete et al. (2009) trabalhando nesta cultura adubada com 120 kg N ha⁻¹ na forma de nitrato de amônio, encontraram que o N total acumulado nos grãos variou de 100,91 a 128,93 kg N ha⁻¹. Considerando--se a quantidade total de N extraído pela cultura (grãos e palhada), esta variou de 177,17 (milho em monocultura) a 202,92 kg ha⁻¹ (milho consorciado com *P. maximum*) (Tabela 4), sendo que, em média, 62 a 64% desse N foi encontrado nos grãos, e o restante na palhada, similar aos resultados encontrados por Lara Cabezas et al. (2000) e Silva et al. (2006), onde observaram, respectivamente, que 52% e 64% do N total

absorvido na planta estava alocado nos grãos, indicando grande translocação do N para os grãos.

3.3.3. Nitrogênio da biomassa microbiana e nitrogênio disponível no solo

O nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBMS) antes do plantio do milho variou de 28,80 a 52,81 mg N kg⁻¹ de solo nos sistemas de milho em monocultura e em consórcio com *P. maximum*, respectivamente (Tabela 5). O N disponível variou entre 50,42 e 71,13 mg N kg⁻¹ de solo também nos sistemas de milho em monocultura e em consórcio com *P. maximum*, respectivamente (Tabela 5). O sistema de consórcio milho/*P. maximum* destacou-se com maiores valores de NBMS e N disponível em relação ao sistema em monocultura, mostrando, portanto, maior capacidade de fornecer N à cultura do milho durante o seu ciclo de cultivo. O sistema de consórcio milho/*B. humidicola* também apresentou maiores valores de N disponível em relação ao sistema em monocultura.

Considerando-se que 1 m³ de solo equivale a 1 tonelada do mesmo, e baseando-se na quantidade de N disponível de 50,42 mg N kg⁻¹ de solo encontrada no sistema de monocultura, obteve-se uma disponibilidade de 25,21 kg N ha⁻¹ na profundidade de 0-5 cm. Extrapolando-se este valor para a profundidade de 0-20 cm, verificou-se uma disponibilidade de nitrogênio de 100,84 kg N ha⁻¹ antes do plantio do milho. Esse valor está muito próximo daquele NDS absorvido pelo milho (grãos + palhada) no sistema de monocultura (64,07 + 37,82 = 101,88 kg N ha⁻¹) (Tabela 4). Assim, o N disponível no solo pode ter representado uma boa parte do N absorvido do solo pelo milho no sistema de monocultura. A maior quantidade absorvida pelo milho de NDS no sistema consorciado milho/*P. maximum* em relação àquele absorvido pelo milho sob monocultura teve influência da maior disponibilidade de N no solo quantificada antes do plantio, e que para o consórcio milho/*P. maximum* pode ter

representado em torno de 35,37 kg N ha⁻¹ na profundidade de 0-5 cm e de 141,48 kg N ha⁻¹ na profundidade de 0-20 cm.

Tabela 5. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo - NBMS e N disponível em solo submetido a três sistemas de manejo e avaliado na profundidade de 0-5 cm, antes da semeadura do milho⁽¹⁾.

Manejo	NBMS	N disponível
mg N kg ⁻¹ de solo		
Milho em monocultura	28,80 b	50,42 b
Milho/ <i>P. maximum</i>	52,81 a	71,13 a
Milho/ <i>B. humidicola</i>	40,78 ab	68,93 a
CV(%)	15,9	6,07

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Liang e Mackenzie (1996) em estudo desenvolvido no Canadá observaram que entre 20,3 e 33,8% do N-fertilizante aplicado foi incorporado na matéria orgânica do solo, e que até 22% desse N foi imobilizado pela biomassa microbiana do solo (BMS). Nesse mesmo trabalho, observou-se que a imobilização do N-fertilizante foi maior nos estágios iniciais de produção do milho, porém, até o final do ciclo da cultura o N da BMS diminuiu, indicando um *turnover* de aproximadamente 65 kg N ha⁻¹. Assim, a BMS pode imobilizar o N derivado do fertilizante e, assim, diminuir a perda de N do sistema solo-planta, aumentando a disponibilidade de N no solo e conseqüentemente a absorção de NDS pelas culturas. Entretanto, deve-se ressaltar que existe uma estreita relação entre a imobilização de N pela BMS e a presença de carbono orgânico no solo (LIANG e MACKENZIE, 1996; HATCH et al., 2000; VARGAS et al., 2005; COSER et al., 2007). Maiores valores de NDS podem estar, portanto, também relacionados ao maior acúmulo de N da BMS e de N disponível antes da semeadura do milho na camada superficial (0-5 cm) dos sistemas de manejo em consórcio (Tabela 5). O NBMS no sistema de consórcio milho/*P. maximum* foi maior que no milho em monocultura.

3.3.4. Matéria seca do milho e das forrageiras, produtividade e variáveis agronômicas do milho

A produtividade, produção de matéria seca, índice de colheita (IC) e coeficiente de utilização biológica do N pelo milho não diferiram significativamente entre os sistemas de manejo (Tabela 6). Assim, a presença das forrageiras não afetou a produtividade dos grãos, embora tenha se observado uma tendência a maior produção de grãos nos sistemas consorciados (Tabela 6). Lara Cabezas (2011) também não constatou diferenças entre sistemas de manejo de monocultura e de consórcio de milho com *Brachiaria* sp. e associaram esses resultados à liberação de inibidores de nitrificação pelas raízes da *Brachiaria*, o que aumentaria a disponibilidade de N-NH_4^+ no ambiente radicular para a cultura consorciada (CASTOLDI, 2011). Subbarao et al. (2006, 2007) observaram que exsudatos liberados pelas raízes de *Brachiaria humidicola* inibiram a nitrificação no solo, enquanto que o mesmo não foi observado pelo milho. Ainda, há estudos que mostram a melhor assimilação e eficiência de utilização do N-NH_4^+ pelo milho em relação à forma N-NO_3^- nos estádios iniciais de crescimento da planta (MURPHY e LEWIS, 1987; TAYLOR e BLOOM, 1998).

O rendimento da cultura variou de 9552 a 11184 kg ha^{-1} , valores considerados altos, o que pode justificar a elevada ERNF na parte aérea da planta. Lara Cabezas (2011) observou uma ERNF na parte aérea do milho em torno de 64,6% e produtividade de grãos entre 8682 a 9376 kg ha^{-1} para sistemas de monocultura de milho e consorciados com *Brachiaria*, respectivamente. No trabalho do citado autor, a aplicação de N na forma de sulfato de amônio foi realizada superficialmente na entrelinha do milho, o que também justifica os menores valores de ERNF na parte aérea do milho em relação ao presente trabalho.

Apesar não ter sido significativa a diferença de produtividade entre os sistemas de manejo, observou-se que o milho consorciado com *P. maximum* produziu 1,6 Mg ha^{-1} a mais que o milho em monocultura, sendo este aumento relacionado com a maior disponibilidade de

N no solo, conforme verificado a partir dos resultados de NBMS e N disponível no solo (Tabela 5). Conforme Bull (1993), a quantidade de N necessária para produzir uma tonelada de grãos de milho é de 14,2 kg N, considerando uma produtividade média de 9,1 t ha⁻¹. Portanto, com base nessa informação, seriam necessários 22,72 kg N ha⁻¹ para produzir de 1,6 t ha⁻¹ de grãos de milho. O milho em consórcio com *P. maximum* absorveu 21,22 kg N ha⁻¹ (NDS) a mais que o milho em monocultura, valor muito próximo dos 22,72 kg N ha⁻¹ necessários para elevar a produtividade de 9552 para 11184 kg ha⁻¹ de grãos. O incremento na produtividade do milho de 1,6 Mg ha⁻¹ pode representar lucros para o agricultor. Assim, o sistema consorciado de milho/*P. maximum* aumentou a quantidade de N no solo em comparação com o plantio do milho em monocultura, que se refletiu na produtividade dos grãos do milho.

Em relação ao IC (índice de colheita) foram observados valores mais elevados do que aqueles encontrados na literatura (GAVA et al., 2006). Segundo Dourado-Neto e Fancielli (2000), o IC pode variar desde 0,60 a 0,10, sendo que valores altos poderão indicar maior habilidade de um genótipo de combinar elevada capacidade de produção total e de destinar a matéria seca acumulada a componentes de interesse econômico.

Tabela 6. Produtividade, produção de matéria seca do milho (MS milho), produção de matéria seca das forrageiras (MS forrageiras) índice de colheita (IC) e coeficiente de utilização biológica de N (CUB) pelo milho cultivado sob sistemas em monocultura, em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e em consórcio com *Brachiaria humidicola*⁽¹⁾.

Sistema de Manejo	Produtividade	MS milho	MS forrageiras	IC	CUB
		-----kg ha-1-----			
Milho	9552,00	4419,80		0,68	79,58
Milho/ <i>P. maximum</i>	11184,00	4407,40	650,65	0,71	76,44
Milho/ <i>B. humidicola</i>	11052,00	4913,60	529,24	0,70	81,63
CV(%)	11,95	10,41		4,46	4,87

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3.5. Taxa de decomposição e composição química dos resíduos do milho e das forrageiras

A decomposição da palhada de milho consorciado com *P. maximum* foi mais elevada do que sob monocultura e consorciado com *B. humidicola* (Figura 5). Verificou-se ainda na Tabela 7, que a meia vida e o tempo de reciclagem variaram entre 173,29 a 192,54 dias e 250,00 a 277,78 dias, respectivamente. A maior taxa de decomposição possivelmente relacionou-se com a menor relação C/N encontrada no capim *P. maximum* em comparação com aquela observada no milho (Tabela 8), o que pode ter influenciado na taxa de decomposição mais acelerada do milho + *P. maximum*. Esses resultados reforçam que a presença do capim *P. maximum* em consórcio com o milho resulta em maior velocidade de decomposição dos restos culturais e conseqüentemente mineralização de N no solo, aumentando a disponibilidade de N para o desenvolvimento do milho, e assim, representando uma alternativa de consórcio interessante para o agricultor.

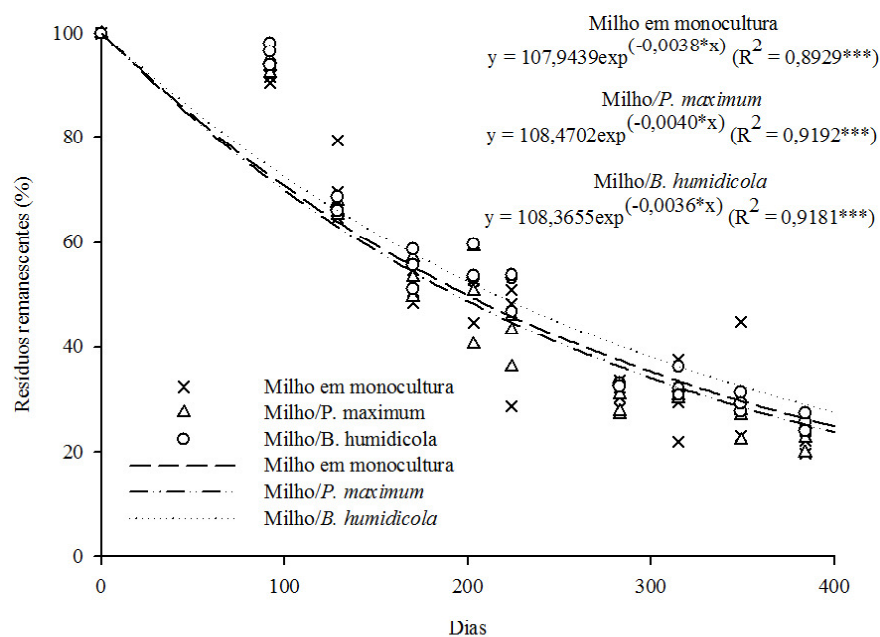


Figura 5. Taxa de resíduos remanescentes sobre o solo de milho, milho + *P. maximum* e milho + *B. humidicola* em função do tempo. ***significativo a 0,1%.

Tabela 7. Constante k, meia vida e tempo de reciclagem das espécies milho, milho + *P. maximum* cv. Aruana e milho + *B. humidicola*.

Espécie vegetal	Constante k	Meia vida (h)	Reciclagem (r)
			Dias
Milho	0,0038	182,41	263,16
Milho + <i>P. maximum</i>	0,0040	173,29	250,00
Milho + <i>B. humidicola</i>	0,0036	192,54	277,78

Tabela 8. Teores médios de hemicelulose, celulose e lignina e relação C/N em milho, *Panicum maximum* cv. Aruana e *Brachiaria humidicola*⁽¹⁾.

Espécie vegetal	Hemicelulose	Celulose	Lignina	Relação C/N
		%		
Milho	27,39 b	16,68	6,58 b	62,85 b
<i>P. maximum</i>	26,61 b	16,22	5,24 a	47,91 a
<i>B. humidicola</i>	30,53 a	16,56	4,39 a	51,75 ab
CV (%)	2,95	7,59	6,65	9,41

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.4. CONCLUSÕES

- A introdução de espécies forrageiras (*P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola*) em sistema de consorciação não alterou a eficiência de recuperação do nitrogênio aplicado à cultura do milho;
- As forrageiras tropicais *P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola*, consorciadas com milho, absorveram, respectivamente, 3,71 e 2,08% do N-fertilizante aplicado na forma de sulfato de amônio;
- O solo foi a principal fonte de nitrogênio para o milho nos sistemas avaliados;
- A produtividade do milho não foi afetada pela inserção de forrageiras tropicais em sistemas de consórcio, mas houve uma tendência do sistema de consórcio milho/*P. maximum* em produzir 1,6 t ha⁻¹ a mais na produção dos grãos de milho em relação ao sistema de monocultura.

3.5. REFERÊNCIAS

ALAMIN, A. M. S.; SUPRAYOGO, D.; HANDAYAN, E. Effect of plant residues application on nitrogen release from plant residues previously added. **Journal of Engineering**, v. 3, n. 2, p.52-58, 2013.

ALMEIDA, R. E. M. **Balço de ¹⁵N em sistemas de produo de milho para a adoo do plantio direto no Oeste baiano**. 2008. 85f. Dissertao (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de So Paulo, Piracicaba, 2008.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendao de adubao nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Cincia do Solo**, Viçosa, v. 26, p.241-248, 2002.

BERGSMAN, T. T.; OSTROM, N. E.; EMMONS, M.; ROBERTSON, G. P. Measuring simultaneous fluxes from soil of N₂O and N₂ in the field using the ¹⁵N-gas "nonequilibrium" technique. **Environmental Science and Technology**, v. 35, p.4307-4312, 2001.

BIANCHINI, D.; CARRIEL, J. M.; LEINZ, F. F.; RODRIGUES, F. C. Viabilidade de doze capins tropicais para a criao de ovinos. **Boletim de Indútria Animal**, Nova Odessa, v. 56, n.2, p.163-167, 1999.

BRASIL. Ministrio da Saude. Agncia Nacional de Vigilncia Sanitria. **Métodos Físicos-Químicos para Análise de Alimentos** / Ministrio da Saude, ANVISA. Braslia: Ministrio da Saude, 2005. 1018p.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 17, p.837-842, 1985.

BULL, L. T. Nutrio mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.

CABRERA, M. L.; KISSEL, D. E.; VIGIL, M. F. Potential nitrogen mineralization: laboratory and field evaluation. In: HAVLIN, J. L.; JACOBSEN, J. S. (Eds.). **Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations**. Madison: Soil Science Society of America, SSSA and ASA, special publication, n. 40, 1994. p.15-30.

CALVACHE, U. M.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; VITÓRIA, R.; SILVA, J.C.A.; URQUIAGA, S. Absorção e redistribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante $\text{CO}^{(15}\text{NH}_2)_2$, por dois híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n.11, p.1547-1557, 1982.

CAMPOS, F. P.; NUSSIO, C. M. B.; NUSSIO, L. G. Determinação de FDN, FDA e lignina pelo método sequencial. In: **Métodos de análise de alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 2004. p.67-70.

CASTOLDI, G. **Nitrogênio no sistema solo-planta após a dessecação de Brachiarias**. 2011. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2011.

CHEN D.; SUTER H.; ISLAM A.; EDIS R.; FRENEY J. R. Prospects of improving efficiency of fertilizer nitrogen in Australian agriculture: a review of enhanced efficiency fertilizers. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p.289-301, 2008.

COELHO, A. M.; FRANCA, G. E.; BAHIA, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de Nitrogênio (^{15}N) em um Latossolo Vermelho-escuro, sob vegetação de Cerrado, Cultivado com Milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n.2, p.187-193, 1991.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.61-67, 1992.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB, v. 1, 2013. 67p.

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G., AMÁBILE, R. F. RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado, com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p.399-406, 2007.

CURTIN, D.; CAMPBELL, C. A. Mineralizable nitrogen. In: CARTER, M. R.; GREGORICH, E. G. (Eds.) **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: CRC Press, 2nd edition, 2004. p.599-606.

DELGADO, R.; RAMIREZ, R.; URQUIAGA, S. Colocación de nitrogênio em el suelo y la eficiência de uso por el maiz. **Agronomia Tropical**, v. 51, n. 3, p. 337-350, 2001.

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

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O.O.S.; BASANTA, M.V.; CONG, P.T.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S.M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M.S.A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L.C.; WANG, J.Y.; ZAGAL, E.; KESSEL, C. van. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, p.139-152, 2010.

DUETE, R. E. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. R. Acúmulo de nitrogênio (¹⁵N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n.2, p.463-472, 2009.

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

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2006. 306p.

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

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do nitrogênio do sulfato de amônio (^{15}N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 885-893, 2012.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.3, p.279-287, 2005.

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

GERDES, L.; MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; CUNHA, A. C.; BUENO, M. S.; POSSENTI, R. A.; SCHAMMASS, E. A. Composição química de digestibilidade da massa de forragem em pastagem irrigada de capim-Aruana exclusivo ou sobre-semeado com mistura de aveia preta e azevém. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 34, n.4, p.1098-1108, 2005.

GIANELLO, C. **Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil**. 1985. 93p. (PhD Tesis) - Iowa State University, Ames, 1985.

HATCH, D.J.; LOVELL, R.D.; ANTIL, R.S.; JARVIS, S.C.; OWEN, P.M. Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, p.288-293, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Sistema Santa Fé. In: **Integração lavoura-pecuária** Kluthcouski, J.; Stone, L. F.; Aidar, H. (Eds.). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.407-459.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Sulfato de amônio e uréia em cobertura no milho em semeadura direta no Cerrado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.6, p.817-824, 2010.

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

LARA-CABEZAS, W. A. R. Manejo de gramíneas cultivadas em forma exclusiva e consorciada com *Brachiaria ruziziensis* e eficiência do nitrogênio aplicado em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n.2, p.130-145, 2011.

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

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

LIANG, B. C.; A. F. MACKENZIE. Effect of fertilization on organic and microbial biomass nitrogen using ^{15}N under corn (*Zea mays* L.) in two Quebec soils. **Fertilizer Research**, v. 44, p.143-149, 1996.

MARQUES, J. A.; VENCESLAU, E. A. J.; EIRAS, C. E.; STRADA, E. S. O.; PINHEIRO, E. E. G.; SILVA, P. A.; PRADO, I. N.; MATOS, L. H. A. Comportamento ingestivo de cordeiros Santa Inês em pastagem de *Panicum maximum* cv. Aruana: aspectos metodológicos. **Revista Campo Digital**, Campo Mourão, v. 7, n.1, p.45-52, 2012.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; VILELA, L. Recuperação de ^{15}N -Uréia no sistema solo-planta de pastagem de capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.95-101, 2009.

MEISINGER, J. Evaluating plant available nitrogen in soil-crop system. In: HAUCK, R. D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA, 1984. p.391-416.

MILAGRES, J. J. M.; SANT'ANA FILHO, C. R.; SCHONINGER, E. L.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O., BENDASSOLLI, J. A. Use of the ¹⁵N gas flux method to calculate the emission factor for N₂O in a Brazilian soil cultivated with sugarcane. In: **Water, Food, Energy & Innovation for a Sustainable World**. Tampa: ASA, CSSA & SSSA International Annual Meeting, Nov. 03-06, 2013. Acesso: 17 set. 2013. Disponível em: <<http://scisoc.confex.com/crops/2013am/webprogram/Paper81624.html>>

MURPHY, A. T.; LEWIS, O. A. M. Effect of nitrogen feeding source on the supply of nitrogen from root to shoot and the site of nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L. cv R201). **New Phytologist**, v. 107, p. 307-333, 1987.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M.; KARAM, D.; NETO, M. M. G.; COBUCCI, T.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; ALVARENGA, R. C.; QUEIRÓZ, L. R. **Manejo de herbicidas na dessecação de pastagem e na cultura do milho consorciado com gramíneas forrageiras**. (Circular Técnica). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 4p.

PARE, T.; GREGORICH, E.G.; NELSON, S. D. Mineralization of nitrogen from crop residues and N recovery by maize inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 218, p.11-20, 2000.

PERES, R. M.; SOUZA, F. D.; JUSTO, C. L.; COUTINHO FILHO, J. L. V. Produção de sementes do capim *Brachiaria humidicola*: uma alternativa para a agricultura familiar. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n.2, 2012.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de Cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n.3, p. 655-661, 2004.

POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; LOPES, M. N.; GOMES, F. H. T.; LACERDA, C. F.; AQUINO, B. F.; MAGALHÃES, J. A. Características morfofisiológicas do capim-

aruana sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 11, n.4, p. 1187-1210, 2010.

RECOUS, S.; FRESENEAU, C.; FAURIE, G.; MARY, B. The fate of labeled ^{15}N urea and ammonium nitrate applied to a winter wheat crop. I. Nitrogen transformations in the soil. **Plant and Soil**, v. 112, p.205-214, 1988.

SANTOS, P. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. **Ecology**, v. 62, p.654-665, 1981.

SAS. The SAS – System for Windows, Release 9.3, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA. 2006

SCHULTEN, H. R., SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 40, n.26, p.1-15, 1998.

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

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006. 93f. Tese (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, 2006.

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

SNYDER, A. J.; JOHNSON-MAYNARD, J. L.; MORRA, M. J. Nitrogen mineralization in soil incubated with N-15 labeled Brassicaceae seed meals. **Applied Soil Ecology**, v. 46, p.73-80, 2010.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SUBBARAO, G.V.; ISHIKAWA, T.; ITO, O.; NAKAHARA K.; WANG, H. Y.; BERRY, W. L. A bioluminescence assay to detect nitrification inhibitors released from plant roots: a case study with *Brachiaria humidicola*. **Plant and Soil**, v. 288, p.101-112, 2006.

SUBBARAO, G. V.; RONDON, M.; ITO, O.; ISHIKAWA, T.; RAO, I. M.; NHAKARA K.; LASCANO, C.; BERRY, W. L. Biological nitrification inhibition (BNI) – is it a widespread phenomenon? **Plant and Soil**, v. 294, p.5-18, 2007.

TAYLOR, A. R.; BLOOM, A. J. Ammonium, nitrate, and proton fluxes along the maize root. **Plant, Cell and Environment**, v. 21, p.1255-1263, 1998.

VALÉRIO, J. R.; KOLLER, W. W. Proposição para o manejo integrado das cigarrinhas-das-pastagens. **Pasturas Tropicales**, v. 15, n. 3, p.10-16, 1993.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p.703-707, 1987.

VARGAS, L. K.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p.76-83, 2005.

VARVEL, G. E.; PETERSON, T. A. Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation systems. **Agronomy Journal**, v. 82, p.935-938, 1990.

YANG, W. H.; TEH, Y. A.; SILVER, W. A test of a field-based ¹⁵N-nitrous oxide pool dilution technique to measure gross N₂O production in soil. **Global Change Biology**, v. 17, n.12, p.3577-3588, 2011.

ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; SBRISSIA, A. F. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana gineagrass swards: morphogenetic and structural characteristics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 41, n.8, p.1848-1857, 2012.

ZHOU, X.; LEIBOVITCH, S.; MACKENZIE, A. F.; MADRAMOOTOO, C. A.; DUTILLEUL, P.; SMITH, D. L. Confined microplot size for nitrogen-15 uptake by corn plants in a corn intercrop system. **Agronomy Journal**, v 90, p.155-161, 1998.

CAPÍTULO 2

BIOMASSA MICROBIANA, NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO DE MILHO E FORRAGEIRAS NO CERRADO

BIOMASSA MICROBIANA, NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO SOB SISTEMAS DE MONOCULTURA E CONSORCIADO DE MILHO E FORRAGEIRAS NO CERRADO

RESUMO

O sistema plantio direto (SPD) com práticas de consórcio de forrageiras e graníferas no Cerrado pode aumentar os teores de matéria orgânica no solo devido ao maior aporte de resíduos vegetais. A matéria orgânica do solo e alguns de seus componentes representam atributos chave para se avaliar a qualidade do solo. O objetivo deste trabalho foi quantificar o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, o nitrogênio e o carbono total do solo e suas relações em solo sob plantio direto. Os sistemas de manejo avaliados foram: milho em monocultura; milho em consórcio com *P. maximum* cv. Aruana; milho em consórcio com *B. humidicola*; *P. maximum* cv. Aruana em monocultura; e *B. humidicola* em monocultura. O experimento foi conduzido durante a safra de 2010/2011 em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no Cerrado sob um delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. O solo foi amostrado nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Os sistemas consorciados de milho aumentaram a disponibilidade de nitrogênio para a planta, mas não alteraram os teores de C_{OT} e N_T do solo em relação ao milho cultivado em monocultura. A presença da forrageira *P. maximum* no cultivo do milho aumentou os teores de nitrogênio da BMS e o quociente microbiano de N do solo em relação aos sistemas de monocultura, e aumentou também, o carbono da BMS em relação ao milho consorciado com *B. humidicola* na camada superficial do solo.

Palavras chave: *Zea mays* L., biomassa microbiana do solo, *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum*, qualidade do solo, nitrogênio disponível, matéria orgânica do solo.

**SOIL MICROBIAL BIOMASS, NITROGEN AND CARBON IN MONOCULTURE
AND ININTERCROPPED SYSTEMS WITH MAIZE AND FORAGES IN THE
CERRADO**

ABSTRACT

The no-tillage system associated with intercropping practices of grains and forages may increase soil organic matter due mainly to the residues left on the soil surface. Soil organic matter and some of its constituents are key indicators to evaluate soil quality. The objective of this work was to quantify soil nitrogen and total organic carbon, microbial biomass and the available nitrogen. Microbial biomass was quantified using the chloroform fumigation-extraction method. The available nitrogen content in the soil was extracted with a 11,2 pH phosphate-borate buffer and Devarda's alloy. The experiment was conducted throughout the 2010/2011 season, in a Dystrophic Red-Yellow Latosol (Typic Haplustox) under no-tillage system in the Cerrado. The experiment was established in a complete randomized block design with three replicates and with the following treatments: maize grown exclusively; maize intercropped with *Panicum maximum* cv. Aruana; and maize intercropped with *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cv. Aruana grown exclusively; and *Brachiaria humidicola* grown exclusively. The intercropped systems increased available nitrogen in the soil, but did not alter the total soil nitrogen and carbon in comparison to maize in monoculture. The use of *P. maximum* with maize increased nitrogen microbial biomass and microbial quotient in comparison to the monocultured systems, and also increased carbon microbial biomass in comparison to Maize/*B. humidicola* in the 0-5 cm layer of the soil.

Key words: *Zea mays* L., soil microbial biomass, *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum*, soil quality, available nitrogen, soil organic matter.

4.1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 70, a região do Cerrado tem enfrentado modificações na sua estrutura e funcionamento devido à intensa urbanização e exploração agropecuária, geradas por um modelo de ampliação de sua fronteira agrícola para a produção de alimentos, fibras e energia. Atualmente, aproximadamente 48% do Cerrado apresentam algum tipo de uso da terra, sendo que as pastagens cultivadas (26,5%) e as culturas agrícolas (10,6%) são predominantes (MMA, 2011). A agropecuária intensiva associada a sistemas de cultivo convencional com o uso de arados e grades pode reduzir a qualidade dos solos devido à perda de matéria orgânica (MOS) e maiores emissões de CO₂, CH₄ e N₂O (LAL et al., 2002; JANTALIA et al., 2007; CARMO et al., 2007; VEZZANI et al., 2009; KARLEN et al., 2013).

O sistema plantio direto (SPD) com práticas de consórcio ou de rotação de forrageiras e graníferas no Cerrado pode aumentar os teores de matéria orgânica no solo devido ao maior aporte de resíduos vegetais e, conseqüentemente, aumentar a disponibilidade de nutrientes, principalmente nas camadas superficiais do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2003; BATTLE-BAYER et al., 2010). A conversão de áreas de monocultura de milho para sistemas de pastagens também pode alterar os conteúdos de carbono no solo (ARAÚJO et al., 2007; HANEY et al., 2010). Aumentos nos teores de MOS estão relacionados à melhoria das propriedades físicas (ARAÚJO et al., 2007; HANEY et al., 2010; FERNANDES et al., 2011; KARLEN et al., 2013), químicas (ARAÚJO et al., 2007; FERNANDES et al., 2011; KARLEN et al., 2013) e biológicas do solo (BALOTA et al., 2004; ARAÚJO et al., 2007; FERNANDES et al., 2011; LOPES et al., 2013; KARLEN et al., 2013).

O aumento de MOS em sistemas conservacionistas promove maiores teores de biomassa microbiana (BMS) que é responsável pela reserva lábil e ciclagem de nutrientes para as culturas, decomposição da matéria orgânica e fluxo de energia (JENKINSON e

LADD, 1981) e esta é sensível às mudanças que ocorrem no solo, sendo portanto uma boa indicadora da qualidade do solo e das mudanças da MOS (TÓTOLA e CHAER, 2002; JACKSON et al., 2003; XAVIER et al., 2007; KASCHUK et al., 2010; FERNANDES et al., 2011). Segundo Jackson et al. (2003), perturbações no solo, a curto prazo, afetam negativamente sua qualidade, tendo como consequências o aumento de emissões de gases do efeito estufa (NO e N₂O), perdas de nitrato por lixiviação ou decréscimo na imobilização de nitrogênio pela biomassa microbiana. Entretanto, pesquisas indicam que a BMS mostra-se mais sensível ao efeito da manutenção de palhada sobre a superfície do solo, do que quando avaliada sob o efeito de sistemas de cultivo mínimo e convencional (SPEDDING et al., 2004; FERNANDES et al., 2011). O crescimento microbiano é limitado, muitas vezes, pela escassez de nutrientes no solo, mas a adição de fontes com baixa relação carbono:nitrogênio pode aumentar a biomassa e com isso imobilizá-los na sua constituição celular (GRAHAM et al., 2002). O efeito da quantidade e do tipo de carbono da planta de cobertura pode influenciar no tamanho da BMS (BALOTA et al., 2011; FERREIRA et al., 2011); o carbono e o nitrogênio da BMS mostraram aumentos entre 14 e 39% e entre 8 e 23%, respectivamente, quando gramíneas, como *Brachiaria humidicola* e *Paspalum notatum*, em relação a leguminosas, foram manejadas na entre linha e na projeção da copa de laranjeiras (BALOTA et al., 2011).

Sistemas de manejo como o SPD e o cultivo mínimo aumentam a BMS (FIGUEIREDO et al., 2007; SILVA et al., 2010; FERREIRA et al., 2011; ZHANG et al., 2012; KARLEN et al., 2013). O uso do solo com pastagens também pode aumentar o carbono (C) e o nitrogênio (N) da biomassa microbiana do solo em relação à monocultura de milho (HANEY et al., 2013). Sistemas de manejo que visam a manutenção da matéria orgânica e a ausência de revolvimento no solo, como o plantio direto, podem aumentar em 83% a BMS em camadas superficiais (0-5cm), em comparação com sistemas convencionais em solos de clima subtropical (BALOTA et al., 2004) e em 53% em clima tropical (PEREZ et al., 2004). Este

aumento pode estar associado a um maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, que favorece menores temperaturas, maior acúmulo de água, maior agregação do solo e teores elevados de carbono orgânico, propiciando um ambiente mais favorável para o crescimento de microrganismos (BALOTA et al., 2004).

A presença de maior BMS sob sistemas plantio direto nas camadas superficiais do solo pode representar fonte ou dreno de nutrientes para as plantas cultivadas, dependendo das condições edafoclimáticas de cada região (BALOTA et al., 2004). Assim, a determinação da BMS é de extrema importância para a quantificação da dinâmica do N e do C em agroecossistemas, pois controla a disponibilidade e as perdas de nitrogênio inorgânico e a reserva de C no solo (SCHLOTTER et al., 2003).

O aumento da BMS em função do incremento de matéria orgânica no solo pelo uso de práticas agrícolas mais conservacionistas pode ter correlação positiva com o potencial de mineralização de N no solo e com a assimilação de NO_3^- e NH_4^+ pela BMS (BURGER e JACKSON, 2003). Assim, a disponibilidade de N pode ser diferenciada dependendo dos sistemas e qualidade dos resíduos orgânicos adicionados ao solo (BENDING et al., 2002) beneficiando a nutrição das plantas e/ou o aumento da BMS. Dourado-Neto et al. (2010) destacam que o solo pode fornecer até 79% de todo o N absorvido pela planta, mostrando a importância da MOS em prover N às culturas subsequentes nos diferentes agroecossistemas. O uso de extratores químicos de média a baixa intensidade, como o fosfato borato a pH 11,2 avalia os fatores intensidade e capacidade de liberação de nitrogênio mineralizado (GIANELLO et al., 2000). Assim, a solução tampão fosfato-borato a pH 11,2 mostra-se eficiente para a avaliação do N disponível no solo, pois relaciona-se significativamente com o N absorvido pelas culturas de milho e trigo, sendo simples e econômico (OLIVEIRA, 1987; GIANELLO et al., 2000; SERRA, 2006; MENEGHIN et al., 2008; YAGI et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi quantificar o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo, o nitrogênio e o carbono total do solo e suas relações em solo sob plantio direto e cultivado sob sistemas de monocultura e consorciado de milho e forrageiras no Cerrado.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada na área experimental da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília, localizada no Núcleo Rural de Vargem Bonita, Brasília, Distrito Federal (latitude de 15° 55' S, longitude de 47° 51' W e altitude de 1080 metros). O clima da região é do tipo Aw (tropical estacional de savana). A região apresenta um período chuvoso de outubro a março e uma estação seca definida de abril a setembro, com uma precipitação pluvial média anual de 1550 mm e temperaturas médias anuais variando entre 18 °C a 28,5 °C. A distribuição da precipitação pluvial mensal e da temperatura média do ar entre os meses de julho 2010 a junho 2011 estão apresentados na Figura 1.

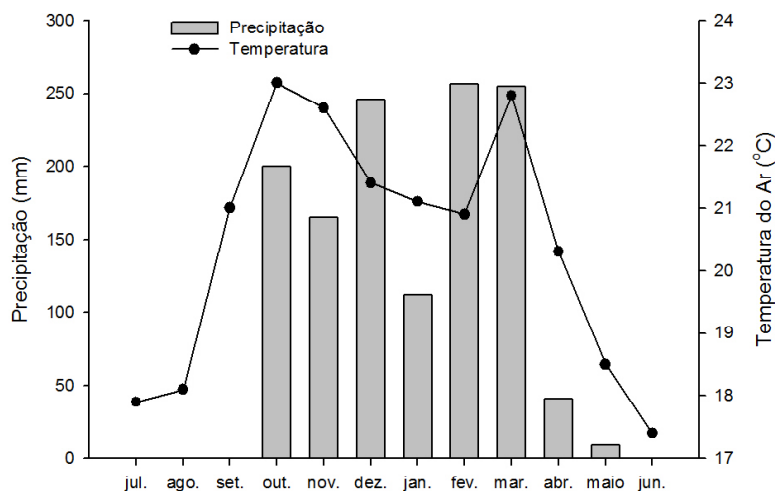


Figura 1. Distribuição da precipitação pluvial e temperatura média do ar mensal entre os meses de julho/2010 a junho/2011 (Fonte: Estação Agroclimatológica da Fazenda Água Limpa – UnB).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Algumas das características químicas e físicas do solo na profundidade de 0-20 cm antes da instalação do experimento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental antes da instalação do experimento em 2007⁽¹⁾.

Característica ¹	Média
Argila (g kg ⁻¹)	525
Silte (g kg ⁻¹)	275
Areia (g kg ⁻¹)	200
pH (H ₂ O)	5,6
P (mg dm ⁻³)	0,5
K ⁺ (mg dm ⁻³)	19,6
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,9
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,6
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	4,6
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,2
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	32,5

⁽¹⁾ Atributos avaliados segundo metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

4.2.2. Condução dos sistemas de manejo avaliados e características das culturas

Previamente à instalação do experimento, a área que estava sob pastagem de capim *Andropogon gayanus*, variedade Planaltina, por um período de seis anos, foi arada, gradeada e recebeu aplicação de calcário de acordo com as exigências requeridas a partir da interpretação da análise química do solo. Os tratamentos na área experimental foram estabelecidos em outubro de 2007, em sistema plantio direto e foram os seguintes: milho em monocultura; milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana; milho em consórcio com *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* cv. Aruana em monocultura e *Brachiaria humidicola* em monocultura. Os tratamentos foram dispostos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 15 parcelas. Cada parcela experimental ocupou uma área de 10 m de comprimento e 8 m de largura (80 m²) com 48 m² de área útil. O histórico da área experimental encontra-se em Anexo (ANEXO A).

Antes da semeadura do milho, em novembro de 2010, aplicou-se uma mistura dos herbicidas glifosato na dose de 3 L ha⁻¹ (1,08 kg i.a. ha⁻¹) e do 2,4D na dose de 1,5 L ha⁻¹ (1,1 kg i.a. ha⁻¹) para dessecação de pré-semeadura (OLIVEIRA et al., 2008).

Utilizou-se no experimento o híbrido triplo BG 7055 de ciclo precoce. Este é indicado para a produção de grãos ou para silagem da planta inteira, apresenta grãos semiduros de coloração alaranjada, alta resistência ao acamamento, sendo recomendado para a região Centro-Oeste, e para ser plantado tanto na safra principal quanto como safrinha. O milho foi semeado em dezembro de 2010 com espaçamento entre linhas de 0,90 m e a densidade de seis plantas por metro linear, totalizando 65000 plantas ha⁻¹. A adubação do milho foi realizada de acordo com as exigências requeridas a partir da interpretação da análise química do solo (SOUSA; LOBATO, 2004). A quantidade de calcário aplicada na área baseou-se na elevação da saturação por bases para 50%. No plantio do milho, as parcelas do experimento foram adubadas com 30 kg de N ha⁻¹, 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 70 kg de K₂O ha⁻¹ e 66 kg FTE BR-12 ha⁻¹. Aos 44 dias após a emergência (DAE) do milho, quando as plantas apresentavam em torno de oito folhas, foi feita a adubação de cobertura com 70 kg de N ha⁻¹, sendo o sulfato de amônio a fonte de N. As parcelas com as forrageiras em monocultura receberam 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg de K₂O ha⁻¹ e o nitrogênio foi parcelado em duas doses de 30 kg ha⁻¹, totalizando 60 kg N ha⁻¹ (MARTHA JÚNIOR et al., 2007).

As forrageiras utilizadas no consórcio com o milho foram: *Panicum maximum* cv. Aruana e *Brachiaria humidicola*. *P. maximum* cv. Aruana é uma gramínea da família *Poaceae* introduzida no Brasil por meio de sementes provenientes da África e que vem sendo utilizada em pastagens para ovinos e caprinos (GERDES et al., 2005; MARQUES et al., 2012; ZANINI et al., 2012). Esta cultivar apresenta porte médio (atingindo aproximadamente 0,80 m), hábito de crescimento variável entre o cespitoso e o decumbente, elevada capacidade de emitir folhas e perfilhos com rápida rebrotação após o seu corte, boa persistência no inverno

(período seco do ano), propagação por sementes e excelente aceitabilidade pelos animais (BIANCHINI et al., 1999; POMPEU et al., 2010). A *Brachiaria humidicola* também chamada de capim agulha ou quicuío-da-Amazônia é da família *Poaceae* e de origem africana com hábito de crescimento estolonífero-rizomatoso, resistente ao pastejo e bem aceita tanto por bovinos quanto por ovinos e caprinos (PERES et al., 2012). Esta espécie é recomendada para a região do Cerrado, podendo ser utilizada como uma alternativa para substituir outras espécies de *Brachiaria* devido principalmente à sua tolerância às cigarrinhas-das-pastagens, a solos úmidos e/ou temporariamente úmidos e de baixa fertilidade natural (VALÉRIO e KOLLER, 1993; PERON e EVANGELISTA, 2004).

As forrageiras *P. maximum* e *B. humidicola* foram semeadas na safra de 2007/2008 e 2009/2010 logo após a semeadura do milho, na quantidade de 30 kg ha⁻¹ de sementes (considerando o valor cultural) nas áreas em consórcio e nas áreas em monocultura. As sementes foram semeadas a lanço e levemente incorporadas com o uso de rastelo. A quantidade média de biomassa (matéria seca) aérea produzida pelas forrageiras *P. maximum* e *B. humidicola* em consórcio no final da safra de 2009/2010 foi de 2,17 Mg ha⁻¹ e 2,12 Mg ha⁻¹, respectivamente. Nas parcelas com as forrageiras em monocultura, as mesmas produziram 1,74 t ha⁻¹ (*P. maximum*) e 2,10 t ha⁻¹ (*B. humidicola*). No ano subsequente (2010/2011), não foi realizada semeadura das forrageiras, utilizando-se, portanto, o banco de sementes já estabelecido nas parcelas.

4.2.3. Épocas e profundidades de amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas antes da semeadura e logo após a colheita do milho, em dezembro de 2010 e abril de 2011, respectivamente. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Para cada parcela do experimento, foram coletadas 15 subamostras (em três locais dentro da parcela, sendo que em

cada local foram coletadas uma amostra na linha e quatro outras nas entrelinhas equidistantes) para compor uma amostra composta (ANEXO B). Logo após a coleta, as amostras de solo foram colocadas em caixa de isopor com gelo e resfriadas durante o transporte do campo até o laboratório. No laboratório, as mesmas, ainda friáveis, foram passadas em peneira de 8 mm de malha e delas foram utilizadas subamostras para todas as análises. As amostras de solo utilizadas para as análises microbiológicas foram mantidas a 4^oC até o momento das análises.

4.2.4. Carbono orgânico total e nitrogênio total

As subamostras de solo foram passadas em peneiras de 2 mm de malha (terra fina seca ao ar - TFSA) e posteriormente moídas em almofariz e passadas em peneira de 0,149 mm. O carbono orgânico total (C_{OT}) foi determinado pelo método da oxidação por via úmida com dicromato de potássio na presença de ácido, sem fonte externa de calor (WALKLEY e BLACK, 1934). O nitrogênio total do solo (N_T) foi estimado pelo método Kjeldahl, de acordo com Bremner e Mulvaney (1982).

4.2.5. Nitrogênio disponível no solo

Para a determinação do N disponível (N_D) utilizou-se o método de extração com Na₃PO₄/bórax – tampão pH 11,2 + NO₃⁻ (SERRA, 2006, modificado de GIANELLO, 1985). As subamostras de solo foram passadas em peneiras de 2 mm (terra fina seca ao ar – TFSA) e utilizaram-se 2 g de solo em duplicata. O solo foi colocada no microdestilador juntamente com 25 mL da solução-tampão pH 11,2 (200 g de Na₃PO₄.12H₂O + 50 g de bórax, em 2.000 mL de água destilada). Foram adicionados 0,2 g de óxido de magnésio e 0,1 g de liga de Devarda para a quantificação do amônio mais nitrato e 10 gotas de dimeticona para diminuir a formação de espuma. O destilado foi coletado em balão volumétrico de 50 mL, que continha 10 mL de ácido clorídrico 0,05 mol L⁻¹. Os cálculos foram realizados a partir da curva de

calibração obtida pela destilação de soluções padrão de N contendo 0; 15; 30; 45 e 60 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de N. O N extraído foi determinado por colorimetria em espectrofotômetro a 440 nm.

4.2.6. Avaliação da biomassa microbiana do solo

As amostras de solo, logo após a coleta e depois de serem passadas em peneiras de 8 mm de malha, retirando-se fragmentos de raízes e restos vegetais, foram mantidas em câmara fria a aproximadamente 4°C, por um período de um mês até o momento das análises para o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) foi determinada pelo método do clorofórmio fumigação-extração (CFE) conforme descrito por Vance et al. (1987). Antes do processo de fumigação, os teores de umidade das amostras foram corrigidos para 80% da capacidade máxima de retenção de água no solo. As amostras foram divididas em subamostras (triplicatas) de 20 g de solo e incubadas por sete dias à temperatura ambiente. Após este período, parte das amostras foi submetida ao processo de fumigação seguida de extração e a outra parte, apenas ao processo de extração. As amostras foram fumigadas em um dessecador contendo uma placa de Petri com 25 mL de clorofórmio isento de etanol (CHCl_3) por 24 horas, sendo posteriormente retiradas e extraídas, juntamente com as amostras não fumigadas. As amostras foram extraídas com K_2SO_4 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) com pH ajustado entre 6,5 e 6,8 por 40 minutos em agitador contínuo a uma velocidade de 150 rpm, sendo então filtradas em papel de filtro qualitativo (Whatmann 42). Essas subamostras filtradas foram então utilizadas para a determinação de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo.

4.2.7. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

O nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BM}) foi determinado conforme metodologia de Brookes et al.(1985). Foram retiradas alíquotas de 20 mL das subamostras

filtradas e que foram transferidas para tubos de vidro com 1 g de mistura catalítica (K_2SO_4 : $CuSO_4$:selênio em pó na relação 1:0,1:0,01) e 3 mL de H_2SO_4 concentrado. Em seguida, realizou-se a digestão a $80^\circ C$ por 12 horas, $150^\circ C$ por 1 hora e 30 min e $300^\circ C$ durante 3 horas. A destilação foi realizada com 20 mL de NaOH 400 g L^{-1} de água destilada. Preparou-se uma mistura com 15 mL de verde de bromocresol e 6 mL de vermelho de metila a 0,1% em meio alcoólico, 20 g de H_3BO_3 e três gotas de NaOH $0,1\text{ mol L}^{-1}$, completada com 1 L de água destilada. Utilizaram-se 10 mL dessa mistura para coletar o destilado em erlenmeyer de 50 mL. Procedeu-se a titulação com H_2SO_4 $0,0025\text{ mol L}^{-1}$. O N_{BM} foi calculado pela diferença entre a quantidade de N recuperado no extrato da amostra fumigada e o recuperado na amostra não fumigada, multiplicado pelo fator de correção (K_{EN}), cujo valor é de 0,54 (WARDLE, 1994).

O quociente microbiano de N (q_{MIN}) foi determinado pela razão entre N_{BM} e nitrogênio total do solo (N_T).

4.2.8. Carbono da biomassa microbiana do solo

O carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BM}) foi determinado de acordo com Vance et al. (1987). Retiraram-se alíquotas de 8 mL das subamostras filtradas que foram transferidas para tubos de vidro com 15 mL da solução H_2SO_4 : H_3PO_4 na proporção 2:1 e 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ $0,4\text{ mol L}^{-1}$. Os tubos foram colocados no bloco digestor a uma temperatura de $100^\circ C$ por 30 min. Em seguida, o conteúdo dos tubos foi completado com água destilada para 50 mL e transferido para um erlenmeyer de 125 mL com 7 gotas de indicador ferroína. A quantidade de carbono extraída foi então calculada por titulação com uma solução de sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ em H_2SO_4 concentrado para determinar a quantidade de dicromato utilizado na oxidação. O C_{BM} foi determinado através da diferença

entre o carbono extraído das amostras de solo fumigadas e não fumigadas, usando-se um fator de correção (K_{EC}) de 0,38 (WARDLE, 1994).

O quociente microbiano de C (q_{MIC}) foi determinado pela razão entre C_{BM} e carbono orgânico total do solo (C_{OT}).

4.2.9. Respiração basal

A respiração basal (RB) foi quantificada pela medição de CO_2 liberado em amostras pré-incubadas e não fumigadas por um período de sete dias (ALEF e NANNIPIERI, 1995). A respiração basal foi determinada em subamostras de solo de 20 g (triplicatas) com teores de umidade corrigidos para 80% da capacidade máxima de retenção de água no solo. As subamostras foram colocadas no interior de vidros herméticos de 500mL juntamente com um frasco de vidro contendo 10 mL de KOH $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ para a absorção de CO_2 liberado do solo. As subamostras foram então incubadas por sete dias. Após o período de incubação, retirou-se o frasco com a solução de KOH $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ e adicionou-se 3 mL de $BaCl_2$ 20% e três gotas do indicador fenolftaleína. Procedeu-se a titulação do excedente de KOH com solução de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$

4.2.10. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para manejo (M), época (E) e interação manejo x época (M x E) para cada profundidade. As análises foram realizadas pelo software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2003). Os dados foram submetidos, também, à análise de Correlação Linear de Pearson, utilizando-se os dados individuais de todos os manejos, profundidades e épocas.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Valor F e a análise de variância

Os valores F da análise de variância para os efeitos de sistemas de manejo (M), épocas (E) e suas interações (M x E) para as quatro profundidades, encontram-se na Tabela 2. Efeitos dos sistemas de manejo para N_T , N_D e C_{OT} foram observados apenas na camada superficial de 0-5 cm. Tanto o C_{OT} quanto o N_T mostraram efeitos de época na profundidade de 20-30 cm, enquanto que para N_D o efeito de época foi observado apenas até a profundidade de 10 cm. Houve efeito de época para C_{OT} na profundidade de 0-5 cm.

Tanto para N_{BM} quanto para q_{MIN} foram observados efeitos de M x E em todo o perfil do solo, com exceção da camada mais superficial de 0-5 cm. Apenas o C_{BM} mostrou efeito do fator manejo em todas as profundidades observadas.

Tabela 2 . Valor F e a significância da análise de variância dos efeitos dos fatores (M = manejo e E = época) e de suas interações (M x E) no C orgânico (C_{OT}), N total (N_T), N disponível (N_D), N da biomassa microbiana (N_{BM}), relação N_{BM} e N_T (q_{MIN}), C da biomassa microbiana (C_{BM}), respiração basal (RB), relação C_{BM} e C_{OT} (q_{MIC}) em solo cultivado sob sistemas de monocultura e consorciado de milho e forrageiras nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho).

FV	GL	C_{OT}	N_T	N_D	N_{BM}	q_{MIN}	C_{BM}	RB	q_{MIC}
0-5 cm									
M	4	5,04*	4,08*	5,98*	8,41**	6,19*	6,33*	1,29 ^{ns}	5,60*
E	1	12,75**	0,24 ^{ns}	5,63*	5,24*	6,37*	1,73 ^{ns}	42,02***	0,14 ^{ns}
M x E	4	1,57 ^{ns}	0,70 ^{ns}	5,71*	2,35 ^{ns}	2,723 ^{ns}	0,63 ^{ns}	2,91 ^{ns}	0,50 ^{ns}
5-10 cm									
M	4	1,59 ^{ns}	2,71 ^{ns}	0,61 ^{ns}	3,05 ^{ns}	3,74 ^{ns}	4,68*	0,99 ^{ns}	3,64*
E	1	0,54 ^{ns}	0,16 ^{ns}	6,36*	22,01***	24,62***	10,86**	4,00 ^{ns}	4,02 ^{ns}
M x E	4	0,51 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,82 ^{ns}	4,97*	6,27**	1,76 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,07 ^{ns}
10-20 cm									
M	4	0,76 ^{ns}	1,49 ^{ns}	1,26 ^{ns}	7,10**	8,45**	22,83***	0,15 ^{ns}	14,82***
E	1	2,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	24,70***	17,31**	8,77*	11,93**	0,37 ^{ns}
M x E	4	0,07 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,64 ^{ns}	5,40*	3,56*	5,83*	0,35 ^{ns}	2,40 ^{ns}
20-30 cm									
M	4	2,11 ^{ns}	0,92 ^{ns}	2,83 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,16 ^{ns}	6,97*	6,24*	2,79 ^{ns}
E	1	7,68*	14,68**	2,31 ^{ns}	80,70***	37,14***	2,25 ^{ns}	30,32***	0,06 ^{ns}
M x E	4	0,53 ^{ns}	1,59 ^{ns}	2,96 ^{ns}	21,43***	18,11***	4,60*	4,12*	2,54 ^{ns}

*significativo a 5%, **significativo a 1%, *** significativo a 0,1%, ns – não significativo.

4.3.2. Carbono orgânico total e nitrogênio total

Considerando-se todos os sistemas de manejo e a profundidade de 0-5 cm, o C_{OT} variou de 23,96 a 27,55 g kg⁻¹ solo e o N_T de 1,72 a 1,90 g kg⁻¹ solo para os sistemas de *B. humidicola* e milho/*B. humidicola*, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Carbono orgânico total (C_{OT}) e nitrogênio total (N_T) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e de forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho)⁽¹⁾.

Manejo	C _{OT} (g kg ⁻¹ solo)		N _T (g kg ⁻¹ solo)	
			0-5 cm	
Milho	25,68	ab	1,86	ab
Milho/ <i>P. maximum</i>	24,84	ab	1,87	ab
Milho/ <i>humidicola</i>	27,55	a	1,90	a
<i>P. maximum</i>	25,78	ab	1,82	ab
<i>B. humidicola</i>	23,96	b	1,72	b
Época				
Pré-semeadura	23,00	b	1,80	a
Pós-colheita	28,12	a	1,87	a
			5-10 cm	
Milho	25,52		1,78	
Milho/ <i>P. maximum</i>	26,92		1,80	
Milho/ <i>humidicola</i>	25,09		1,83	
<i>P. maximum</i>	25,19		1,65	
<i>B. humidicola</i>	24,18		1,70	
Época				
Pré-semeadura	24,80		1,76	
Pós-colheita	25,96		1,75	
			10-20 cm	
Milho	25,00		1,72	
Milho/ <i>P. maximum</i>	24,18		1,66	
Milho/ <i>humidicola</i>	23,88		1,73	
<i>P. maximum</i>	23,75		1,73	
<i>B. humidicola</i>	23,20		1,61	
Época				
Pré-semeadura	22,76		1,69	
Pós-colheita	25,24		1,69	
			20-30 cm	
Milho	24,75		1,61	
Milho/ <i>P. maximum</i>	21,75		1,54	
Milho/ <i>humidicola</i>	22,13		1,54	
<i>P. maximum</i>	22,05		1,53	
<i>B. humidicola</i>	21,73		1,57	
Época				
Pré-semeadura	20,76	b	1,50	b
Pós-colheita	24,20	a	1,62	a

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,005).

Assim como no trabalho de Marchão et al. (2009), o N_T e o C_{OT} seguiram os mesmos padrões de comportamento para sistemas contínuos de pastagem, de monocultura de milho, de soja e de milheto e de integração lavoura-pecuária com soja/*B. brizantha*, sob cultivo mínimo e convencional no Cerrado. Valores em torno de 19 a 23 g kg⁻¹ solo para C_{OT} e 1,3 a 1,5 g kg⁻¹ solo para N_T foram encontrados pelos autores citados acima na profundidade de 0-5 cm.

A presença do milho no sistema de consórcio com *B. humidicola* aumentou o C_{OT} e N_T na camada superficial do solo. O aumento pode ser resultado da presença das raízes de milho que se concentram na camada mais superficial do solo sob sistema plantio direto (Silva et al., 2000), além da deposição da palhada do mesmo, contribuindo, possivelmente, para o aumento e acúmulo de matéria orgânica no solo. Este resultado demonstra a importância da consorciação de *Brachiaria* e milho para aumentar o acúmulo de C no solo, principalmente nas camadas superficiais do solo e sob plantio direto. Diógenes et al. (2013) também verificaram maiores valores de C_{OT} em sistemas de consórcio milho/*Brachiaria* em relação à *Brachiaria* exclusiva em Latossolo Amarelo distrófico sob área de transição entre o Cerrado e a Caatinga no estado do Piauí.

Assim como no trabalho de Lopes et al. (2010), não foram constatadas diferenças quanto aos teores de C_{OT} entre as forrageiras *Brachiaria* e *Panicum maximum* para todo o perfil de solo avaliado. Os sistemas de consórcio também não diferiram do milho em monocultura após quatro anos de estabelecimento do experimento para C_{OT} e N_T . O C_{OT} tende a apresentar menor perda em Latossolos devido à proteção física proporcionada pelas partículas de silte e argila formando complexos organo-minerais e, portanto, apresenta formas de proteção que proporcionam tempo de reciclagem mais longo (SOUZA et al., 2006; MARCHÃO et al., 2009; FIGUEIREDO et al., 2010). Coser et al. (2012) não observaram diferenças significativas no carbono orgânico total e carbono associado aos minerais entre sistemas produção de milho em monocultura e em consórcio no terceiro ano de

estabelecimento deste experimento. Entretanto, esses mesmos autores verificaram que formas mais lábeis de C, como carbono orgânico particulado, mostram-se mais sensíveis às alterações de manejo a curto prazo. . A deposição contínua de resíduos vegetais ao longo dos anos pode promover a conversão de formas mais lábeis de C em formas mais estáveis (SÁ et al., 2008) e assim refletir em mudanças no C_{OT} entre os sistemas avaliados neste trabalho.

O C_{OT} foi maior após a colheita do milho nas profundidades de 0-5 cm e de 20-30 cm, comparado à época de pré-semeadura (Tabela 3). O N_T também seguiu a mesma tendência que o C_{OT} apesar de que na profundidade de 0-5 cm houve uma tendência de maior teor de N_T , entretanto não significativo. Maiores valores de C_{OT} na profundidade de 0-5 cm podem estar associados à decomposição da palhada do milho e das forrageiras ao longo do ciclo da cultura do milho (BRIEDIS et al., 2012). A liberação de exsudatos pelos sistemas radiculares das forrageiras tropicais pode ter influenciado no aumento de C_{OT} após a colheita do milho na profundidade de 20-30 cm.

4.3.3. Nitrogênio disponível no solo

Antes da semeadura do milho e na profundidade de 0-5 cm, o N_D foi maior nos sistemas de consórcio e de monocultura de *P. maximum* (Tabela 4). Além disso, o N_D no sistema de consórcio com *B. humidicola* foi maior que o plantio desta em sistema de monocultura. Logo após a colheita, para a mesma profundidade, não foram observadas diferenças para N_D entre os sistemas de manejo. Assim, sob Latossolo e na região de Cerrado, a presença de forrageiras em consórcio com o milho aumenta a disponibilidade de N na profundidade de 0-5 cm. Mesmo em condições bem diferentes da região de Cerrado, Haney et al. (2010), também avaliando o potencial de mineralização de N em solo no estado do Texas (EUA), verificaram que o cultivo de diversos capins (*Panicum virgatum*, *Bouteloua sps. e*

Cynodon dactylon) promoveu maior potencial de mineralização de N em relação à monocultura de milho.

Tabela 4. Nitrogênio disponível (N_D) e relação N_D/N_T em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e de forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho)⁽¹⁾.

	N_D (mg kg ⁻¹ de solo)		N_D/N_T (%)	
	Pré-semeadura	Pós colheita	Pré-semeadura	Pós colheita
0-5 cm				
Milho	50,42	54,10	2,87	2,80
Milho/ <i>P. maximum</i>	71,12	53,33	3,78	2,89
Milho/ <i>B. humidicola</i>	68,93	53,42	3,84	2,69
<i>P. maximum</i>	67,54	59,21	3,72	3,24
<i>B. humidicola</i>	48,76	59,42	2,82	3,50
5-10 cm				
Milho	58,81		3,30	
Milho/ <i>P. maximum</i>	54,00		3,00	
Milho/ <i>B. humidicola</i>	54,37		3,00	
<i>P. maximum</i>	55,88		3,39	
<i>B. humidicola</i>	56,78		3,36	
Época	59,24	52,70	3,37	3,05
10-20 cm				
Milho	58,05		3,39	
Milho/ <i>P. maximum</i>	57,53		3,46	
Milho/ <i>B. humidicola</i>	53,60		3,12	
<i>P. maximum</i>	52,94		3,08	
<i>B. humidicola</i>	51,05		3,17	
Época	55,06	54,21	3,25	3,23
20-30 cm				
Milho	52,92		3,94	
Milho/ <i>P. maximum</i>	45,43		2,96	
Milho/ <i>B. humidicola</i>	41,64		2,75	
<i>P. maximum</i>	48,15		3,17	
<i>B. humidicola</i>	52,50		3,36	
Época	49,43	46,83	3,30	2,91

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Comparando-se as épocas, apenas os sistemas de consórcio apresentaram maior N_D antes da semeadura do milho, mostrando, que provavelmente, houve mineralização de frações orgânicas de uma parte do N_D quantificado antes da semeadura do milho, e/ou absorção do NO_3^- e NH_4^+ pelas plantas durante o ciclo da cultura do milho. Segundo Burger e Jackson (2003), a diminuição do N potencialmente mineralizável durante um ciclo de cultivo,

provavelmente, relaciona-se com a diminuição do N_{BM} ou com o reservatório lábil da MOS. Os efeitos de época e de manejo não foram observados na profundidade abaixo de 10 cm para o N_D devido, provavelmente, ao curto tempo de estabelecimento do experimento (quatro anos). Assim, observa-se no presente trabalho que a prática de consórcio de milho e forrageiras pode favorecer a disponibilidade de N durante o ciclo de cultivo da cultura na profundidade de 0-5 cm.

Considerando-se todos os sistemas de manejo, as profundidades e as épocas, a porcentagem de N_D em relação ao N_T (N_D/N_T) variou de 2,75 a 3,94% (Tabela 4). Yagi et al. (2008) verificaram um valor médio de 1,1% de N_D em relação ao N_T do solo em amostras de 22 solos cultivados com milho em casa de vegetação. Valores mais elevados no presente estudo podem estar relacionados à modificação da metodologia original de Gianello (1985) que, além de estimar o N facilmente mineralizável, também quantifica os íons inorgânicos NH_4^+ e NO_3^- presentes inicialmente nas amostras de solo. Segundo Oliveira (1987), os métodos mais promissores para estimar o N_D apresentam a vantagem de avaliar em uma única análise o N- NH_4^+ , o N- NO_3^- e o N orgânico facilmente mineralizável. O N- NO_3^- representa uma fração importante na correlação com o N absorvido pelas plantas (ECIOLAZA e OLIVEIRA, 1993).

4.3.4. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo e relação nitrogênio da biomassa microbiana:nitrogênio total

Considerando-se todos os sistemas de manejo e profundidades, o N_{BM} variou de 10,47 a 48,31 mg kg⁻¹ solo (Tabela 5). Esses valores corroboram os resultados obtidos por Coser et al., (2007), Figueiredo et al. (2007), Frazão et al. (2010); Ferreira et al. (2011) em sistemas de manejo no Cerrado. Para os sistemas de manejos e profundidades avaliados, o N_{BM} representou entre 0,67 e 2,79% do N_T do solo (Tabela 5).

Tabela 5. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BM}) e quociente microbiano de N (q_{MIN}) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio *Brachiaria humidicola* na profundidade de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, e em duas épocas (antes da semadura e logo após a colheita do milho)⁽¹⁾.

	N_{BM} (mg kg ⁻¹ solo)				q_{MIN} (%)			
	Pré-semeadura		Pós-colheita		Pré-semeadura		Pós-colheita	
0-5 cm								
Milho		27,71	b			1,51	b	
Milho/ <i>P. maximum</i>		48,31	a			2,59	a	
Milho/ <i>B. humidicola</i>		34,99	ab			1,88	ab	
<i>P. maximum</i>		27,96	b			1,54	b	
<i>B. humidicola</i>		33,97	b			1,98	ab	
Época	36,31	A	32,87	B	2,02	A	1,77	B
5-10 cm								
Milho	28,90	abA	25,63	bA	1,56	abA	1,49	bA
Milho/ <i>P. maximum</i>	20,69	bB	33,26	abA	1,16	bB	1,85	bA
Milho/ <i>B. humidicola</i>	38,79	aA	41,30	aA	2,22	aA	2,15	abA
<i>P. maximum</i>	25,08	abB	36,39	abA	1,49	abB	2,27	aA
<i>B. humidicola</i>	24,54	bB	45,19	aA	1,42	bB	2,71	aA
10-20 cm								
Milho	14,57	bB	30,77	aA	0,82	bB	1,87	aA
Milho/ <i>P. maximum</i>	29,46	abB	45,17	aA	1,73	abB	2,79	aA
Milho/ <i>B. humidicola</i>	20,47	bB	45,97	aA	1,23	abB	2,57	aA
<i>P. maximum</i>	42,29	aA	31,54	aA	2,50	aA	1,85	aA
<i>B. humidicola</i>	12,50	bB	33,46	aA	0,79	bB	2,06	aA
20-30 cm								
Milho	21,47	aB	30,70	bA	1,40	aB	1,84	bA
Milho/ <i>P. maximum</i>	20,93	aB	27,31	bA	1,39	aA	1,74	bA
Milho/ <i>B. humidicola</i>	26,05	aA	24,81	bA	1,85	aA	1,50	bA
<i>P. maximum</i>	21,18	aB	27,84	bA	1,44	aA	1,75	bA
<i>B. humidicola</i>	10,47	bB	40,56	aA	0,67	bB	2,58	aA

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na profundidade de 0-5 cm, o consórcio milho/*P. maximum* apresentou maiores teores de N_{BM} do que o milho e as forrageiras em monocultura e não se diferenciaram do consórcio milho/*B. humidicola* (Tabela 5). Assim, a introdução da forrageira *P. maximum* num sistema de monocultura de milho favorece a imobilização de nitrogênio pela microbiota do solo. Essa mesma tendência de maior imobilização de N pela biomassa microbiana em sistema de consórcio milho/*P. maximum* em relação ao milho em monocultura foi também observada por

Fonseca (2010) na mesma área experimental, em amostras de solo coletadas em março de 2008 na profundidade de 0-20 cm. As pastagens não se diferenciaram quanto aos teores de N_{BM} e q_{MIN} na profundidade de 0-5 cm.

Com exceção da *B. humidicola*, que não diferiu dos demais sistemas, a relação q_{MIN} seguiu o mesmo comportamento do N_{BM} . Os maiores teores de q_{MIN} e N_{BM} no consórcio milho/*P. maximum* pode representar maior eficiência de ciclagem e disponibilidade de N a curto prazo, conforme observado por McGill et al. (1988) e Xavier et al. (2007). Considerando-se as épocas de amostragem e a profundidade de 0-5 cm, o N_{BM} e q_{MIN} foram maiores antes da semeadura do milho, possivelmente, devido à maior umidade do solo, decorrente das maiores precipitações do mês de dezembro na área experimental.

Verificou-se efeito significativo das interações de M x E nas profundidades de 5-10, 10-20 e 20-30 cm para N_{BM} e q_{MIN} (Tabela 5). Para N_{BM} e q_{MIN} na pré-semeadura do milho e na profundidade de 5-10 cm, o consórcio milho/*B. humidicola* resultou em maiores valores e diferiu do milho/*P. maximum* e *B. humidicola*. Logo após a colheita do milho, o sistema milho/*B. humidicola* resultou em valores superiores apenas ao do solo sob milho em monocultura, enquanto os outros sistemas aumentaram os seus valores de N_{BM} e q_{MIN} entre a primeira e segunda avaliação. Na profundidade de 10-20 cm e antes da semeadura do milho, os sistemas de consórcio e de milho em monocultura não diferiram entre si, mas o cultivo de *P. maximum* resultou em maiores valores de N_{BM} e q_{MIN} no solo e diferiu do solo sob *B. humidicola*. Logo após a colheita e para a mesma profundidade, não houve efeito de manejo para N_{BM} e q_{MIN} .

A monocultura de *B. humidicola* promoveu os menores teores de N_{BM} na profundidade de 20-30 cm, não existiu diferenças entre os demais sistemas na coleta antes da semeadura. Dessa forma, a introdução do milho pode aumentar a reserva de nitrogênio microbiano do solo de áreas com *B. humidicola*. Entretanto, logo após a colheita, essa situação se inverteu; as

parcelas com *B. humidicola* passaram a apresentar maiores N_{BM} e q_{MIN} . Tal efeito pode ter ocorrido por causa da adubação nitrogenada realizada na semeadura e em cobertura e da ação de inibidores de nitrificação liberados pela *B. humidicola*. A *B. humidicola* libera exsudatos que inibem a nitrificação no solo (SUBBARAO et al., 2006, 2007). Assim, esta forrageira em monocultura pode ter proporcionado menores perdas de N na forma de $N-NO_3^-$ e acumulado mais N na profundidade de 20-30 cm, ao contrário dos outros sistemas que podem ter perdido mais N por lixiviação ou desnitrificação. Coser et al. (2007) observaram na região do Cerrado que a aplicação de N no solo sob cultivo de cevada pode aumentar o N_{BM} dependendo da dose aplicada. Ainda, trabalho de Ipinmoroti et al. (2008) mostra que a nitrificação do *P. maximum* é bem menor (entre 47 a 73% a menos) em relação ao da *B. humidicola*. Em torno de 94% de todo o sistema radicular da *B. humidicola* encontra-se até a profundidade de 40 cm (COSTA et al., 2002) o que representa bem a profundidade avaliada neste experimento. A conversão rápida de NH_4^+ para NO_3^- no solo pode resultar no uso ineficiente de N no solo pela planta, pois o NO_3^- pode ser perdido por lixiviação ou ainda sofrer o processo de desnitrificação (SUBBARAO et al., 2009).

4.3.5. Carbono da biomassa microbiana do solo e relação carbono da biomassa:carbono orgânico total

Entre os sistemas de manejo e todas as profundidades, o C_{BM} variou de 74,73 a 248,9 $mg\ kg^{-1}$ solo (Tabela 6).

Tabela 6. Carbono da biomassa microbiana (C_{BM} - mg kg⁻¹ solo), respiração basal (RB - mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹), e quociente microbiano de C (q_{MIC} - %) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola*⁽¹⁾ nas profundidade de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho)⁽¹⁾.

	C_{BM}		RB		q_{MIC}
0-5 cm					
Milho	193,2	ab	26,44		0,75 ab
Milho/ <i>P. maximum</i>	248,9	a	27,62		1,03 a
Milho/ <i>B. humidicola</i>	127,2	b	26,95		0,45 b
<i>P. maximum</i>	210,7	ab	23,23		0,84 ab
<i>B. humidicola</i>	149,3	b	24,52		0,64 ab
Época					
Pré-semeadura	172,0		19,09		0,73 a
Pós-colheita	199,7		32,41		0,76 a
5-10 cm					
Milho	167,4	ab	17,07		0,65 ab
Milho/ <i>P. maximum</i>	173,7	ab	15,08		0,66 ab
Milho/ <i>B. humidicola</i>	202,2	a	16,37		0,82 a
<i>P. maximum</i>	126,8	b	14,97		0,51 b
<i>B. humidicola</i>	141,1	ab	19,00		0,60 ab
Época					
Pré-semeadura	138,3	b	14,92		0,57
Pós-colheita	186,1	a	18,08		0,72
10-20 cm					
Milho	151,3	ab	14,50		0,61 ab
Milho/ <i>P. maximum</i>	187,0	a	14,45		0,78 a
Milho/ <i>B. humidicola</i>	122,1	bc	15,44		0,53 bc
<i>P. maximum</i>	159,0	ab	13,59		0,69 ab
<i>B. humidicola</i>	85,34	c	15,83		0,37 c
Época					
Pré-semeadura	127,3	b	11,39	b	0,58
Pós-colheita	154,6	a	18,14	a	0,62
20-30 cm					
Milho	180,0	a	11,48	ab	0,72
Milho/ <i>P. maximum</i>	74,73	b	10,96	ab	0,33
Milho/ <i>B. humidicola</i>	107,9	ab	15,32	a	0,55
<i>P. maximum</i>	130,7	ab	8,55	b	0,61
<i>B. humidicola</i>	150,3	a	14,12	a	0,72
Época					
Pré-semeadura	119,6		8,73	b	0,60
Pós-colheita	137,8		15,45	a	0,58

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,005).

Valores mais elevados de C_{BM} na profundidade de 0-20 cm sob sistema de rotação milho/trigo (272 a 367 mg C kg⁻¹ solo) foram encontrados por Balota et al. (2004) em solos de região subtropical do estado do Paraná. Esses resultados mais elevados podem estar associados ao maior tempo de estabelecimento do plantio direto (em torno de 20 anos), maior teor de argila do solo (85%) que favorece a retenção e menor mineralização da MOS, além de maiores precipitações médias anuais da região subtropical, quando comparado com as precipitações do ambiente tropical do Cerrado. No presente trabalho, o tempo de estabelecimento do sistema plantio direto foi de apenas quatro anos, o teor de argila do solo é de aproximadamente 55% e a precipitação média anual para os anos 2010 e 2011 foram de 1647 e 1351 mm, respectivamente. Considerando a tabela de interpretação de bioindicadores para Latossolo Vermelho no Cerrado em função do conteúdo de C_{OT} (LOPES et al., 2012), os valores obtidos para C_{BM} no presente trabalho variaram entre as classes baixa e moderada.

O maior valor de C_{BM} foi encontrado na profundidade de 0-5 cm para o sistema de consórcio milho/*P. maximum* (248,9 mg kg⁻¹ solo) sendo 49% maior que o encontrado para o sistema milho/*B. humidicola* (127,2 mg kg⁻¹ solo) na mesma profundidade. Como ambas forrageiras produziram quantidades muito similares de matéria seca aérea na safra 2009/2010 (2,12 a 2,17 Mg ha⁻¹), provavelmente o aumento do C_{BM} para a forrageira no sistema de consórcio com *P. maximum* pode estar relacionado à qualidade do resíduo vegetal desta. A qualidade do material vegetal considerando, por exemplo, os teores de lignina e a razão C/N, podem explicar o processo de decomposição e liberação de nutrientes no solo (CARVALHO et al., 2011; 2012) e assim, influenciar nos teores de C_{BM} .

O sistema de monocultura de *B. humidicola* também apresentou menor acúmulo de C_{BM} em relação ao milho/*P. maximum*. Esse mesmo padrão foi observado na profundidade de 10-20 cm, onde o sistema milho/*P. maximum* foi maior que os manejos com *B. humidicola*. Estudo desenvolvido na região nordeste do Brasil, mostra que os teores de C_{BM} em Argissolo

são maiores em pastagens de *P. maximum* em relação às pastagens cultivadas com *Brachiaria* (Lopes et al., 2010) na profundidade de 0-10 cm. Esses mesmos autores associaram os maiores teores de C_{BM} em pastagens de *P. maximum* à maior quantidade de resíduos vegetais e exsudatos proporcionados pela mesma em relação à *Brachiaria*. Entretanto, no presente trabalho, a quantidade de resíduos vegetais produzidos pelas forrageiras foi muito próxima, e assim, os maiores valores de C_{BM} podem estar associados à liberação de exsudatos, mas também à qualidade do resíduo vegetal do *P. maximum*.

Entre as épocas de avaliação, o C_{BM} variou de 119,6 a 172,0 mg kg⁻¹ na época de pré-
semeadura do milho e de 137,8 a 199,7 mg kg⁻¹ solo logo após a colheita do milho. Entretanto, apenas as camadas entre 5 a 20 cm mostraram efeito de época, sendo maior o C_{BM} no solo coletado após a colheita do milho. Assim como para o C_{OT} , maiores valores de C_{BM} encontrados após a colheita do milho podem estar associados à decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo e que foram decompostos e mineralizados ao longo do ciclo da cultura do milho, disponibilizando nutrientes à microbiota do solo.

A relação $C_{BMS}:C_{OT}$ ou quociente microbiano de C (q_{MIC}) é um índice que fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica (WARDLE, 1994). Mesmo não tendo sido observado efeito da época de coleta, os sistemas de manejo apresentaram efeito sobre o q_{MIC} até a profundidade de 20 cm e, considerando todas as camadas de solo, os valores obtidos foram entre 1,03 e 0,33%. Souza et al. (2006) observaram valores similares a este estudo para Cerrado nativo e sistemas de pastagem e rotação de culturas, entre 0,3 a 1,2% sob Latossolo Vermelho, indicando que o carbono dos microrganismos representa até 1% do C_{OT} do solo nestes sistemas e nas condições edafoclimáticas da região. Assim como para o C_{BM} , o sistema milho/*P. maximum* apresentou o maior q_{MIC} em relação ao milho/*B. humidicola* nas profundidades de 0-5 e de 10-20 cm. Entretanto, nas profundidades de 5-10 e de 20-30 cm não foram observadas diferenças significativas entre os dois sistemas. Os resultados obtidos

indicam que o consórcio com *P. maximum* mostrou maior eficiência de conversão de C_{OT} em C_{BM} em relação ao consórcio com *B. humidicola* (SPARLING, 1992; WARDLE, 1994). Observa-se que o solo sob milho em monocultura não diferiu quanto aos teores de C_{BM} e q_{MIC} entre os sistemas de consórcio para todo o perfil avaliado, ao contrário dos resultados obtidos por Jakelaitis et al. (2008) sob Argissolo Vermelho-Amarelo em que o sistema de consórcio milho/*B. brizantha* apresentou maior C_{BM} e q_{MIC} em relação ao solo sob cultivo de milho em monocultura. Souza et al. (2006) verificaram que os teores de C_{BM} no solo em uma sequência de cultivo de milho/*B. decumbens* foram maiores do que os sistemas de sorgo em monocultura sob plantio direto.

4.3.6. Respiração basal

Considerando-se todos os sistemas de manejo e profundidades, a respiração basal (RB) variou de 8,55 a 27,62 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹ (Tabela 6). Para os sistemas de manejo só foram observadas diferenças na profundidade de 20-30 cm onde o sistema *B. humidicola* apresentou maiores valores no solo que o *P. maximum*, representando 39% a mais na RB. O efeito da RB foi maior na época logo após a colheita do milho para todas as profundidades, com exceção da profundidade de 5-10 cm. Isto se deve provavelmente ao maior aporte em profundidade de resíduos vegetais acondicionado pelo sistema radicular de algumas gramíneas forrageiras, que libera exsudatos e se renova constantemente (LAL et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2010), e também pode ter sido influenciada pela maior diversidade de plantas em cultivo, pela fertilização realizada na semeadura e em cobertura do milho e maior mineralização de material orgânico durante o ciclo da cultura. A RB deve ser considerada como índice do potencial de perda de CO₂ ou índice microbiano, mas não deve ser indicadora de acúmulo ou perda de carbono de solos sob cultivo (BALOTA et al., 2004).

4.3.7. Correlações entre as variáveis

O N_D extraído pela metodologia de Gianello (1985) e modificado por Serra (2006), representa o nitrato, amônio e o N facilmente mineralizado do solo. Apesar da semelhança nos valores de q_{MIN} e N_D/N_T , a inexistência de correlação entre N_D e N_{BM} (Tabela 7) pode ser uma indicação de que o reservatório de N_D é uma fração distinta do reservatório do N_{BM} . Entretanto, a importância da BMS para disponibilização do N_D durante o ciclo da cultura do milho pode ser considerada, pois este diminuiu com as épocas de amostragem, e assim, provavelmente, a BMS proporcionou a função mais de decomposição e mineralização desse N_D do que de dreno. Observou-se ainda que não houve correlação significativa entre o N_D e o C_{OT} do solo (Tabela 7), mas sim entre o N_D e o N_T . Yagi et al. (2009), apesar de constatarem correlações significativas entre N potencialmente mineralizável e MOS, mostraram que o N_T foi o melhor índice da mineralização potencial e líquida de N orgânico do solo.

Tabela 7. Coeficiente de correlação linear de Pearson entre N da biomassa microbiana do solo (N_{BM}), N total (N_T), relação N_{BM} e N_T (q_{MIN}), N disponível (N_D), C da biomassa microbiana (C_{BM}), respiração basal (RB), C orgânico (C_{OT}) e relação C_{BM} e C_{OT} (q_{MIC}) em solo cultivado sob sistemas de monocultura de milho e de forrageiras, de milho em consórcio com *Panicum maximum* cv. Aruana e de milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, e em duas épocas (antes da semeadura e logo após a colheita do milho).

	N_{BM}	N_T	q_{MIN}	N_D	C_{BM}	RB	C_{OT}	q_{MIC}
N_{BM}	1,00	0,23**	0,96***	0,08 ^{ns}	0,39***	0,29**	0,09 ^{ns}	0,33***
N_T	-	1,00	-0,02 ^{ns}	0,27*	0,40***	0,42***	0,45***	0,20*
q_{MIN}	-	-	1,00	0,01 ^{ns}	0,29**	0,19*	-0,02 ^{ns}	0,29**
N_D	-	-	-	1,00	0,20*	0,09 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,19*
C_{BM}	-	-	-	-	1,00	0,36***	0,20*	0,90***
RB	-	-	-	-	-	1,00	0,39***	0,20*
C_{OT}	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,21*
q_{MIC}	-	-	-	-	-	-	-	1,00
	-	-	-	-	-	-	-	-

*significativo a 5%, **significativo a 1%, *** significativo a 0,1%, ns – não significativo.

A correlação positiva e significativa entre C_{OT} , N_T e RB mostra que essas três propriedades são parcialmente dependentes uma da outra. O efeito de época na profundidade de 20-30 cm mostrou que a RB foi provavelmente influenciada (aumentada) em função da

maior quantidade de N_T e C_{OT} observada após a colheita do milho (Tabela 6). Apesar dos sistemas de manejo não mostrarem diferenças significativas entre eles (com exceção entre *P. maximum* e milho/*B. humidicola*), observa-se que a presença da *B. humidicola* nos sistemas de manejo promoveu maior RB na profundidade de 20-30 cm; entre 14,12 a 15,32 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹ contra 8,55 a 11,48 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹.

4.4. CONCLUSÕES

- Os sistemas de consórcio não promovem alterações no C_{OT} e N_T em relação ao cultivo de milho em monocultura após quatro anos de estabelecimento do experimento;
- A disponibilidade de nitrogênio no solo é maior nos sistemas de consórcio com forrageiras em relação ao cultivo do milho em monocultura, o que favorece a disponibilidade de N no solo durante o ciclo de cultivo da cultura;
- A forrageira *P. maximum* aumenta os teores de N_D do solo em relação à *B. humidicola*;
- O sistema de consórcio milho/*P. maximum* aumenta os teores de N_{BM} e o q_{MIN} na profundidade de 0-5 cm comparado aos sistemas de monocultura de milho e das forrageiras;
- O sistema de milho consorciado com *P. maximum* resulta em maiores valores de C_{BM} na profundidade de 0-5 cm em relação ao consórcio com *B. humidicola*;
- Os sistemas de manejo avaliados tendem a apresentar maiores valores de C_{OT} e de C_{BM} após a colheita do milho em relação ao pré-plantio.

4.5. REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.5, p.1099-1108, 2007.

BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term and crop rotation effect on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 77, p.137-145, 2004.

BALOTA, E. L.; AULER, P. A. M. Soil microbial biomass under different management and tillage systems of permanent intercropped cover species in an orange orchard. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, p.1873-1883, 2011.

BATTLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 137, p.47-58, 2010.

BENDING, G. D.; TURNER, M. K.; JONES, J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n.8, p.1073-1082, 2002.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Eds.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 2nd edition, v. 2, 1982. p.595-624.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; De-CARLI, R. S.; ANTUNES, E. A. P.; SIMON, L.; ROMKO, M. L.; ELIAS, L. S.; FERREIRA, A. O. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p.1483-1490, 2012.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, p.837-842, 1985.

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

CARMO, J. B.; PICCOLO, M. C.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; SOUSA NETO, E.; CERRI, C. C. Short-term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, N₂O) and microbial biomass after tillage during pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 96, p.250-259, 2007.

CARVALHO, A. M.; COELHO, C. M.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; CARNEIRO, R. G.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop & Pasture Science**, v. 63, p. 1075-1081, 2012.

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

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G., AMÁBILE, R. F. RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado, com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p.399-406, 2007.

COSER, T. R.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G. R.; JANNUZZI, H.; MARCHÃO, R. L. Recuperação de carbono obtida por três métodos em frações da matéria orgânica de Latossolo sob consórcio milho forrageiras, no Cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p.91-97, 2012.

COSTA, R. O.; PEREIRA, S.; PACIORNIK, ABREU, J. B. Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*. **Pasturas Tropicales**, v. 24, n.3, p.14–20, 2002.

DIÓGENES, L. C.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; JÚNIOR, A. S. A.; PRAGANA, R. B.; MATIAS, S. S. Microbial attributes and carbon and nitrogen stocks in Latosol under irrigated monocropping and intercropping. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n.2, p.106-111, 2013.

DO CARMO, F. F. **Indicadores microbiológicos e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado**. 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Unb, Brasília, 2011.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O. O. S.; BASANTA, M. V.; CONG, P. T.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S. M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M. S. A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L. C.; WANG, J. Y.; ZAGAL, E.; KESSEL, C. van. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, p.139-152, 2010.

DUETE, R. E. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. R. Acúmulo de nitrogênio (¹⁵N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n.2, p.463-472, 2009.

ECIOLAZA, M. C. B.; OLIVEIRA, S.A. Teste de extratores químicos para avaliação da disponibilidade de nitrogênio em solos do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n.4, p.523-532, 1993.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa, 2. ed., 1997. 212p.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do nitrogênio do sulfato de amônio (^{15}N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p.885-893, 2012.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; MENDES, I. C.; DICK, R. P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandudalfs to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 142, n.3/4, p.419-427, 2011.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (Statistical Analysis Software) e planejamento de experimentos**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n.4, p.899-907, 2011.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p.907-916, 2010.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RAMOS, M. L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.3, p.551-562, 2007.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.3, p.279-287, 2005.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 135, p.161-167, 2010.

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

GIANELLO, C. **Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil**. 1985. 93p. (PhD Tesis) – Iowa State University, Ames, 1985.

GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O.; REICHMANN, E.; TEDESCO, M. J. Avaliação da disponibilidade do nitrogênio do solo estimada por métodos químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.93-101, 2000.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p.93-102, 2002.

HANEY, R. L.; KINIRY, J. R.; JOHNSON, M-V. V. Soil microbial activity under different grass species: underground impacts of biofuel cropping. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, p.754-758, 2010.

IPINMOROTI, R. R.; WATANABE, T.; ITO, O. Effect of *Brachiaria humidicola* root exudates, rhizosphere soils, moisture and temperature regimes on nitrification in two volcanic ash soils of Japan. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, n.1, p.106-113, 2008.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K.M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial process and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**. v. 114, p.305-317. 2003.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p.118-127, 2008.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean- based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil & Tillage Research**, v. 95, n.1, p.97-109, 2007.

JENKINSON, D. S; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: **Soil biochemistry**. PAUL, E. A.; LADD, J. M. (Eds.). v. 5, p.415-471, 1981.

KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A.; KOVAR, J. L.; COLVIN, T. S. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. **Soil & Tillage Research**, v. 133, p.54-64, 2013.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p.1-13, 2010.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Sistema Santa Fé. In: **Integração lavoura-pecuária**. KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.407-459, 2003.

LAL, R. Soil carbon dynamics in crop land and rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p.353-362, 2002.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. G. M.; MONTANDON, C. G.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p.461-472, 2013.

LOPES, M. M.; SALVIANO, A. C. C.; ARAUJO, A. S. F.; NUNES, N. A. L.; OLIVEIRA, M. E. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. **Journal of Agricultural Research**, v. 4, p.1253–1259, 2010.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of

integrated crop-livestock management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p.442-450, 2009.

McGILL, W. B.; DORMAAR, J. E.; REINL-DWYER, E., New perspective on soil organic matter quality, quantity and dynamics on the Canadian prairies. In: **Land Degradation and Conservation Tillage Proceedings**. 43rd Annual Meeting of the Canadian Society of Soil Science: CSSS, Agricultural Institute of Canada, Calgary, 1988. p. 30-38.

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; AMÁBILE, R. F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o trigo, em solo do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1941-1948, 2008.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: Cerrado**. Brasília: MMA, 2011. 200 p.

OLIVEIRA, S. A. **Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal**. 1987. 128f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Esalq, Piracicaba, 1987.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p.567-573, 2004.

SÁ, J. C. M.; SÁ, M. F. M.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, A. O. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p. 443-462.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 98, p.255-262, 2003.

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006. 93f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.191-199, 2000.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M., CURI, N.; ALOVISI, A. M. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campo das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p.1585-1592, 2010.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, p.323-329, 2006.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p.195-207, 1992.

SPEDDING, T. A.; HAMEL, C.; MEHUYS, G. R.; MADRAMOOTOO, C. A. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p.499–512, 2004.

SUBBARAO, G. V.; KISHII, M.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; BAN, T.; TSUJIMOTO, H.; GEORGE, T. S.; BERRY, W. L.; HASH, C. T.; ITO, O. Biological nitrification inhibition (BNI)-is there potential for genetic interventions in the Triticeae? **Breeding Science**, v. 59, p.529–545, 2009.

SUBBARAO, G. V.; RONDON, M.; ITO, O.; ISHIKAWA, T.; RAO, I. M.; NHAKARA K.; LASCANO, C.; BERRY, W. L. Biological nitrification inhibition (BNI) – is it a widespread phenomenon? **Plant and Soil**, v. 294, p.5-18, 2007.

SUBBARAO, G.V.; ISHIKAWA, T.; ITO, O.; NAKAHARA K.; WANG, H. Y.; BERRY, W. L. A bioluminescence assay to detect nitrification inhibitors released from plant roots: a case study with *Brachiaria humidicola*. **Plant and Soil**, v. 288, p.101-112, 2006.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Micro-organismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciências do Solo**, v. 2, n.2, p.195-276, 2002.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p.703-707, 1987.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.4, p.743-755, 2009.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chronic titration method. **Soil Science**, v. 37, p.29-38, 1934.

WARDLE, D. A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI; Goiânia: Embrapa-CNPAP; Londrina: Embrapa-CNPSo, 1994. 542p.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p.247-258, 2007.

YAGI, R. **Métodos químicos para a estimativa do nitrogênio disponível do solo**. 2008. 120f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C.. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** , Viçosa, v. 33, p.385-394, 2009.

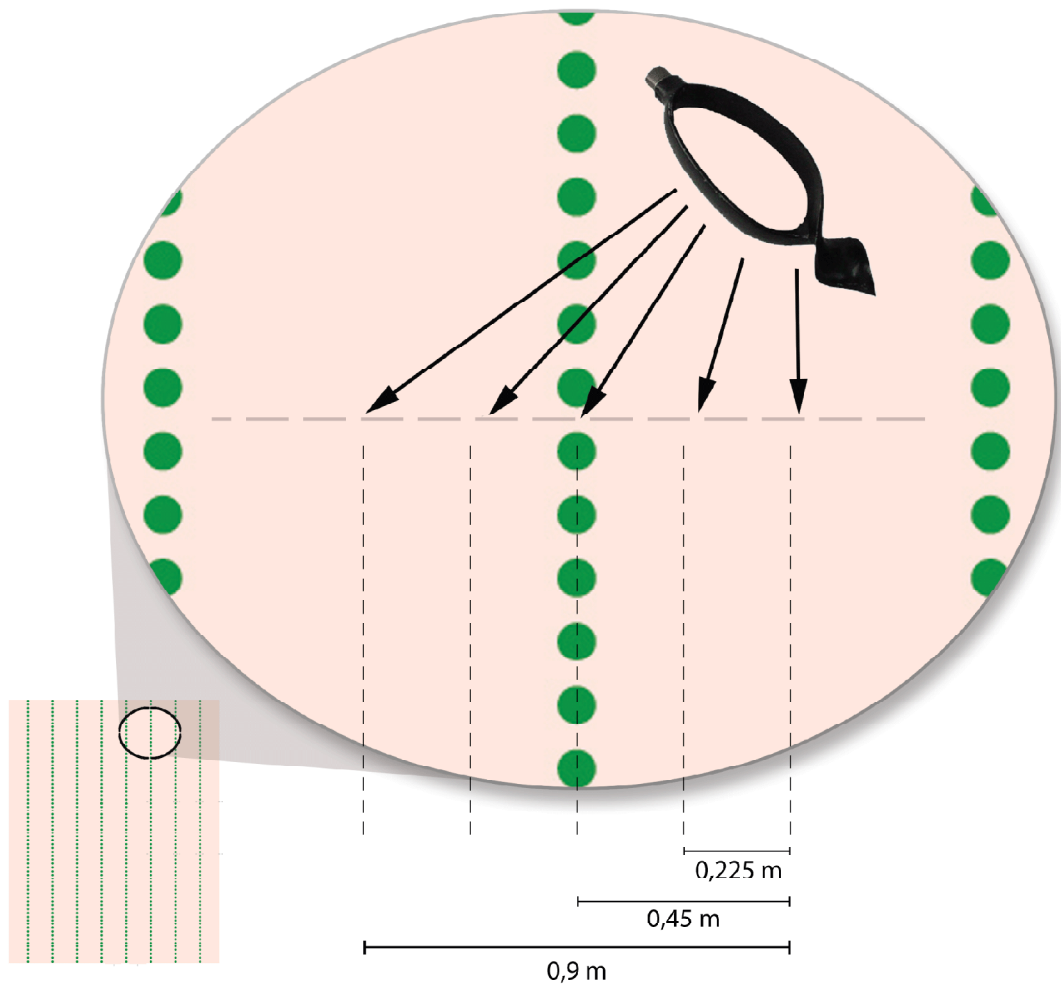
ZHANG, B.; H E, H. B.; DING, X. L.; ZHANG, X. D.; ZHANG, X. P.; YANG, X. M.; FILLEY, T. R. Soil microbial community dynamics over a maize (*Zea mays L.*) growing season under conventional and no-tillage practices in a rainfed agroecosystem. **Soil & Tillage Research**, v. 124, p.153-160, 2012.

ANEXOS

ANEXO A. Histórico de adubação do solo e de semeadura das forrageiras.

Sistemas de manejo	Histórico por safra agrícola
	2007/2008 (implantação do experimento)
Em área total do experimento	Aração seguida de gradagem 2,6 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico
Milho em monocultura e em consórcio com <i>P. maximum</i> e <i>B. humidicola</i>	30 kg N ha ⁻¹ no plantio e 90 kg N ha ⁻¹ em cobertura (uréia) 100 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ 40 kg K ₂ O ha ⁻¹ no plantio e 50 kg K ₂ O ha ⁻¹ em cobertura 20 kg ha ⁻¹ ZnSO ₄ Semeadura das forrageiras a lanço com 30 kg ha ⁻¹ sementes viáveis e levemente incorporadas com rastelo
<i>P. maximum</i> e <i>B. humidicola</i> em monocultura	60 kg N ha ⁻¹ (uréia) 100 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ 90 kg K ₂ O ha ⁻¹ 20 kg ha ⁻¹ ZnSO ₄ Semeaduras das forrageiras a lanço com 30 kg ha ⁻¹ sementes viáveis e levemente incorporadas com rastelo
	2008/2009
Milho em monocultura e em consórcio com <i>P. maximum</i> e <i>B. humidicola</i>	Adubação realizada conforme a safra 2007/2008 Utilizado o banco de sementes das forrageiras das parcelas experimentais
<i>P. maximum</i> e <i>B. humidicola</i> em monocultura	Adubação realizada conforme a safra 2007/2008 Utilizado o banco de sementes das forrageiras das parcelas experimentais
	2009/2010
Milho em monocultura e em consórcio com <i>P. maximum</i> e <i>B. humidicola</i>	Adubação realizada conforme a safra 2007/2008 Semeadura das forrageiras a lanço com 30 kg ha ⁻¹ sementes viáveis e levemente incorporadas com rastelo
<i>P. maximum</i> e <i>B. humidicola</i> em monocultura	Adubação realizada conforme a safra 2007/2008 Semeadura das forrageiras a lanço com 30 kg ha ⁻¹ sementes viáveis e levemente incorporadas com rastelo

ANEXO B. Ilustração da forma de amostragem do solo nas parcelas experimentais.



ANEXO C. Procedimento sequencial para determinação de hemicelulose, celulose e lignina.

1. Cortar o TNT no tamanho 10 x 5 e selar suas laterais, numerar com grafite, levar à estufa à 105°C por 60 minutos. Retirar e colocar no dessecador até esfriar;
2. Pesar 0,5 g de amostra, colocar em cada saquinho e selar o último lado;
3. Colocar os saquinhos contendo as amostras no porta saquinhos do equipamento específico, fechar o dreno do equipamento e adicionar 3 L de solução de FDN e calibrar o aparelho para uma temperatura de 95°C;
4. Colocar o revertério de vidro sobre a cuba de inox e ligar a água corrente para manter a refrigeração de modo a evitar a evaporação da solução. Após atingir a temperatura programada, ligar o relógio do equipamento em 60 minutos. Abrir o dreno e recolher a solução utilizada para ser usada mais uma vez;
5. Retirar o vidro do corpo inox do aparelho. Fechar o dreno e colocar água destilada quente, em torno de 3 L. Ligar o agitador por 5 minutos, abrir o dreno e deixar escorrer toda a água. Fechar o dreno e repetir esta operação mais duas vezes;
6. Retirar o porta-saquinhos do equipamento e deixar esfriar no local próprio do aparelho. Depois de frio retirar os saquinhos e colocar em um béquer de 1000 mL e adicionar 300 mL de acetona, e com o auxílio de um bastão de vidro agitar intercalado, tendo o cuidado para não perfurar os saquinhos;
7. Aguardar 10 minutos, retirar os saquinhos da acetona e levá-los a estufa a 105°C por 12 horas. Após este tempo retirar da estufa e colocá-los no dessecador, esperar esfriar e pesar na balança de precisão.

Com o resíduo da FDN, após a pesagem dos saquinhos, inicia-se a análise de FDA. O procedimento é o mesmo mudando apenas a solução utilizada.

Procedimento – Passo a passo simplificado (Lignina):

1. Retirar os cadinhos de vidro da estufa e pesá-los. Em seguida, pesa-se o conteúdo dos saquinhos da análise de FDA (resíduo da análise);
2. Colocar parafilm no sentido da placa perfurada do cadinho;
3. Adicionar a solução de ácido sulfúrico 72% e mexer 7 vezes de 30 em 30 minutos, com auxílio de bastões de vidro;
4. Ao fim da etapa seguinte, filtrar os cadinhos em um kitasato acoplado à uma bomba de sucção. Esse procedimento deve ser feito utilizando-se água destilada quente para lavagem da amostra;
5. Levar os cadinhos a estufa por 12 horas;
6. Colocar os cadinhos no dessecador até que estejam secos e em seguida realizar a pesagem;
7. O próximo passo é colocar os cadinhos na mufla por 5 horas a 500° C;
8. Esperar que os cadinhos esfriem no dessecador e realizar a pesagem.

ANEXO D. Análise de variância para eficiência de recuperação do N do fertilizante no grão (ERNFG) e na palhada (ERNFP) do milho, N derivado do fertilizante nitrogenado no grão (NDFMG) e na palhada (NDFMP) do milho.

Fonte de variação	G.L.	ERNFG	
		Q.M.	F
Manejo	2	5,0138	0,11ns
Bloco	2	16,0481	0,35ns
CV (%)			14,45
DMS			19,76
Fonte de variação	G.L.	ERNFP	
		Q.M.	F
Manejo	2	3,3996	0,93ns
Bloco	2	11,1443	3,04ns
CV (%)			6,23
DMS			5,57
Fonte de variação	G.L.	NDFMG	
		Q.M.	F
Manejo	2	5,0138	0,11ns
Bloco	2	16,0481	0,35ns
CV (%)			14,45
DMS			19,76
Fonte de variação	G.L.	NDFMP	
		Q.M.	F
Manejo	2	3,3996	0,93ns
Bloco	2	11,1443	3,04ns
CV (%)			6,23
DMS			5,57

*significativo a 5%, **significativo a 1%, ns – não significativo.

ANEXO E. Análise de variância para N derivado do solo no grão (NDSG) e na palhada (NDSP), N total acumulado no grão (NTOTALG), na palhada (NTOTALP) e na planta inteira (NTOTAL) do milho.

Fonte de variação	G.L.	NDSG	
		Q.M.	F
Manejo	2	265,2829	2,64 ^{ns}
Bloco	2	190,3345	1,89 ^{ns}
CV (%)			13,40
DMS			29,17
Fonte de variação	G.L.	NDSP	
		Q.M.	F
Manejo	2	11,1099	0,20 ^{ns}
Bloco	2	42,9861	0,77 ^{ns}
CV (%)			18,69
DMS			21,72
Fonte de variação	G.L.	NTOTALG	
		Q.M.	F
Manejo	2	335,7382	1,48 ^{ns}
Bloco	2	315,6141	1,39 ^{ns}
CV (%)			12,37
DMS			43,85
Fonte de variação	G.L.	NTOTALP	
		Q.M.	F
Manejo	2	26,5579	0,39 ^{ns}
Bloco	2	43,5652	0,63 ^{ns}
CV (%)			11,72
DMS			18,79
Fonte de variação	G.L.	NTOTAL	
		Q.M.	F
Manejo	2	550,9842	1,10 ^{ns}
Bloco	2	493,4366	0,98 ^{ns}
CV (%)			11,63
DMS			65,15

*significativo a 5%, **significativo a 1%, ns – não significativo.

ANEXO F. Análise de variância para N da biomassa microbiana (NBMS) e N disponível do solo na profundidade de 0-5 cm.

Fonte de variação	G.L.	NBMS	
		Q.M.	F
Manejo	2	432,4086	10,21*
Bloco	2	20,2995	0,41 ^{ns}
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
CV (%)			15,95
DMS			18,93
Fonte de variação	G.L.	N disponível	
		Q.M.	F
Manejo	2	388,1582	26,12**
Bloco	2	54,2774	3,65 ^{ns}
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
CV (%)			6,07
DMS			11,22

*significativo a 5%, **significativo a 1%, ns – não significativo.

ANEXO G. Análise de variância para produtividade, matéria seca do milho (MSM), índice de colheita (IC) e coeficiente de utilização biológica de N (CUB) do milho.

Fonte de variação	G.L.	Produtividade	
		Q.M.	F
Manejo	2	2467729,1310	1,54 ^{ns}
Bloco	2	488370,4210	0,30 ^{ns}
CV (%)			11,95
DMS			3684,50
Fonte de variação	G.L.	MSM	
		Q.M.	F
Manejo	2	250114,2956	1,10 ^{ns}
Bloco	2	159579,3577	0,70 ^{ns}
CV (%)			10,41
DMS			1387,2
Fonte de variação	G.L.	IC	
		Q.M.	F
Manejo	2	0,0008	0,81 ^{ns}
Bloco	2	0,0010	1,08 ^{ns}
CV (%)			4,45
DMS			0,09
Fonte de variação	G.L.	CUB	
		Q.M.	F
Manejo	2	20,4515	1,37 ^{ns}
Bloco	2	57,3842	3,85 ^{ns}
CV (%)			4,87
DMS			11,23

*significativo a 5%, **significativo a 1%, ns – não significativo.

ANEXO H. Análise de variância para hemicelulose, celulose, lignina e relação C/N do milho e das forrageiras *P. maximum* cv. Aruana e *B. humidicola*.

Fonte de variação	G.L.	Hemicelulose	
		Q.M.	F
Manejo	2	12,91674	18,73**
Bloco	2	0,2096	0,304 ^{ns}
<hr/>			
CV (%)			2,95
DMS			2,42
Fonte de variação	G.L.	Celulose	
		Q.M.	F
Manejo	2	0,1691	0,11 ^{ns}
Bloco	2	0,9573	0,61 ^{ns}
<hr/>			
CV (%)			7,59
DMS			3,64
Fonte de variação	G.L.	Lignina	
		Q.M.	F
Manejo	2	3,6380	28,140**
Bloco	2	0,2491	1,93 ^{ns}
<hr/>			
CV (%)			6,65
DMS			1,04
Fonte de variação	G.L.	Relação C/N	
		Q.M.	F
Manejo	2	180,4618	6,943*
Bloco	2	12,6275	0,486 ^{ns}
<hr/>			
CV (%)			9,41
DMS			14,83

*significativo a 5%, **significativo a 1%, ns – não significativo.