

**FRACIONAMENTO DE N NO SOLO E NA CULTURA DA SOJA
MANEJADA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA COM ROTAÇÃO DE
CULTURAS**

ANA CAROLINA MÔNICO MOREIRA

**FRACIONAMENTO DE N NO SOLO E NA CULTURA DA SOJA
MANEJADA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA COM ROTAÇÃO DE
CULTURAS**

ANA CAROLINA MÔNICO MOREIRA

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Produção vegetal.

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos

633.341
M838f

Moreira, Ana Carolina Mônico.

Fracionamento de N no solo e na cultura da soja manejada em sistema de semeadura direta com rotação de culturas / Ana Carolina Mônico Moreira – Presidente Prudente, 2016.
120f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2016.

Bibliografia.

Orientador: Carlos Henrique dos Santos .

1. Matéria orgânica. 2. Biomassa. 3. Mineralização. 4. Volatilização. I. Título. II. Autor.

ANA CAROLINA MÔNICO MOREIRA

**FRACIONAMENTO DE N NO SOLO E NA CULTURA DA SOJA
MANEJADA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA COM ROTAÇÃO DE
CULTURAS**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Produção vegetal.

Presidente Prudente, 23 de março de 2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador: Carlos Henrique dos Santos
Universidade do Oeste Paulista - Unoeste
Presidente Prudente-SP

Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan
Universidade do Oeste Paulista - Unoeste
Presidente Prudente-SP

Prof. Dr. Hélio Grassi Filho
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Botucatu-SP

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Marly Geraldo Mônico e Manoel Moreira Neto por todo incentivo, toda ajuda, colaboração diante do desenvolvimento desse projeto, sempre torcendo pela minha conquista e confiando no meu trabalho.

Agradeço ao meu irmão Francisco Mônico Moreira pelo incentivo e apoio.

Agradeço ao meu namorado Luiz Augusto Polido Dassie, por todo momento me incentivar e apoiar.

Agradeço a todos os professores que de certa forma colaboraram com o seu conhecimento, em especial ao meu orientador Carlos Henrique dos Santos, que além de professor passou a ser meu amigo, obrigada pela ajuda, incentivo, por seus ensinamentos, pela confiança depositada em mim e torcida pela minha conquista.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial à Viviane Tavares e ao Rafael Gervasoni que sempre estiveram ao meu lado durante todo esse período, me incentivando e ajudando.

Agradeço aos meus amigos do laboratório Joce Martines, Lindaura Helena, Luciana Muchiutti, Raphael de Paulo Fernandes e Viviane Ferreira, que me acolheram de braços abertos dentro do laboratório, com todo carinho, atenção, sempre me ajudando, não medindo esforços para passarem seus conhecimentos, me incentivando e sempre torcendo por mim.

Agradeço à minha amiga Luciana Fabris, a qual tive a oportunidade de trabalhar junto durante todo o desenvolvimento do trabalho, sempre ali ao meu lado me auxiliando, me ajudando, me incentivando.

Agradeço à minha amiga Rita Mazzuchelli também que não mediu esforços para me auxiliar em algumas análises, sempre disposta a ensinar, com toda paciência, carinho e atenção.

Agradeço todos os estagiários da graduação que estiveram comigo durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a todos os funcionários da universidade que colaboraram de alguma forma para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade do Oeste Paulista e à CAPES pela oportunidade.

EPÍGRAFE

*“Renda-se, como eu me rendi.
Mergulhe no que você não conhece
como eu mergulhei. Não se
preocupe em entender, viver
ultrapassa qualquer entendimento.”*

Clarice Lispector

RESUMO

Fracionamento de N no solo e na cultura da soja manejada em sistema de semeadura direta com rotação de culturas

Os solos arenosos, como os da região do Oeste Paulista, apresentam algumas limitações para o cultivo de plantas, como o baixo teor de argila e de matéria orgânica no solo. O grande desafio a partir disso é acumular matéria orgânica nos solos de textura arenosa para melhorar as condições do sistema de produção. O objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica do nitrogênio e do carbono em um Argissolo Vermelho distroférico em sistema de manejo com rotação/sucessão das culturas do milho, do tremoço, da *Urochloa Brizantha* (syn. *Brachiaria*) e da soja combinadas com doses de N, em sistema de plantio direto. O experimento foi instalado e conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias, na Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente/SP, seguindo o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas por três rotações de culturas (Milho/Tremoço/Pousio/Soja; Milho + *Urochloa brizantha*/Soja; *Urochloa brizantha*/Soja) e as subparcelas por quatro doses de N aplicadas anualmente (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). As culturas principais rotacionadas utilizadas foram: milho híbrido AG 5055, soja cultivar BMX Potência RR e a forrageira *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria*) cv. MG-5. Foram avaliados os teores de N-total e N-inorgânico (NH₄⁺ e NO₃⁻) do solo, das folhas da soja, do milho e da *Urochloa* e da palhada; NH₃ volatilizada; o teor de C-total; e os teores de C e N da biomassa microbiana do solo. Conclui-se que o manejo das rotações de culturas e as doses de N não influenciaram nos teores de N no solo e na planta, porém as maiores concentrações de N e C do solo foram encontradas na camada de 0-20 cm.

Palavras-chave: matéria orgânica; biomassa; mineralização; volatilização; amônio; nitrato.

ABSTRACT

Fractionation of N in soil and soybean crop handled in no tillage with crop rotation

Sandy soils, such as the west paulista region, have some limitations for growing plants, such as the low content of clay and organic matter in the soil. The challenge from this is to accumulate organic matter in sandy textured soils to improve the production system conditions. The aim of this study was to evaluate the dynamics of nitrogen and carbon in a distroferric Red-Yellow Argisol in management system rotation/succession crops of maize, lupine, *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria*) and soybeans combined with N rates in no-till system. The experiment was installed and conducted at the Faculty of Agricultural Sciences at the University of West Paulista - UNOESTE in Presidente Prudente/SP, following a randomized complete block design with four replications in a split plot, the plots consisted of three crop rotations (Maize/Lupine/Fallow/Soybean, Maize plus *Urochloa brizantha*/Soybean; *Urochloa brizantha*/Soybean) and the subplots by four N rates applied annually (50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹). The main crops rotated were: hybrid corn AG 5055, soybean farming BMX Power RR and forage *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria*) cv. MG-5. We evaluated the total N content and N-inorganic (NH₄⁺ and NO₃⁻) of soil, soybean leaves, corn and *Urochloa* and straw; NH₃ volatilization; total C content; and the contents of C and N soil microbial biomass. The management of crop rotations and N levels did not influence the N content in the soil and in the plant, but the highest concentrations of N and C soil found at 0-20 cm.

Keywords: organic matter; biomass mineralization; volatilization; ammonium, nitrate.

LISTA DE SIGLAS

BMS	– Biomassa microbiana do solo
C	– Carbono
C-mic	– Carbono microbiano
COT	– Carbono orgânico total
FBN	– Fixação biológica de nitrogênio
MO/MOS	– Matéria orgânica do solo
N-NH ₃	– Amônia
N-NH ₄ ⁺	– Amônio
N-mic	– Nitrogênio microbiano
N-NO ₃ ⁻	– Nitrato
N-NO ₂ ⁻	– Nitrito
SPC	– Sistema de plantio convencional
SPD	– Sistema de plantio direto

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Rotação 2 e 3: Mi+Ur e Ur	39
FIGURA 2.	Plantio da cultura da soja.....	40
FIGURA 3	Dados climáticos da região. Presidente Prudente, 2014.....	41
FIGURA 4.	Dados climáticos da região. Presidente Prudente, 2015.....	41
FIGURA 5.	Croqui da distribuição dos tratamentos na área experimental.....	45
FIGURA 6.	Coleta de solo com o trado.....	47
FIGURA 7.	Destilador de Kjeldal.....	48
FIGURA 8.	Detalhe do procedimento de instalação do coletor de NH ₃	49
FIGURA 9.	Detalhe de uma esponja coletora contendo a solução extratora (ácido Fosfórico).....	50
FIGURA 10.	Fento: aparelho utilizado para leitura do COT.....	51
FIGURA 11.	Microondas utilizado para irradiar as amostras.....	52
FIGURA 12.	Coleta de palha da superfície do solo.....	54
FIGURA 13.	Detalhe dos grãos de soja trilhados.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Análise química do solo antecedente à instalação do experimento.....	42
TABELA 2.	Análise granulométrica do solo antecedente à instalação do experimento.....	42
TABELA 3.	Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos N-NH ₃ , N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₃ ⁻ , N-total e N-mic do solo nos manejos de rotação e nas profundidades, cm, avaliados. Presidente Prudente, 2014.....	57
TABELA 4.	Concentração de N-NH ₃ , kg ha ⁻¹ , nos manejos de rotação de culturas em função da interação entre as doses de N,kg ha ⁻¹ , e épocas de coleta (dias). Presidente Prudente, 2014.....	58
TABELA 5.	Teor de N-NH ₄ ⁺ no solo em função da interação entre as doses de N e as profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2014	60
TABELA 6.	Teor de N-NO ₃ ⁻ no solo em função da interação entre as rotações de culturas, as doses de N e as profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2014.....	62
TABELA 7.	Teores de N-total,N-mic no solo e N-mic/N-total nas rotações, doses de N e nas profundidades avaliadas. Presidente Prudente, 2014.....	66
TABELA 8.	Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos C-total, C-mic, e Relação C/N nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades avaliadas. Presidente Prudente, 2014.....	69
TABELA 9.	Teor do C-total,C-mic e C-mic/C-total nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades. Presidente Prudente, 2014.....	70
TABELA 10.	Relação C/N do solo considerando a interação entre os manejos de rotação e as profundidades. Presidente Prudente, 2014.....	73
TABELA 11.	. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nos manejos de rotação e nas doses de N aplicadas. Presidente Prudente, 2014.....	75
TABELA 12.	Teores de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nas folhas da soja em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014....	77
TABELA 13.	Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2014.....	78
TABELA 14.	Teores de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nos grãos da soja, em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014	78
TABELA 15.	Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ , nas palhadas coletadas antes e após a colheita da soja (residual), em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.....	79
TABELA 16.	Teores de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ quantificadas nas palhadas coletadas antes e após a colheita da soja (residual), em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.....	80

TABELA 17.	Resultados do teste F, calculados para o parâmetro produtividade da cultura da soja em função das rotações de culturas e das doses de N. Presidente Prudente, 2014.....	81
TABELA 18.	Média dos valores da produtividade da soja, em função das rotações de cultura e doses de N. Presidente Prudente, 2014.....	81
TABELA 19.	Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2014	83
TABELA 20.	Teores de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nas folhas de <i>Urochloa brizantha</i> , em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.....	83
TABELA 21.	Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos N-NH ₃ , N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₃ ⁻ , N-total e N-mic do solo nos manejos de rotação e nas profundidades cm avaliados. Presidente Prudente, 2015.....	84
TABELA 22.	Concentração de N-NH ₃ , kg ha ⁻¹ , nos manejos de rotação de culturas em função da interação entre as doses de N,kg ha ⁻¹ e épocas de coleta. Presidente Prudente, 2015.....	85
TABELA 23.	Concentração de N-NH ₄ ⁺ no solo em função da rotação de culturas, das doses de N, e das profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2015.....	86
TABELA 24.	Teores de N-NO ₃ ⁻ no solo em função da interação entre as rotações de culturas, doses de N e as profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2015.....	87
TABELA 25.	Teores de N-total em função da interação entre as rotações, doses de N e profundidade. Presidente Prudente, 2015.....	89
TABELA 26.	Teor de N-total e N-mic no em função solo nas rotações de culturas, doses de N e profundidades avaliadas. Presidente Prudente, 2015.....	90
TABELA 27.	Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos C-total, C-mic, e Relação C/N nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades. Presidente Prudente, 2015.....	92
TABELA 28.	Concentração do C-total e C-mic nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades avaliados. Presidente Prudente, 2015.....	93
TABELA 29.	Relação C/N considerando a interação entre os manejos de rotação, as doses de N e as profundidades. Presidente Prudente, 2015.....	94
TABELA 30.	Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ , nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2015.....	95
TABELA 31.	Teores de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nas folhas do milho em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015....	96
TABELA 32.	Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2015.....	97
TABELA 33.	Teores de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nos grãos do milho, em função das	97

	rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015....	
TABELA 34.	Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2015.....	98
TABELA 35.	Teor de N-NH ₄ ⁺ nas folhas de <i>Urochloa brizantha</i> em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015.....	99
TABELA 36.	Teor de N-NO ₃ ⁻ nas folhas de <i>Urochloa brizantha</i> em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015.....	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVO.....	18
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1	Importância do nitrogênio para a agricultura.....	19
3.2	Contribuição da matéria orgânica como fonte de N para os solos	20
3.3	Contribuição da matéria orgânica como fonte de C para o solo....	22
3.4	Dinâmica do N no solo.....	24
3.5	Absorção radicular e assimilação de N pelas plantas.....	26
3.6	Principais perdas de N nos solos agrícolas.....	27
3.6.1	Lixiviação de N no solo.....	28
3.6.2	Desnitrificação.....	29
3.6.3	Volatilização.....	29
3.6.4	Imobilização.....	30
3.7	Influência dos sistemas de plantio direto e plantio convencional na dinâmica de N no solo.....	31
3.8	Adubação nitrogenados em sistemas de produção agrícola.....	33
3.9	Importância da sucessão de cultura para o melhor aproveitamento de N no solo.....	34
3.10	Qualidade biológica do solo.....	36
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4.1	Localização da área.....	39
4.2	Instalação do experimento.....	42
4.3	Descrição dos manejos e delineamento estatístico.....	43
4.4	Procedimentos agronômicos adotados na instalação do experimento.....	46
4.5	Parâmetros de monitoramento.....	46
4.5.1	Análise de solo para fins de fertilidade.....	47
4.5.1.1	Determinação do N-total e N-inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) no solo.....	47
4.5.1.2	Determinação da volatilização da NH_3 do solo.....	48
4.5.1.3	Quantificação do CT do solo.....	51

4.5.2	Análise da biomassa microbiana.....	52
4.5.2.1	Quantificação do C-mic e N-mic da biomassa microbiana do solo.....	52
4.6	Diagnose foliar da cultura da soja.....	54
4.6.1	Determinação do N inorgânico fracionado.....	54
4.7	Determinação do N inorgânico fracionado da biomassa da matéria seca coletada da superfície do solo.....	54
4.8	Produtividade de grãos da cultura da soja.....	55
4.9	Diagnose foliar da cultura do milho.....	55
4.9.1	Determinação do N inorgânico fracionado.....	55
4.10	Diagnose foliar da Urochloa brizantha cv. MG5.....	55
4.10.1	Determinação do N fracionado.....	56
4.11	Análise estatística.....	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
6	CONCLUSÃO.....	101
	REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

Os solos arenosos, como os da região do Oeste Paulista, apresentam limitações para o cultivo de plantas, podendo ser considerados como solos de baixa fertilidade. Isso ocorre, dentre outros motivos, devido aos baixos teores de matéria orgânica e argila presentes e, que são fatores importantes pela sua estruturação e organização química, física e biológica.

O grande desafio, então, é aumentar o teor de matéria orgânica nos solos de textura arenosa para melhorar as condições de desenvolvimento e produção das culturas agrícolas. O sistema de plantio direto é um sistema conservacionista que vem colaborando neste desafio. Este modelo de manejo requer menor uso de máquinas, favorecendo a atividade biológica do solo e o acúmulo da matéria orgânica.

Além de se ter um sistema de produção sustentável, consegue-se obter melhores condições de fertilidade, promovendo maior cobertura do solo, o que proporciona um ambiente protegido, com menor índice de erosão, maior teor de umidade, melhor desenvolvimento radicular e maior aproveitamento dos nutrientes, tendo assim melhores índices de produção.

A rotação de culturas pode ser utilizada nesse sistema, mesclando-se culturas comerciais, como a soja, o milho, o arroz, o feijão e o sorgo com as espécies denominadas de adubos verdes como as crotalárias, as mucunas, o feijão guandu e o milheto, com o objetivo de proporcionar o recobrimento eficiente do solo, ter uma elevada reciclagem de nutrientes e aumentar a produtividade.

Tão importante quanto a deposição de biomassa na superfície do solo, é a sua manutenção. A relação C/N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica, proporcionando informação sobre o seu estado de humificação e cobertura do solo. Neste contexto, o conhecimento da dinâmica dos nutrientes C e N torna-se muito importante para a determinação da competição entre os nutrientes e para a atividade dos microrganismos do solo (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

Dentre os nutrientes citados, o Nitrogênio (N) é considerado um dos elementos essenciais para o crescimento das plantas que, embora possa ser suprido pelo solo, via decomposição da matéria orgânica, ainda necessita de um aporte externo através da mineral.

É um elemento de difícil manejo, devido á sua facilidade de perda por volatilização, lixiviação, desnitrificação ou até mesmo por erosão, as quais são intensificadas nos arenosos, com baixo teor de argila e matéria orgânica.

Portanto, o conhecimento do comportamento do N no solo é de fundamental importância na tomada de decisão a respeito da adubação nitrogenada (nível, fonte, época, parcelamento) (SOARES, 1999), que por muitos é recomendada conforme o teor de matéria orgânica no solo ou exigência da espécie.

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica do nitrogênio e do carbono em um Argissolo Vermelho distroférico em sistema de manejo com rotação/sucessão das culturas do milho, do tremoço, da *Urochloa Brizantha* (Syn. *Brachiaria*) e da soja combinadas com doses de N, em sistema de plantio direto.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância do nitrogênio (N) para a agricultura

O N é essencial para o crescimento das plantas, sendo necessário em grande escala para proporcionar um crescimento normal dos vegetais. A sua ausência pode levar à deficiência da planta, como a clorose nas folhas velhas e a redução de crescimento das plantas (MELGAR; CAMOZZI; FIGUEROA, 1999).

É um elemento requerido em maiores quantidades pelas culturas, pois é constituinte de diversas moléculas importantes para seu desenvolvimento como as proteínas, os ácidos nucléicos, os hormônios e a clorofila (EPSTEIN, 1999). Na sua ausência ocorre séria limitação do desenvolvimento, da produtividade e da produção biomassa da maioria das culturas. Esse nutriente, quando suprido pelo solo, na maioria dos casos, não é suficiente para garantir altas produtividades, havendo necessidade de um aporte externo desse elemento ao sistema (FREIRE; VASCONCELLOS; FRANÇA, 2000).

Na cultura do milho, por exemplo, o nitrogênio (N) e o potássio (K) são os elementos absorvidos em maiores quantidades (FOLLMANN, 2015). O N é um dos nutrientes mais requeridos pelo milho por ser constituinte essencial dos aminoácidos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) e moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos e citocromos, além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila, é um dos nutrientes que apresentam os efeitos mais significativos no acréscimo da produção de grãos na cultura do milho (FERNANDES; LIBARDI; TRIVELIN, 2008; SILVA et al., 2005).

Nas pastagens o N aplicado servirá para aumentar a produção vegetal que será consumida pelos animais, resultando em maior produção de leite ou carne (FOLLMANN, 2015). O N pode ser utilizado para produção de pastagem ou permanecer no solo para ser utilizado em futuras produções de grãos, como o milho ou soja (FOLLMANN, 2015). Sandini et al. (2011) relataram que o N aplicado na pastagem, influenciou no acúmulo da fitomassa do rebrote, avaliada 143 dias após sua aplicação, assim como a produtividade da cultura do milho em sucessão.

Dos nutrientes absorvidos pelas plantas, o N é o de manejo e recomendação mais complexos, em virtude da multiplicidade de reações químicas e biológicas a que está sujeito, com grande dependência das condições edafoclimáticas (CANTARELLA; DUARTE, 2004) e da relação C/N do material (MALAVOLTA, 1976). Por ser um elemento de difícil manejo aumentam-se as perdas por erosão, volatilização, imobilização biológica e lixiviação. Segundo Mantovani (2005), a lixiviação é o grande problema que mais ocorre nos solos brasileiros, principalmente na região do Oeste Paulista, onde a maioria dos solos é de baixa fertilidade e de textura arenosa.

A maior parte do N disponível nos solos é obtida por meio de fixação biológica (FBN), outra parte é disponibilizada por meio do arraste dos óxidos de N produzidos na atmosfera por descargas elétricas pela chuva (SOUZA; FERNANDES, 2006), além da adubação nitrogenada.

O manejo racionado da adubação nitrogenada assume cada vez mais importância, e Hauck (1984) projeta que, a partir do ano de 2000 mais de 80% da demanda agrícola mundial de N será atendida pelo uso de fertilizantes nitrogenados ou de leguminosas. Hoje a demanda por alta produtividade nas lavouras intensificou o uso de fertilizantes, resultando na dispersão de compostos nitrogenados no ambiente, já que sua eficiência do aproveitamento é mínima (GARCIA; CARDOSO; SANTOS, 2013).

O conhecimento do comportamento do N no solo é de fundamental importância na tomada de decisão a respeito da adubação nitrogenada (nível, fonte, época, parcelamento) (SOARES, 1999) que por muitos é recomendada conforme o teor de matéria orgânica no solo ou exigência da espécie.

3.2 Contribuição da matéria orgânica como fonte de N para os solos

A matéria orgânica do solo (MOS), principal reservatório de N, embora não esteja prontamente disponível às plantas (URQUIAGA; ZAPATA, 2000), representa a maior porção de N no solo. A manutenção da M.O contribui para a constante permanência do N no solo, a qual permanece temporariamente imobilizada pelos microrganismos decompositores e se tornará disponível às plantas posteriormente (KORNDÖRFER; VALLE; MARTINS, 1997).

Com a elevação da MOS ocorre aumento da CTC dos solos de Cerrado (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007; CAMPOS et al., 2011), sendo essa essencial para reter os cátions e aumentar a fertilidade do solo. Assim, o uso sustentável desses solos depende da manutenção ou até mesmo do aumento gradativo dos teores de MOS, podendo ser obtido, por exemplo, com a utilização de cobertura vegetal constante do solo (CAETANO et al., 2013).

A rápida decomposição de palhada dificulta a manutenção de uma cobertura uniforme na superfície do solo e dessa forma a escolha de espécies mais resistentes à decomposição de seus resíduos assume importância. A utilização de plantas de cobertura, de crescimento rápido, antecipado ao plantio de verão, vem assumindo importância em regiões dos Cerrados (CAMPOS et al., 2011), onde as condições climáticas limitam o acúmulo e a manutenção de cobertura durante longo período. Nessas condições, vem destacando-se o milheto, que, além dessa vantagem, tem alta produção de matéria seca, sistema radicular profundo e abundante (GONÇALVES et al., 2006), alta capacidade de reciclagem de nutrientes do solo (BOER et al., 2007), tolerância à seca e é bem adaptado a solos arenosos (MARTEAU et al., 2011)

A utilização de plantas de cobertura incrementa a quantidade de fitomassa depositada na superfície do solo aumentando o teor de material orgânico a ser decomposto, além de reduzir a erosão e aumentar a infiltração de água no solo (HOORMAN, 2009; PANACHUKI et al., 2011; DONEDA et al., 2012; GUEDES FILHO et al., 2013). Essa fitomassa, após sua decomposição, aumenta a atividade microbiana, o acúmulo de nutrientes e o teor MOS nas camadas superficiais do solo e, conseqüentemente, favorece o aumento da estabilidade dos agregados do mesmo (LOSS et al., 2011; CASALI, 2012; LIMA FILHO et al., 2014).

O não-revolvimento do solo no sistema de plantio direto e o conseqüente acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na sua superfície promovem modificações químicas do solo em relação ao sistema convencional. Estas modificações ocorrem de forma gradual e progressiva a partir da superfície e afetam tanto a disponibilidade de nutrientes quanto o processo de acidificação do solo (SIDIRIAS; PAVAN, 1985; RHEINHEIMER et al., 1998).

Dentro deste contexto, a relação C/N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), pois a sua decomposição determina a competição pelos nutrientes essenciais C e N, e, conseqüentemente, a atividade dos microrganismos do solo (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

Amado et al. (1998) e Reinert et al. (1998) avaliando áreas arenosas da fronteira sudoeste do RS, concluíram que sistemas de preparo convencional, nesses solos de alta fragilidade, tiveram, como conseqüência, a redução de sua qualidade física e química, quando comparados ao campo natural.

3.3 Contribuição da matéria orgânica como fonte de C para o solo

O carbono (C) é um elemento químico de grande importância para os seres vivos, pois participa da composição química de todos os componentes orgânicos e de uma grande parcela dos inorgânicos. É o elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas, utilizado primariamente pelos seres vivos presentes no ambiente, combinado ao oxigênio e formando as moléculas de gás carbônico presentes na atmosfera ou dissolvidas nas águas dos mares, rios e lagos.

No solo pode estar na forma inorgânica, como carbonato, bicarbonato e dióxido de carbono, e na forma orgânica, como polissacarídeos, ácidos graxos, aminoácidos e polifenóis. O C orgânico do solo é encontrado na biomassa dos microrganismos, nas substâncias húmicas, nos resíduos vegetais e animais em diferentes estágios de decomposição e em matérias inertes como o carvão vegetal ou mineral (YEOMANS; BREMNER, 2005).

Segundo Yeomans e Bremner (2005) em solos ácidos determina-se que o C total seja o C orgânico, cujo valor em solos agrícolas varia de 0,2 a 5,0 dag kg⁻¹, sendo que em solos ácidos a maior parte dele encontra-se na forma orgânica. Em solos arenosos esses teores podem variar até 40 a 50 dag kg⁻¹ em depósitos turfosos (YEOMANS; BREMNER, 2005).

O teor de carbono orgânico pode ser usado como indicativo de qualidade física do solo, já que está intimamente ligado a atributos como textura, teores de matéria orgânica, carbono orgânico e microbiano e estabilidade de agregados (CARDOSO et al., 2010; CRUZ et al., 2011; CAJAZEIRA; ASSIS JÚNIOR, 2011). O C melhora a estrutura física do solo pela melhor agregação, maior

porosidade, melhor infiltração e armazenamento de água. Assim as plantas têm a possibilidade de produzir sistemas radiculares mais abundantes e profundos, possibilitando a busca de nutrientes e água nas camadas mais profundas do solo (BRAGA, 2012).

Comparando os sistemas agrícolas observa-se que o sistema de plantio convencional acumula duas vezes menos C do que o sistema de plantio direto, pois neste último, há o menor revolvimento do solo e, conseqüentemente, menor perda de C (BRAGA, 2012).

O SPD tem a finalidade de acumular C ao longo dos anos utilizando culturas com abundante sistema radicular e grande produção de massa verde, garantindo maior depósito de resíduos no solo, com acúmulo maior de C. O uso de leguminosas também ajuda neste acúmulo, já que estas espécies tendem a acumular mais N, permitindo o maior seqüestro de C do ar. As perdas de N também interferem no teor de C, visto que a matéria orgânica tem uma relação C/N de 10/1 a 13/1 e a perda de uma unidade de N provoca a perda de 10 a 13 unidades de C (BRAGA, 2012).

Normalmente, sistemas em pousios, culturas de baixa produtividade, queima ou remoção de resíduos culturais apresentam baixo valor anual de C (LOVATO et al., 2004). Resultados de pesquisas têm demonstrado que solos sob florestas em regiões tropicais apresentam maior potencial de dreno de C, comparativamente ao uso do solo para fins agrícolas, devido à maior biomassa depositada anualmente na forma de manta orgânica e de raízes mortas (LAL; KIMBLE; STEWART, 1995; KRISHNAMURTHY; ÁVILA, 1999). De acordo com Van Breemer (1993), Vezzani (2001) as propriedades emergentes do ciclo do C no solo (teor de MO, agregação, porosidade, infiltração de água, retenção de água, aeração, CTC, balanço de N, dentre outras) melhoram a qualidade do solo (LOVATO et al., 2004).

O C quando absorvido pelas plantas e incorporado às moléculas orgânicas pode seguir dois caminhos: ser liberado novamente para a atmosfera na forma de CO₂, como resultado da degradação das moléculas orgânicas no processo respiratório, ou ser transferido na forma de moléculas orgânicas aos animais herbívoros na alimentação (uma parte será transferida para os decompositores que liberarão o C novamente para a atmosfera, degradando as moléculas orgânicas presentes na parte que lhes coube).

O potencial de fixação e estocagem de C no solo sofre influência das condições climáticas locais como relevo, da drenagem e do tipo de manejo de solo adotado, entre outras variáveis (LAL, 2005; FALLOON et al., 2007; SMITH, 2008).

3.4 Dinâmica do N no solo

No solo, o N pode ser encontrado nas formas mineral (inorgânica) ou orgânico, sendo que cerca de 98% está na forma orgânica e 2% na forma mineral (MALAVOLTA, 1976). Segundo Sá (1999) o N-total é composto pelas formas orgânica e inorgânica do solo.

Aproximadamente 95% do N presente no solo faz parte da MO, que constitui o grande reservatório desse nutriente. A capacidade do solo em fornecer N às culturas depende da mineralização do N orgânico em função dos fatores climáticos (RAIJ et al., 1997).

As plantas, com exceção das leguminosas e de outras espécies vegetais que fixam o N molecular (N_2) em simbiose com microrganismos, absorvem o N mineral, principalmente nas formas nítrica ($N-NO_3^-$) e amoniacal ($N-NH_4^+$), enquanto no solo predomina a forma orgânica ($RCOOHNH_2$) (WILLIAMS; MILLER, 2001). Porém, é importante destacar que, existem processos que transformam a forma orgânica em inorgânica e vice e versa, tendo perdas ou ganhos no sistema como um todo (RAIJ, 1991).

A mineralização, processo que transforma N-orgânico em N-inorgânico depende principalmente dos teores relativos de C, N, S e P da matéria orgânica e das atividades microbianas, as quais estão associadas às condições ambientais como temperatura, umidade, aeração e pH da solução do solo. O processo inverso, no qual o N mineral, oriundo da decomposição da matéria orgânica, é transformado em compostos orgânicos participando da composição de plantas ou microrganismos, após a sua incorporação, é denominado de imobilização (SCHLESINGER, 1997).

O processo de mineralização predomina no caso da presença de resíduos que possuem relação C/N ao redor de 15/1 a 20/1 (soja, feijão, tremoço, nabo forrageiro e ervilhaca, dentre outros). Já uma relação C/N mais ampla, superior a 30/1, ou seja, quando existe falta de N no sistema, em decorrência da presença de resíduos vegetais ricos em C (aveia, centeio, milho, milheto e trigo, dentre outros), resulta na imobilização temporária de N mineral pela biomassa microbiana. Nesse

caso, para decompor o resíduo vegetal, os microrganismos precisam incorporar N em suas células na forma de proteínas, aminoácidos e outros compostos e, estando em quantidades insuficientes no resíduo, o N passa a ser obtido através de formas minerais (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) existentes no solo (CAIRES, 2000).

A maior parte do N encontrado no solo é oriundo de materiais orgânicos, os quais são rapidamente decompostos em substâncias mais simples por organismos que vivem nos solos, como as bactérias saprófitas e várias espécies de fungos. Estes microrganismos utilizam as proteínas e os aminoácidos como fonte para suas próprias proteínas e liberam o excesso de N na forma de amônio (N-NH_4^+), processo conhecido como amonificação.

O N também pode ser fornecido sob a forma de gás amônia (N-NH_3), mas este processo ocorre geralmente durante a decomposição de grandes quantidades de materiais ricos em N, como o fertilizante mineral. Em geral a N-NH_3 produzida por amonificação é dissolvida na água do solo, onde se combina aos prótons de hidrogênio formando o íon N-NH_4^+ (SILVA, 2012). Entretanto, espécies de bactérias comumente encontradas nos solos são capazes de oxidar a N-NH_3 ou N-NH_4^+ para N-NO_3^- , processo conhecido como nitrificação, produzindo energia a qual é liberada e utilizada por estas bactérias para reduzir o CO_2 , da mesma forma que as plantas autotróficas utilizam a energia luminosa para redução deste CO_2 . Tais organismos são conhecidos como autotróficos quimiossintéticos (SILVA, 2012).

A oxidação do N-NH_4^+ em nitrito (N-NO_2^-) é realizada por bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*, e depois em nitrato (N-NO_3^-) pelas bactérias do gênero *Nitrobacter* (MELLO, 1987). O processo de transformação do N-NO_2^- em N-NO_3^- é conhecido como nitratação e, o N-NO_3^- é a forma sob a qual quase todo o N se move do solo para o interior das raízes. A nitratação ocorre em velocidade relativamente rápida no solo, pois dentro de cinco semanas cerca de 60 a 70% do N aplicado sofre nitrificação (MALAVOLTA, 1981).

O N mineralizado que não for absorvido é submetido novamente aos processos de imobilização ou perda de N. Os processos como volatilização, lixiviação e desnitrificação são os que mais contribuem para a perda de N do sistema, seja do fertilizante ou nativo do solo (GHOLAMHOSENI et al., 2013; GITOTTO et al., 2013; SHIPITALO et al., 2013; YANG et al., 2013).

3.5 Absorção radicular e assimilação de N pelas plantas

O N está disponível no solo em diversas formas, incluindo N-NH_4^+ , N-NO_3^- , aminoácidos, peptídeos e formas complexas insolúveis. As espécies vegetais diferem na sua preferência por fontes de N, mas o absorvem principalmente sob formas inorgânicas como N-NO_3^- e N-NH_4^+ (WILLIAMS; MILLER, 2001). Normalmente o N-NO_3^- é a fonte preferencial, mas alguns fatores devem ser considerados, como a espécie da planta, o pH do solo, a temperatura e o teor de carboidratos nas raízes (MARSCHNER, 1986; MENGEL; KIRKBY, 1987).

Após a absorção, o N é metabolizado nas raízes ou é transportado para a parte aérea através do xilema. A forma como o N é transportado depende da forma absorvida (N-NO_3^- ou N-NH_4^+) e do metabolismo das raízes. Muito do N-NH_4^+ absorvido é, geralmente assimilado nas raízes enquanto o N-NO_3^- é metabolizado nas raízes ou transportado para a parte aérea como tal (MENGEL; KIRKBY, 1987). O N também pode ser transportado através da membrana plasmática de certas células, em outras formas, como peptídeos menores e as bases purinas, pirimidinas e seus derivados (GILLISEN et al., 2000).

Para que o N seja incorporado aos compostos orgânicos ele deve ser reduzido a N-NH_3 , através de enzimas redutoras. Tanto a redução do N-NO_3^- quanto a assimilação do N-NH_4^+ requerem energia na forma de ATP e poder redutor, como o NADH, o NADPH e a ferredoxina reduzida, bem como esqueletos de C derivados do ciclo de Krebs, como o ácido α cetoglutarato (SOUZA; FERNANDES, 2006). A redução do N-NO_3^- é uma reação enzimática que pode ocorrer nas células das raízes e/ou das folhas, sendo sua atividade maior nas folhas, embora isso dependa da espécie e do desenvolvimento da planta (SOUZA; FERNANDES, 2006).

A incorporação do N na forma de N-NH_3 em compostos orgânicos é realizada pela via desidrogenase glutâmica (GDH) nas mitocôndrias das folhas e nas raízes formando o ácido glutâmico e, via glutamina sintetase (GS)/glutamato sintase (GOGAT) resultando em ácido glutâmico nos cloroplastos (HEWITT; CUTTING, 1979). A via GS/GOGAT é preferencial para a introdução do N-NH_3 em aminoácidos de plantas superiores. A GS tem alta afinidade pelo substrato e é capaz de incorporar N-NH_3 em baixas concentrações. Quando a N-NH_3 é incorporada nas raízes, ela sintetiza principalmente amidas (glutamina e asparagina) que são transportadas para os demais órgãos das plantas. A partir do ácido glutâmico são

formados todos os demais aminoácidos, pela ação das aminotransferases ou transaminases (HEWITT; CUTTING, 1979).

A redistribuição do N nas plantas via floema, se dá especialmente na forma de aminoácidos. Após a proteólise, os aminoácidos são movimentados das folhas velhas para as novas, sendo o N-NO_3^- praticamente ausente no floema (MENGEL; KIRKBY, 1987).

3.6 Principais perdas de N nos solos agrícolas

Os compostos nitrogenados das plantas clorofiladas retornam ao solo com a morte das mesmas ou dos animais que delas se alimentaram, podendo ser reprocessados pelos organismos do solo e absorvidos pelas plantas novamente. Porém, durante esse processo pode ocorrer perda do N, que não foi absorvido pelas plantas e nem utilizado pelos microrganismos (LAURENCE, 2005).

De acordo com Calonego et al. (2012), o aumento da produtividade de grãos da cultura do milho depende, entre outros fatores, da eficiência da absorção de N e sua translocação para os grãos em crescimento, onde ocorrerá a formação de compostos de reserva. O aproveitamento do N aplicado via fertilizante normalmente é inferior a 50%, podendo em solos arenosos, atingir entre 5 a 10% (DUQUE et al., 1985), devido às grandes perdas por lixiviação ou desnitrificação (GAMBOA; PEREZ; BLASCO, 1971; OSINAME; VAN GINJ; ULEX, 1983).

As perdas do N podem ocorrer principalmente por lixiviação, desnitrificação e volatilização. Destaca-se também a remoção do elemento pelas plantas e, conseqüentemente sua exportação da área de produção do solo, além da erosão ou até mesmo pela ação do fogo (LAURENCE, 2005).

Segundo Stanford (1973) e Keeney (1982) o manejo ideal da adubação nitrogenada é aquele que permite satisfazer a necessidade da cultura com o mínimo de risco ambiental. Para tanto, é importante que a quantidade de N aplicada nas culturas seja a mais exata possível, minimizando tanto os excessos, que prejudicam a qualidade ambiental e oneram o produtor, quanto aos déficits que comprometem o rendimento projetado.

Em muitas situações, o solo é incapaz de suprir todo o requerimento de N das culturas, o que obriga a utilização de fertilizantes para a obtenção de elevada produtividade (RIBEIRO, 2015). Com a utilização de fertilizantes na adubação

nitrogenada via solo é comum a perda do referido nutriente por lixiviação e volatilização (CABEZAS; KORDORFER; MOTTA, 1997), podendo resultar em perda de produtividade (SILVA et al., 2005). Segundo Schiavinatti et al. (2011) a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha^{-1} de N.

Dentre as fontes nitrogenadas, a uréia apresenta elevada concentração de N, alta solubilidade, baixa corrosividade e menor relação custo/unidade de nutriente, porém é a fonte que apresenta maior potencial de perda de N por volatilização. Ao mesmo tempo, o sulfato de amônio propicia perdas desprezíveis de N-NH_3 quando o pH do solo é inferior a 7,0. No entanto, este fertilizante pode, teoricamente, ter sua eficiência reduzida pela lixiviação de N-NO_3^- (CANTARELLA, 2007).

O uso cada vez maior de fertilizantes nitrogenados nas culturas pode ocasionar perdas do N aplicado, contribuindo para poluição ambiental e baixa eficiência do sistema. As perdas de N para o ambiente, com o conseqüente menor aproveitamento do N pelas culturas, estão associadas à concentração das formas solúveis de N no solo (CANTARELLA, 2007). Um modo de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, principalmente em solos arenosos, é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada e melhorar o manejo de solo.

3.6.1 Lixiviação de N no solo

A lixiviação ocorre devido à alta mobilidade dos ânions N-NO_2^- e N-NO_3^- e à prevalência de cargas negativas no complexo coloidal. Assim, o N-NO_3^- pode ser facilmente percolado pelo solo, através da infiltração da água.

A lixiviação ocorre principalmente na forma de N-NO_3^- , pois o íon apresenta carga negativa e não é adsorvido pelos colóides, da maioria dos solos brasileiros, onde predominam cargas negativas (PRIMAVESI et al., 2006). Além disso, essa predominância de cargas negativas no sistema e a baixa interação química do N-NO_3^- com os minerais da fração argila fazem com que esse ânion esteja mais sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas, podendo atingir águas subsuperficiais ou o lençol freático (RATKE et al., 2011). A maior parte do N perdido por lixiviação é oriunda da mineralização da MOS, embora a fertilização

química favoreça indiretamente este processo (ADDISCOTT; WHITMORE; POWLSON, 1991).

A quantidade de N do fertilizante que lixivia varia com o sistema de produção, manejo de culturas e com as características químicas, físicas e biológicas do solo. De acordo com Jayasundara et al. (2007) a lixiviação de N aumentou em 11,5% na lavoura de milho convencional, sendo que em SPD os autores observaram que a recuperação do N proveniente do fertilizante foi 30% superior, devido à redução da lixiviação do N-NO_3^- .

3.6.2 Desnitrificação

A desnitrificação é o fenômeno de transformação do N-NO_2^- e N-NO_3^- às formas mais reduzidas como NO, N_2O e N_2 (ROS, 1995) pela ação das bactérias desnitrificantes. No solo, além das bactérias de nitrificação existem outros tipos como as *Pseudomonas denitrificans*, *Spirillum denitrificans*, *Thiobacillus denitrificans* que são responsáveis pela desnitrificação na ausência de oxigênio atmosférico.

Fatores como temperatura, pH e teor de N-NO_3^- no solo são de grande importância para que ocorra a desnitrificação. Para Van Haandel e Marais (1999) a desnitrificação pode se desenvolver na faixa de temperatura de 7 a 40°C e, abaixo de 3°C nenhuma desnitrificação é observada. Entretanto, na maioria dos estudos a temperatura em que ocorre com maior ênfase o processo desnitrificação está na faixa entre 20 a 30°C. Diversos autores afirmam que a faixa ótima de pH para desnitrificação está entre 6 a 8.

Embora a desnitrificação completa origine uma perda de N do sistema sola-planta, ela é de fundamental importância no ciclo global do N, uma vez que é o principal processo de retorno do N inorgânico do solo à atmosfera (LIU et al., 2007).

3.6.3 Volatilização

O processo de perda de N do solo por volatilização consiste na perda da NH_3 através da sua passagem à atmosfera, conforme a seguinte reação: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ (aquoso) \rightarrow $\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$ (gás) (DIEST, 1988).

A enzima urease é a responsável por transformar o N-NH_4^+ em N-NH_3 , através do consumo de íons de hidrogênio. A ocorrência desta enzima é comum na natureza e ela está presente em microrganismos, plantas e animais (MENEZES, 2015). A urease presente no solo é proveniente da síntese realizada por microrganismos e também de resíduos vegetais (BREMNER; MULVANEY, 1978; FRANKENBERGER; TABATABAI, 1982). Portanto, solos contendo restos de culturas, como em cultivo de SPD ou em áreas manejadas com resíduos de plantas em sua superfície, tendem a apresentar maior atividade da enzima urease (MENEZES, 2015).

A adoção de sistemas de manejo do solo como o plantio direto, promove o aumento do teor da MOS (BAYER et al., 2012) e da biomassa microbiana do solo (BMS) (VARGAS; SELBACH; SÁ, 2005), principalmente na camada superficial do mesmo. Com a matéria orgânica na superfície pode-se aumentar a adsorção de N-NH_4^+ e a capacidade-tampão do solo, limitando o processo de volatilização neste sistema.

As condições climáticas podem interferir no comportamento do N no solo, onde a temperatura elevada pode aumentar o processo de volatilização pela ativação da enzima urease. A umidade pode interferir também, pois em um solo praticamente seco a atividade desta enzima é baixa (praticamente nula) sem nenhuma perda. Entretanto, dependendo da umidade tem-se maior atividade da enzima e, a partir daí, tem-se o aumento das taxas de perda de N para a atmosfera (CANTARELLA, 2007).

3.6.4 Imobilização

Segundo Hasada et al. (1992), a imobilização de N pela biomassa durante a decomposição da MOS ocorre de forma direta, pela imobilização de substratos nitrogenados orgânicos de baixo peso molecular (ex.: aminoácidos), e de forma indireta, pela imobilização de N mineral após a mineralização de N orgânico.

Fatores como temperatura, umidade, presença de O_2 , biomassa de solo e os conteúdos de C e N do material orgânico adicionado ao sistema interferem na imobilização do N (LOPES et al., 2004), destacando que valores de relação C/N maiores que 20:1 ou 25:1 favorecem a imobilização (SIMS, 1990; BURGESS; MEHUYS; MADRAMOOTOO, 2002; LOPES et al., 2004).

A imobilização de N tem grande influência para a menor disponibilidade de N em plantio direto (KITUR et al., 1984). A maior imobilização microbiana ocorre nas camadas superficiais do solo neste sistema (VARGAS; SCHOLLES, 1998), podendo ser suficientemente elevada para, isoladamente, afetar a absorção de N pelas plantas.

Mas, se por um lado a biomassa microbiana imobiliza o N, diminuindo a sua disponibilidade para as culturas, por outro, pode se constituir em uma fonte de N potencialmente mineralizável (VARGAS; SELBACH; SÁ, 2005).

Os nutrientes imobilizados pela comunidade microbiana podem atingir valores elevados, mas a sua reciclagem e liberação são mais rápidas do que as de outras frações da matéria orgânica do solo (VARGAS; SELBACH; SÁ, 2005). À medida que ocorre a morte dos microrganismos, estes são rapidamente mineralizados pelos microrganismos remanescentes, liberando os nutrientes imobilizados no processo conhecido como remineralização (MARY et al., 1996). Tal processo pode suprir uma quantidade significativa de N para as plantas (BONDE; SCHNÜRER; ROSSWALL, 1988).

3.7 Influência dos sistemas de plantio direto (SPD) e plantio convencional (SPC) na dinâmica de N no solo

O sistema de plantio direto (SPD) é uma tecnologia conservacionista que vem sendo desenvolvida desde a década de 1990 no Brasil, e hoje já se encontra bastante difundida entre os agricultores, dispendo-se, atualmente, de sistemas adaptados a diferentes regiões e aos diferentes níveis tecnológicos (CRUZ et al., 2012).

Por ser um sistema conservacionista o plantio é efetuado sem as etapas do preparo convencional da aração e da gradagem, visando assim manter o solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais (CRUZ et al., 2012).

Nas últimas décadas também tem crescido o interesse pela utilização de culturas de cobertura associado aos preparos conservacionistas, visando ao controle da erosão, incremento da infiltração, controle de plantas daninhas, fornecimento de N para a cultura em sucessão e aumento da produtividade do solo.

Com a manutenção dos resíduos culturais, o SPD oferece proteção ao solo e proporciona aumento do seu teor de matéria orgânica (SÁ, 2001) com demais alterações positivas nas condições químicas (FALLEIRO et al., 2003), físicas (TORMENA et al., 2004) e biológicas do mesmo.

No SPD, a matéria orgânica proveniente dos adubos orgânicos e/ou resíduos vegetais pode suprir importantes quantidades de N para as culturas (ROSOLEM, 1996).

Um dos fatores imprescindíveis para a instalação e manutenção do SPD é a implantação da cultura principal sobre os resíduos culturais de uma cultura de cobertura que tenha sido introduzida em cultivo seqüencial ou rotacionado (ENSINAS, 2015).

O acúmulo e a manutenção de cobertura durante longo período é um desafio para os solos arenosos, sendo que a escolha da espécie de cobertura vem assumindo um papel de extrema importância (ENSINAS, 2015). Dentre as espécies vegetais utilizadas, as culturas como gramíneas do gênero *Urochloa*, milho (*Pennisetum glaucum* L.) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*) têm sido consideradas de boa adaptação ao Cerrado, sendo excelentes opções para utilização em sistemas conservacionistas como o SPD (TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008; FABIAN, 2009; GARCIA et al., 2012).

Na Região Sul do Brasil, a adoção crescente desse sistema fez com que a utilização de plantas de cobertura durante o período de outono/inverno passasse a ser priorizada. A aveia preta é a planta de cobertura mais usada na Região, em função de sua elevada produção de fitomassa, rusticidade, facilidade para a obtenção de sementes, aliadas à sua decomposição lenta e ao seu rápido crescimento inicial (CERETTA et al., 2002).

O plantio convencional tem por objetivo básico fornecer condições ótimas para a germinação, a emergência e o estabelecimento das plântulas. Esse sistema é basicamente realizado em duas etapas, que são o preparo primário e o secundário (ALVARENGA; CRUZ; ALBUQUERQUE FILHO, 2012). O preparo primário consiste na operação mais grosseira, realizada com arados ou grades pesadas, que visa afrouxar o solo, sendo utilizada também para incorporação de corretivos, de fertilizantes, de resíduos vegetais e de plantas daninhas ou para a descompactação superficial (ALVARENGA; CRUZ; ALBUQUERQUE FILHO, 2012). A segunda etapa, chamada também de preparo secundário, consiste na operação

de destorroamento e de nivelamento da camada arada de solo por meio de gradagens do terreno (ALVARENGA; CRUZ; ALBUQUERQUE FILHO, 2012).

As plantas de cobertura também podem promover modificações nos atributos químicos do solo (ENSINAS, 2015). Tais benefícios são atribuídos à produção e acúmulo de massa seca no solo e posterior liberação de nutrientes, pela decomposição dos resíduos culturais (TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008). Quando a cobertura é utilizada na superfície do solo, sem incorporação, como no sistema plantio direto, os nutrientes menos móveis, como o fósforo e o carbono orgânico, tendem a se concentrar nos 10 cm superficiais do solo (CUNHA et al., 2011).

Então, as práticas conservacionistas de integração que evitam o preparo excessivo do solo, por meio de aração e gradagem, conservam a matéria orgânica que não sofrerá desagregação acelerada de partículas (SOUZA; ALVES, 2003; BAYER et al., 2004). O não revolvimento do solo, aliado à adição de N e C orgânico por meio do cultivo de adubos verdes, e a manutenção dos resíduos em superfície favorecem a decomposição lenta e gradual desses resíduos, liberando compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados no solo, melhorando sua estrutura (BERTOL et al., 2004).

3.8 Adubação nitrogenada em sistema de produção agrícola

No que se refere à adubação, o N é considerado o nutriente que mais limita a produção, de massa seca de gramíneas forrageiras como a produtividade de grãos (MEDEIROS; NABINGER, 2001). O N, além de atuar sobre a sustentabilidade da comunidade de plantas, torna-se o principal modulador da produtividade agrícola em um sistema de produção (WERNER, 1986).

Considerando a grande importância que tem o N para o rendimento das culturas no sistema orgânico de produção, o ideal, no sistema plantio direto, seria o emprego de plantas que tivessem dupla função, gerar palhada para cobertura do solo e fixar N atmosférico (FAVARATO, 2015). A escolha por consórcio entre espécies de famílias diferentes, como leguminosas e gramíneas, deve-se às vantagens atribuídas à mistura entre leguminosas e gramíneas, enfatizado por Aita, Fries e Giacomini (2000).

Andrade et al. (2012) observaram que a semeadura direta sobre palhas, após 12 anos, aumentou os teores de carbono orgânico total e nutrientes em

comparação ao plantio convencional, especialmente na camada superficial do solo. Verificaram ainda que o cultivo de milho e ervilhaca em sucessão aumentou os teores de carbono orgânico total e o nitrogênio total na camada superficial do solo, devido à inserção desta leguminosa no sistema, em comparação com a rotação sem sucessão com plantas de cobertura.

O adubo nitrogenado representa 54% do custo da adubação do milho e cerca de 29 % do custo total da produção. Isso mostra a grande importância desse nutriente que torna o custo da cultura elevado (EPAGRI, 2013).

Entre os muitos benefícios do cultivo do tremoço para a adubação verde, devem ser destacados a fixação de até 150 kg ha⁻¹ de N durante a estação fria, que estará à disposição da cultura sucessora; produção abundante de matéria vegetal sob baixas temperaturas, com uma relação C/N favorável à rápida mineralização; mobilização de nutrientes pouco solúveis ou de camadas profundas, especialmente em solo ácidos e erodidos; incremento na atividade biológica do solo; aumento da macroporosidade dos agregados do solo; aumento da infiltração dos excessos de chuva; melhora a capacidade de armazenamento de água (VIEIRA; VIEIRA; VIEIRA, 2001; LEITÃO FILHO, 2009).

A adubação nitrogenada é um fator importante para a produtividade, embora existissem outras formas de fornecer esse nutriente ao sistema.

3.9 Importância da sucessão de culturas para o melhor aproveitamento do N no solo

Uma das premissas básicas do SPD é a adoção da rotação de culturas, preferencialmente mesclando-se culturas comerciais, como soja, milho, arroz, feijão e sorgo, com adubos verdes como crotalária, mucuna, feijão guandu e milheto, proporcionando recobrimento eficiente do solo, além de elevada reciclagem de nutrientes e possibilidade de aumentos na produtividade das culturas em sucessão (SILVA et al., 2004). Nas duas últimas décadas foram realizados diversos trabalhos com plantas de cobertura de solo no outono/inverno, tanto no Brasil como em outros países, procurando-se caracterizar a decomposição e a liberação de N de seus resíduos culturais (WAGGER; DENTON, 1989).

A rotação de culturas apresenta como principais vantagens a contribuição para a melhoria e manutenção da fertilidade do solo. Esta contribuição

significa a menor incidência de pragas, doenças e plantas daninhas na lavoura, a maior diversificação de culturas na propriedade, o que reduz os riscos de insucesso na atividade agrícola e a contribuição para a manutenção e melhoria da produtividade das culturas (FIDELIS et al., 2003).

A ciclagem de nutrientes é outro benefício importante, pois diferentes culturas requerem adubações diferenciadas, sendo também diferentes os resíduos que permanecerá após os cultivos (FRANCHINI et al., 2011).

O sucesso da produtividade da soja está relacionado com a inclusão de tecnologias de sistemas de produção, onde pode ser destacado o SPD, conceituado como uma técnica de cultivo conservacionista que se fundamenta no revolvimento mínimo do solo, em sua cobertura permanente e na rotação de culturas (DUARTE; JUNIOR; COELHO, 2010).

O poder melhorador do solo pelas leguminosas já era conhecido desde os tempos mais remotos, quando se cultivava tremoço ou lentilha antes do trigo, porém somente no século XVIII desvendou-se o segredo da associação entre as leguminosas e bactérias do solo formadoras de nódulos de raízes (AMBROSANO, 1999). As leguminosas são caracterizadas pela sua capacidade de fixar o N_2 atmosférico e pela estreita relação C/N, o que confere uma rápida mineralização do N presente em seus resíduos culturais (HEINZMANN, 1985; STUTE; POSNER, 1995). Porém, as gramíneas embora demonstrem grande habilidade em absorver $N-NO_3^-$ durante o inverno (RANELLS; WAGGER, 1997), apresentam uma palhada com elevada relação C/N, o que implica na imobilização microbiana de N, conseqüentemente diminuindo a quantidade de N disponível no solo (RANELLS; WAGGER, 1997; AMADO, 1997; VAUGHAN; HOYT; WOLLUM, 2000).

Contudo, consorciando leguminosas e gramíneas é possível obter uma fitomassa com relação C/N intermediária àquela das espécies em culturas solteiras, conforme demonstraram Ranells e Wagger, (1996) para o consórcio entre centeio e ervilhaca peluda, e Heinrichs et al. (2001) para o consórcio entre aveia preta e ervilhaca comum. Para a cultura do feijão, em condições de casa de vegetação, com a incorporação de mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) ao solo proporcionou-se nodulação mais eficiente e mais acúmulo de nitrogênio e de massa seca (ABBOUD; DUQUE, 1986).

Estudos mostram que as *Urochloas* apresentam grande potencial de fornecimento de C ao solo, por apresentarem grande adição de resíduos vegetais e

sistema radicular extenso que é constantemente renovado (HARRIS; CHESTERS; ALLEN, 1966; SILVA; MIELNICZUK, 1997). Souza et al. (2009) observaram aumento no estoque de carbono orgânico total em sistemas de integração com gramíneas e soja em plantio direto. Rossi et al. (2011), estudando frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com resíduos de *Urochloa* e sorgo, observaram que a introdução de *Urochloa* no cultivo da soja em sistema plantio direto proporcionou acúmulo de carbono orgânico no solo quando comparadas com a área de referência.

Já o uso de leguminosas em rotações de culturas tem como vantagens além da incorporação de N, baixa utilização de insumos e a comercialização dos grãos gerando renda extra para o produtor e garantindo a sustentabilidade do sistema (AMBROSANO, 1999). Mitchell et al. (1991) concluíram que a rotação de culturas e a recuperação do teor de N do solo pela utilização de leguminosas foram as estratégias mais eficientes para atingir uma produção sustentável.

Com o consórcio de plantas que possuem diferentes sistemas radiculares, tem-se um ambiente favorável à formação e manutenção dos agregados do solo, com destaque para a classe dos macroagregados (LOSS et al., 2011; COSTA JUNIOR et al., 2012; CASALI, 2012).

3.10 Qualidade biológica do solo

A qualidade do solo é definida como a capacidade em funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais (DORAN; PARKIN, 1994). Entretanto, historicamente um solo de boa qualidade é definido pela sua produtividade final.

Na visão de um agricultor, por exemplo, qualidade do solo é ter alta produtividade, máximo lucro e manter o recurso solo para as gerações futuras. Na visão de um consumidor, é ter alimentos saudáveis em quantidade suficiente, baratos e assegurados para as gerações futuras. Para um ambientalista, é o funcionamento do ecossistema com respeito à manutenção da biodiversidade, qualidade da água, ciclagem de nutrientes e produção de biomassa (MARCHI, 2008).

A qualidade do solo é definida por atributos de conservação do solo, seja ela física, química ou biológica. Os microrganismos se enquadram nesses critérios, podendo ser utilizados como sensíveis bioindicadores da qualidade do solo. Segundo Doran e Parkin (1994), bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento da qualidade do solo.

A atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 a 30 cm. Nestas camadas, o componente biológico ocupa uma fração de menos que 0,5% do volume total do solo e representa menos que 10% da MOS. Este componente biológico consiste principalmente de microrganismos que realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os microrganismos decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas (KENNEDY; DORAN, 2002). Além disso, formam associações simbióticas com as raízes das plantas, atuam no controle biológico de patógenos, influenciam na solubilização de minerais e contribuem para a estruturação e agregação do solo. Segundo Powlson, Brookes e Christensen (1997) a função dos microrganismos é mediar processos no solo relacionados com o manejo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como o componente vivo da MOS excluindo a macrofauna e as raízes das plantas. A proporção presente de células microbianas vivas contendo C (C-microbiano quantificado em mg kg^{-1} de solo) geralmente compreende de 1% a 5% do COT (carbono orgânico total), enquanto que para o N (N-microbiano, em mg kg^{-1} de solo) compreende de 1% a 6% do N-total (JENKINSON; LAAD, 1981).

A BMS é um dos componentes que controlam funções chaves no solo como a decomposição, o acúmulo de resíduos orgânicos e as transformações envolvendo a mineralização da matéria orgânica. Representa ainda, uma reserva considerável de nutrientes (N, P e S), os quais são continuamente assimilados durante os ciclos de crescimento dos diferentes organismos que compõem o ecossistema. A BMS é considerada também importante fonte e dreno de nutrientes no solo, ora promovendo a mineralização de compostos orgânicos em substâncias minerais solúveis ou gasosas (NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} e CO_2) e a conseqüente liberação de nutrientes, ora imobilizando-os em sua estrutura para sua manutenção

e crescimento (CERRI; ANDREAUX; EDUARDO, 1992). Conseqüentemente, os solos que mantêm um alto conteúdo de BMS são capazes não somente de estocar, mas também de ciclar mais ativamente nutrientes no sistema (GREGORICH et al., 1994).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área

O experimento foi instalado e conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias, na Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente/SP, em solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006).

Figura 1. Rotação 2 e 3: Mi+Ur e Ur



Fonte: do autor.

Figura 2. Plantio da cultura da soja



Fonte: do autor.

A área experimental está localizada à 430 m de altitude, nas coordenadas geográficas 22°07' S e longitude 51°27' W. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com temperatura média anual de 25°C e regime pluviométrico caracterizado por dois períodos distintos, um chuvoso de outubro a março e baixo índice de chuvas entre os meses de abril e setembro.

Figura 3. Dados climáticos da região. Presidente Prudente, 2014.

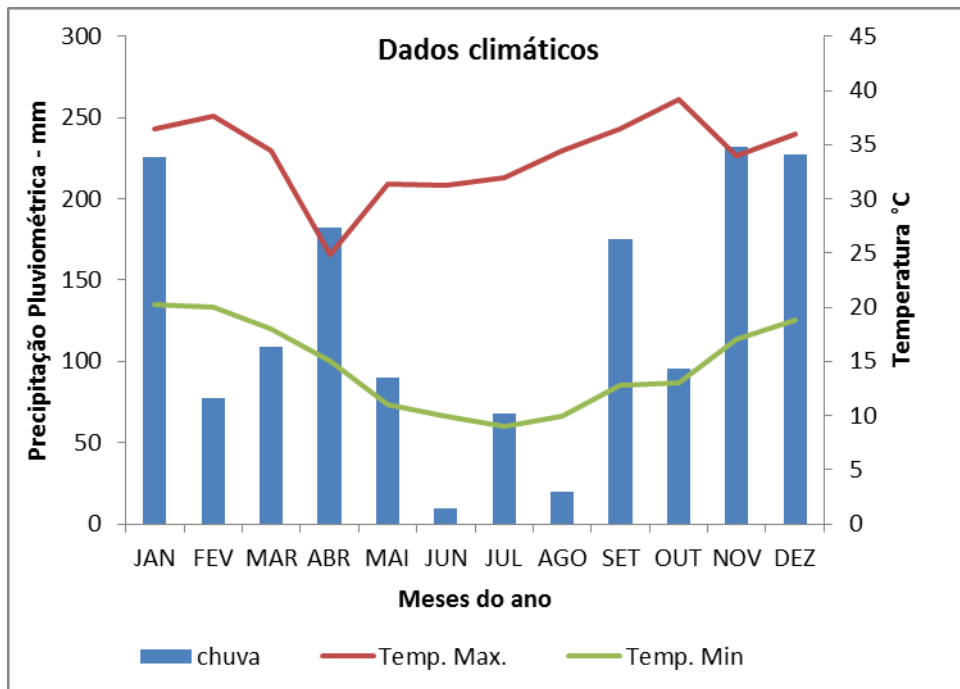
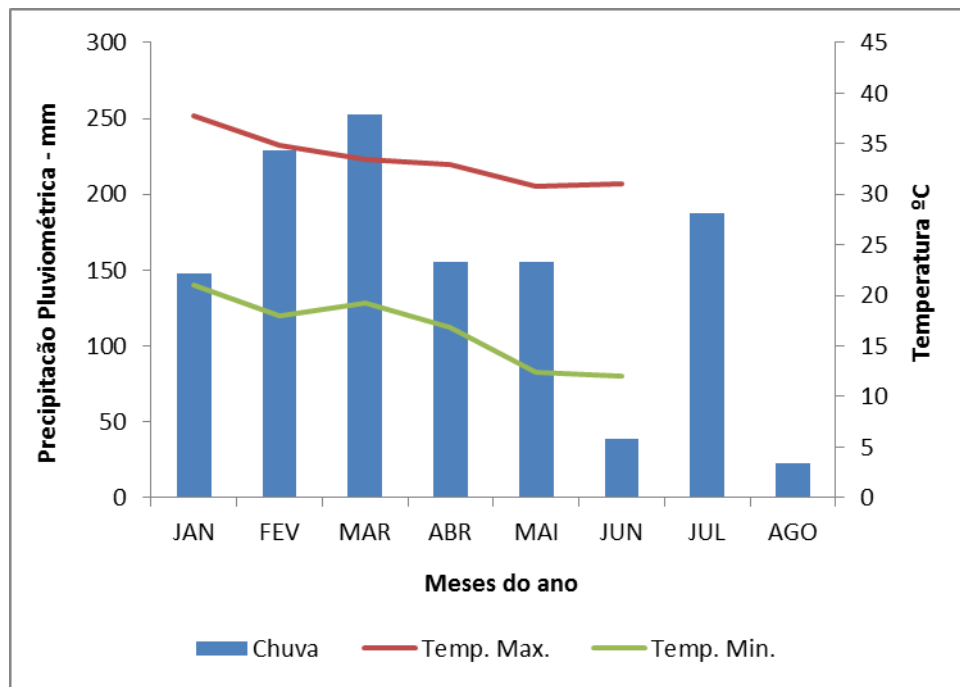


Figura 4. Dados climáticos da região. Presidente Prudente, 2015.



4.2 Instalação do experimento

O solo da área experimental foi manejado em sistema de semeadura direta (SSD) desde 2010, com a presença marcante do esquema de rotação de culturas envolvendo as espécies milho (Mi)/tremoço (Tr)/milho (Mi)/feijão lab-lab (Fl). Anterior ao início do experimento, em setembro de 2014, amostras de solo foram coletadas nas camadas representativas das profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, seguindo a metodologia de Raij et al. (2001), para caracterização da granulometria pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) e dos parâmetros químicos do solo, segundo de Raij et al. (2001).

Tabela 1. Análise química do solo antecedente à instalação do experimento, 2014.

Prof. (cm)	pH (CaCl ₂)	M.O. (gdm ⁻³)	P _(resina) ---(mg dm ⁻³)---	S-SO ₄ ²⁻	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V (%)
							----- (mmol _c dm ⁻³) -----				
0-10	4,9	10	46	3	21	3,1	11	6	20	41	48
10-20	4,8	9	43	3	21	2,7	9	5	17	38	44
20-40	4,9	7	17	4	19	2,4	15	6	23	42	54
40-60	4,9	6	5	5	20	2,1	18	7	27	47	58

Tabela 2. Análise granulométrica do solo antecedente à instalação do experimento, 2014.

Profundidades Cm	Areia total	Silte	Argila	Classe textural
	-----g kg ⁻¹ -----			
0-10	890	49	61	Arenosa
10-20	840	48	112	Arenosa
20-40	833	67	100	Arenosa
40-60	696	121	183	Média Arenosa

4.3 Descrição dos manejos e delineamento estatístico

O experimento foi instalado seguindo o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas pelas três rotações de culturas, definidas no Quadro1, e as subparcelas por quatro doses de N aplicadas anualmente (Quadro2). As culturas principais rotacionadas utilizadas foram: milho híbrido AG 5055, soja cultivar BMX Potência RR e a forrageira *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria*) cv. MG-5.

Quadro1. Descrição do esquema de rotação de culturas e calendário de manejo nas parcelas experimentais no período de 2014/2015.

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1º Manejo de rotação												
2014			Mi	Mi	Mi	Mi	Tr	Tr	Tr	Po	So	So
2015	So	So	Mi	Mi	Mi	Mi	Tr	Tr	Tr	Po	So	So
2º Manejo de rotação												
2014			Mi+Ur	Mi+Ur	Mi+Ur	Mi+Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	So	So
2015	So	So	Mi+Ur	Mi+Ur	Mi+Ur	Mi+Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	So	So
3º Manejo de rotação												
2014			Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	So	So
2015	So	So	Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	Ur	So	So

Legenda: Mi=Milho; Tr=Tremoço; Po=Pousio; So=Soja; Mi+Ur=Milho+*Urochloa*; Ur=*Urochloa*

A adubação nitrogenada, fator integrante das parcelas subdivididas foi aplicada durante o cultivo das espécies nos anos agrícolas de 2014 e 2015, sendo utilizado o fertilizante comercial Sulfato de Amônio (210 g kg⁻¹ de N), aplicado de acordo com as doses e com os parcelamentos apresentados no Quadro2.

Quadro2. Cronograma de parcelamento das doses de N, aplicadas no sistema de manejo, durante o cultivo das espécies vegetais nos anos de 2014 e 2015.

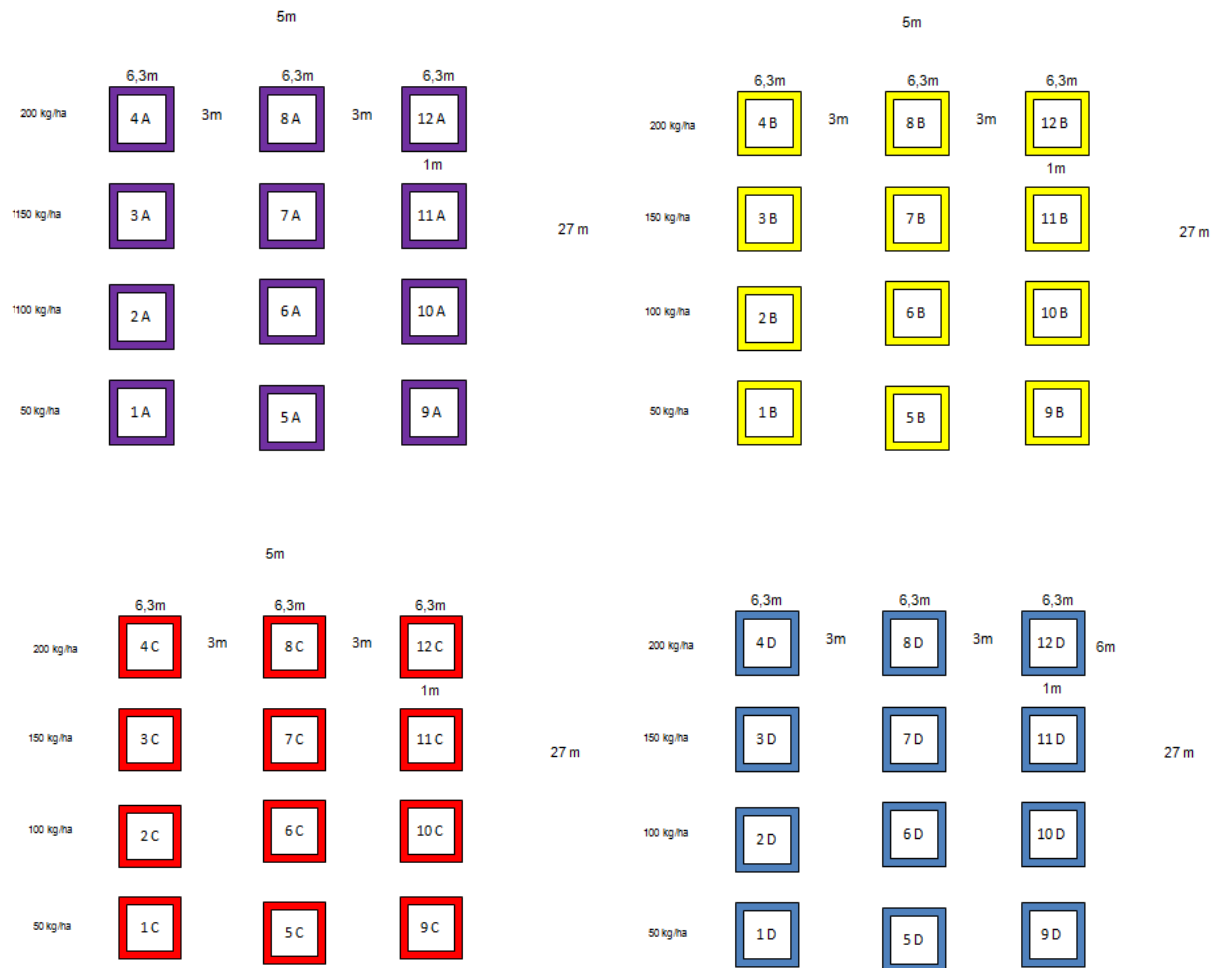
Culturas	Doses de N (kg ha ⁻¹)			
	50	100	150	200
1º Manejo de rotação				
Semeadura Milho	25	25	25	25
Milho (estádio V4)	0	25	50	75
Milho (estádio V8)	0	25	50	75
Semeadura Tremoço	25	25	25	25
2º Manejo de rotação				
Semeadura Milho	25	25	25	25
Milho (estádio V4)	0	25	50	75
Milho (estádio V8)	0	25	50	75
30 DAD - <i>Urochloa</i>	25	25	25	25
3º Manejo de rotação				
Semeadura <i>Urochloa</i>	25	25	25	25
30 DAS - <i>Urochloa</i>	0	25	50	75
60 DAS - <i>Urochloa</i>	0	25	50	75
30 DAD - <i>Urochloa</i>	25	25	25	25

Legenda: DAS=dias após semeadura; DAD=Dias antes da dessecação.

As parcelas experimentais foram definidas nas dimensões de 27m (C)x 6,3 m (L) e as subparcelas demarcadas com 6,0 m (C) x 6,3 m (L). As subparcelas

apresentaram distância de 1,0 m entre si dentro de cada parcela, as quais também estão espaçadas de 3,0 m dentro de cada bloco. Os blocos estavam distanciados 5,0 m uns dos outros. A Figura 1 apresenta o croqui da área experimental.

Figura 5. Croqui da distribuição dos tratamentos na área experimental



4.4 Procedimentos agrônômicos adotados na instalação do experimento

A semeadura da soja cultivar BMX Potência RR foi em realizada no dia 06 de novembro de 2014, com espaçamento entre linhas de 0,45 m e densidade de 17 sementes por metro linear. As sementes foram tratadas com 300 ml do fungicida Vitavax[®]-Thiram200 SC e 400 ml do inseticida Cropstar[®], totalizando 700 ml de solução/100 kg de sementes, com a adição de grafite. As sementes foram inoculadas com o produto Nodofix líquido, na dose de 100 ml/50 kg de sementes e a adubação de base foi realizada com 200 kg ha⁻¹ do fertilizante comercial 04-30-10.

O milho híbrido AG 5055 foi semeado no dia 23 de Março de 2015, com espaçamento entre linhas de 0,90 m (1º manejo de rotação) e densidade de 5,5 sementes por metro linear. No 2º manejo de rotação o espaçamento do milho foi mantido o mesmo, porém, em cada parcela foram semeadas três linhas de *Urochloa brizantha* entre as quatro linhas de milho. As sementes foram tratadas com 300 ml/100 kg de sementes do fungicida Vitavax[®]-Thiram e 300 ml/30 kg de sementes do inseticida Furadan. A adubação de plantio foi realizada com 250 kg ha⁻¹ do fertilizante 08-28-16.

A forrageira *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria*) cv. MG-5 foi semeada utilizando-se 6 kg ha⁻¹ de sementes e a adubação de plantio realizada com 250 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16.

O tremoço branco foi semeado no dia 29 de Julho de 2015, com espaçamento entre linhas de 0,45 m (1º manejo de rotação) e densidade de 14 sementes por metro linear. As sementes foram tratadas com 150 ml/40 kg de sementes do inseticida Standark. Não foi realizada adubação de plantio.

Os tratos culturais como controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados a partir de monitoramento periódico dos cultivos.

4.5 Parâmetros de monitoramento

Os eventos abaixo são descritos na seqüência em que foram realizados.

4.5.1 Análise de solo para fins de fertilidade

Foram realizadas duas épocas de coleta de solo, a primeira foi coletada antes do plantio da soja, em Setembro de 2014. A segunda coleta foi realizada após a colheita do milho em Julho 2015. As amostras foram coletadas com trado tipo Holandês, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm e utilizadas para as avaliações. Foram coletadas 3 subamostras por profundidade, obtendo no final 240 amostras no total por época.

Figura 6. Coleta de solo com o trado



Fonte: do autor.

4.5.1.1. Determinação do N-total e N-inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) no solo

As amostras foram utilizadas para a determinação do N-total e do N-inorgânico nas frações de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-), de acordo com Cantarella e Trivelin, (2001). Para a análise de N-inorgânico, pelo método de destilação a vapor, as amostras de solo foram armazenadas em recipiente

hermeticamente fechado contendo N líquido para a preservação das condições naturais.

Figura 7. Destilador de Kjeldhal



Fonte: do autor.

Cálculo para quantificação do N-total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, em mg kg⁻¹:

$$N = [(V_{H_2SO_4 \text{ amostra}} - V_{H_2SO_4 \text{ branco}}) \times F_{\text{ácido}} \times V_{\text{total}} \times 1000] / [V_d \times M]$$

Onde,

F_{ácido}: fator do ácido sulfúrico (0,0967);

V_{total}: volume, em ml, do extrato de digestão;

1000: fator de conversão g em kg;

V_d: volume de extrato destilado;

M: massa seca do solo, em gramas;

4.5.1.2 Determinação da volatilização da amônia (N-NH₃) do solo

Para a quantificação da volatilização de NH₃ foram instaladas duas bases coletoras de PVC, com 15 cm de diâmetro e 14 cm de altura, em cada

parcela, inseridas no solo a 4,0 cm de profundidade. Esta instalação foi realizada 90 dias após a semeadura da soja e 50 dias após a semeadura do milho.

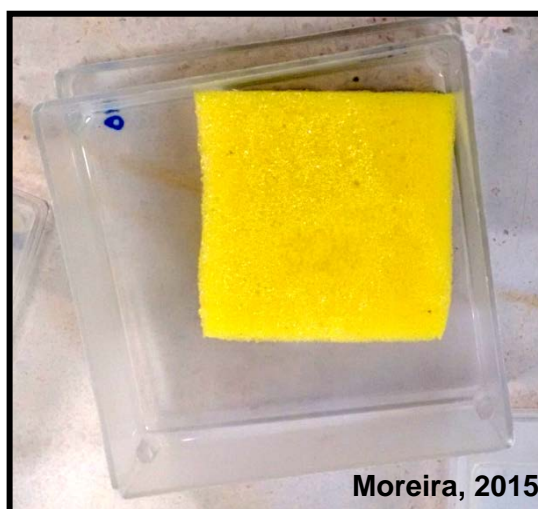
Cada base foi protegida, na sua parte superior, com prato um de polietileno com 20 cm de diâmetro, sendo mantida uma abertura de 2,0 cm entre este prato e a base coletora, para o estabelecimento de um déficit de pressão de vapor e, assim ocorreria volatilização da NH_3 . No interior da base de PVC foi colocado um suporte de ferro construído com um nível de altura do solo de 5,0 cm, fixado a uma placa de petri de vidro que abrigou em seu interior uma esponja com 2,0 cm de espessura x 7,0 cm de largura.

Figura 8. Detalhe do procedimento de instalação do coletor de N-NH_3



Fonte: do autor.

Figura 9. Detalhe de uma esponja coletora contendo a solução extratora (ácido fosfórico).



Fonte: do autor.

As esponjas, umedecidas com 30 ml de ácido fosfórico ($0,167 \text{ mol L}^{-1}$), para a captação da NH_3 volatilizada do solo, foram substituídas aos 1, 4, 8, 12, 19, 27, 34 e 43 dias após a instalação no campo. Nas coletas, as esponjas foram recolhidas, armazenadas em gerbox plástico com tampa e imediatamente encaminhadas ao laboratório de análise química de solos/UNOESTE para extração da solução de $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ formada a partir da reação química entre a NH_3 e o H_3PO_4 . A lavagem das mesmas foi realizada com 500 mL água deionizada, em cinco lavagens sucessivas de 100 mL cada. Por fim, uma alíquota de 20 ml da solução foi destilada em destilador Kjeldal, pelo método descrito por Cantarella e Trivelin, (2001).

Cálculo para quantificação da N-NH_3 em mg L^{-1} :

$$\text{NH}_3 (\text{mg L}^{-1}) = [(V_{\text{amostra}} - V_{\text{branco}}) \times F_{\text{ácido}} \times 14 \times 1000]/V_d, \text{ onde:}$$

$F_{\text{ácido}}$: fator do ácido sulfúrico (0,0967);

14: massa do N;

1000: fator de conversão mL em L;

V_d : volume de extrato destilado;

Cálculo para quantificação da N-NH_3 em kg ha^{-1} :

$$\text{NH}_3 (\text{kg ha}^{-1}) = [(\text{N-NH}_3 \times 10)/0,0177]/1000, \text{ onde:}$$

$N-NH_3$: teor de N volatilizado do solo, em mg;

10: fator de conversão para hectare (ha);

0,0177: área do cilindro de PVC em m^2 ;

1000: fator de conversão mg em kg;

4.5.1.3 Quantificação do carbono total (C-total) do solo

As amostras de solo coletadas também foram utilizadas para a determinação do C-total do solo. O teor matéria orgânica (MO) obtido pelo método de Walkley-Black (1934), descrito em Raij et al. (2001), foi convertido em C-total através da aplicação do fator de van Bemmelen (1,724), com base no pressuposto de que a matéria orgânica do solo contém 58% de C orgânico.

Figura 10. Femto: aparelho utilizado para leitura do COT



Fonte: do autor.

Cálculo para quantificar o teor de COT do solo, em $g\ dm^{-3}$:

COT = (MO / 1,724), onde:

MO: matéria orgânica do solo;

1,724: fator de van Bemmelen;

4.5.2 Análise da biomassa microbiana

4.5.2.1 Quantificação do C (C-mic) e N (N-mic) da biomassa microbiana do solo

As amostras coletadas de cada parcela experimental foram utilizadas para a determinação do C-mic e N-mic do solo, através das metodologias adaptadas por Islam e Weil, (1998) e Brookes, Powlson e Jemkison (1982) pelo método de Irradiação - Extração.

Figura 11. Microondas utilizado para irradiar as amostras



Fonte: do autor.

O cálculo para a determinação do C-mic irradiado (I) e não irradiado (NI) são:

C-extrato I e NI = (B-A) x F x 3 x 1000 x V_{extrator}/V_{extrato} x M, onde:

B: volume branco;

A: volume amostra;

F: normalidade do Sulfato ferroso amoniacal (0,0352);

V_{extrator}: 50 mL (Sulfato potássio);

V_{extrato}: 10 mL

M: massa seca do solo, em gramas.

Cálculo para a quantificação de C-mic do solo, expressos em mg kg⁻¹:

C-mic = (C_{extrato I} - C_{extrato NI})/K, onde:

K: constante (0,38).

A partir da obtenção dos teores de C foi possível determinar o quociente C-mic/C-total, expressos em porcentagem:

C-mic/C-total = (C-mic / C-total) x 100

Para a quantificação do extrato N-mic irradiado (I) e não irradiado (NI):

N_{extrato I} e NI = (A x B) x F x 14 x 1000 x V_{extrator}/V_{extrato} x M, onde:

B: volume branco;

A: volume amostra;

F: normalidade do Ácido Sulfúrico (0,0967);

14: massa do N;

V_{extrator}: 2,5 mL;

V_{extrato}: 10 mL;

M: massa seca do solo, em gramas.

Cálculo para quantificação do N-mic, em mg kg⁻¹:

N-mic = (N_{extrato I} - N_{extrato NI})/K, onde:

K: constante (0,45).

A partir da obtenção dos teores de C-total e N-total do solo, foi determinado o coeficiente da relação C/N:

C/N = C-total / N-total

O quociente N-mic/N-total expressos em porcentagem, foi determinado pelo cálculo:

N-mic/N-total = (N-mic / N-total) x 100

4.6 Diagnose foliar da cultura da soja

4.6.1 Determinação do N inorgânico fracionado

No estágio R2 de desenvolvimento da soja, nas safras 2014/2015, foram coletados 30 trifólios (terceiro ou quarto a partir do meristema apical) para a determinação dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- de acordo com Malavolta et al. (1997).

4.7 Determinação do N inorgânico fracionado na biomassa da matéria seca coletada da superfície do solo

A determinação das formas de N (N-NH_4^+ e N-NO_3^-), em mg kg^{-1} , presentes na biomassa seca foi realizada 30 dias antes da colheita da soja e no dia seguinte à colheita. Durante a amostragem, as amostras da biomassa seca foram coletadas com o quadro de 1x1 m, das duas linhas centrais de cada parcela, descartando-se 0,5 m das bordaduras. Deve-se destacar que, nos manejos envolvendo o consórcio das plantas, as amostras foram compostas pela mistura dos materiais vegetais.

A determinação dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foi realizada de acordo com Malavolta et al. (1997).

Figura 12. Coleta de palha da superfície do solo

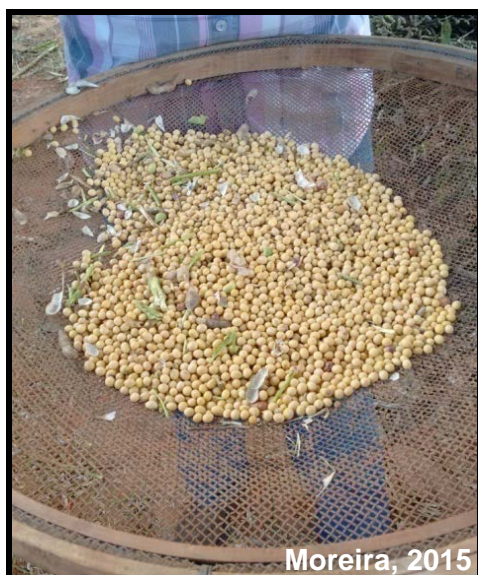


Fonte: do autor.

4.8 Produtividade de grãos da cultura da soja

Para estimar a produtividade de grãos, após a sua maturidade fisiológica, as plantas contidas nas duas linhas centrais de cada unidade experimental foram colhidas manualmente, descartando-se 0,5 m de cada extremidade. Após esta operação, as plantas foram trilhadas, os grãos pesados e calculada a produtividade de grãos, em kg ha^{-1} , corrigindo-se o teor de água destes para 13%.

Figura 13. Detalhe dos grãos da soja trilhados



Fonte: do autor.

4.9 Diagnose foliar da cultura do milho

4.9.1 Determinação do N inorgânico fracionado

Na fase de pendoamento da cultura do milho, na safra 2015, foram coletados o terço central da folha base da espiga para a determinação dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- seguindo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

4.10 Diagnose foliar da *Urochloa brizantha* cv. MG-5

4.10.1 Determinação do N fracionado

As plantas de *Urochloa brizantha* foram amostradas em dois momentos: a) no dia 13 de Agosto de 2015, antes de ser cortada para rebaixar o pasto, simulando o pastejo dos animais e b) no dia 01 de Outubro de 2015, antes de ser dessecada em virtude da semeadura da soja, para a determinação dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- de acordo com Malavolta et al. (1997).

4.11 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e os efeitos da variável qualitativa, rotação de culturas, foram comparados pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As doses de N, considerada uma variável quantitativa não foram avaliadas pela análise de regressão polinomial em virtude de não terem apresentado diferença significativa pelo teste de média.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento: Safra 2014/2015

5.1.1 Quantificação de N-NH₃, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ do solo

O manejo das rotações de culturas visando o desenvolvimento das culturas do milho e da soja não proporcionaram efeitos significativos na volatilização da N-NH₃, na recuperação dos teores de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, no teor de N-total e de N-mic do solo. Entretanto, o teor de N-NH₃ volatilizada do solo foi diferente entre as doses de N aplicadas no sistema de produção, o que possibilitou a ocorrência de uma interação entre os fatores doses e as épocas de avaliação.

Tabela 3. Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos N-NH₃, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-total e N-mic do solo nos manejos de rotação e nas profundidades, cm, avaliados. Presidente Prudente, 2014.

FV	N-NH ₃	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-total	N-mic
Blocos	4,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,3 ^{ns}	1,1 ^{ns}
Rotações (A)	0,9 ^{ns}	1,0 ^{ns}	5,5 ^{ns}	0,6 ^{ns}	4,4 ^{ns}
Doses de N (B)	8,2 ^{**}	13,0 ^{**}	3,0 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,9 ^{ns}
A x B	1,9 ^{ns}	2,6 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}
Profundidades (C)	-----	1,6 ^{ns}	1,5 ^{ns}	16,2 ^{**}	3,2 [*]
Épocas Coleta (D)	1,6 ^{ns}	-----	-----	-----	-----
A x C	-----	1,6 ^{ns}	2,1 [*]	2,0 ^{ns}	3,2 ^{**}
A x D	1,8 [*]	-----	-----	-----	-----
B x C	-----	2,4 ^{**}	2,0 [*]	0,7 ^{ns}	3,2 ^{**}
B x D	2,1 ^{**}	-----	-----	-----	-----
A x B x C	-----	1,9 ^{ns}	2,3 ^{**}	1,3 ^{ns}	2,5 ^{**}
A x B x D	1,9 ^{**}	-----	-----	-----	-----

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < 05$); ns não significativo ($p \leq 05$)

Os teores de N-NH_4^+ também podem ser analisados mais especificamente em função da interação ocorrida entre as doses de N e as profundidades amostradas. Foi verificada resposta significativa para N-total em função das profundidades estudadas e nenhuma resposta para o N-mic no solo (Tabela 3).

A volatilização de N-NH_3 foi observada na interação entre as rotações de culturas, as doses de N e as épocas de avaliação (Tabela 4). Houve diferenciação na taxa de volatilização da N-NH_3 conforme no decorrer do tempo de coleta, não sendo observada influência significativa entre as doses de N aplicadas.

Tabela 4. Concentração de N-NH_3 , kg ha^{-1} , nos manejos de rotação de culturas em função da interação entre as doses de N, kg ha^{-1} , e épocas de coleta (dias). Presidente Prudente, 2014.

Rot*	Doses**	Épocas de Coleta (dias)***								
		1	4	8	12	19	27	35	43	Total
Mi/Tr/Po/So	50	0,4B	0,8B	0,4B	2,7A	0,4B	0,4B	1,9AB	1,3AB	8,3
	100	1,0 A	1,2 A	1,4 A	0,8 A	2,0 A	1,5 A	2,1 A	1,7 A	11,7
	150	2,1 A	1,6 A	2,0 A	1,1 A	1,5 A	2,3 A	1,3 A	1,5 A	13,4
	200	1,6 A	1,2 A	1,4 A	1,8 A	1,7 A	1,7 A	1,7 A	1,6 A	12,7
Mi+Uro/Uro/So	50	1,5 A	1,0 A	1,3 A	1,4 A	1,0 A	1,5 A	1,4 A	1,6 A	10,7
	100	1,9 A	1,2 A	2,0 A	1,6 A	1,8 A	1,5 A	1,4 A	0,9 A	12,3
	150	2,7 A	2,3 A	1,6 A	2,2 A	1,5 A	1,3 A	1,5 A	2,3 A	15,4
	200	2,5 A	1,2 AB	1,6 AB	2,5 A	0,4 B	0,4 B	1,0 AB	0,8 B	10,4
Uro/So	50	1,5 A	0,5 A	0,6 A	0,9 A	0,9 A	1,6 A	0,7 A	0,8 A	7,5
	100	1,2 A	1,0 A	0,6 A	1,2 A	1,3 A	1,0 A	1,7 A	0,9 A	8,9
	150	1,2 B	3,1 A	1,3 B	1,7 AB	2,4 AB	1,5 B	1,7 AB	1,3 B	14,2
	200	1,9 A	1,6 A	2,1 A	2,5 A	1,7 A	1,3 A	2,2 A	2,0 A	15,3

C.V(%): *=43,68; **=69,80; ***=49,71; dms para linhas= 1,59; As médias seguidas pela mesma letra na linha não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As perdas de N-NH₃ por volatilização atingiram o valor máximo de 2,5 kg ha⁻¹ sem distinção entre os sistemas de rotação de culturas e tampouco entre as doses de N. Rojas et al. (2012) observaram perdas de 0,18 kg ha⁻¹ de N-NH₃ por volatilização, também não apresentando variação significativa com as doses de N aplicadas no sistema de produção. Na mesma região de estudo, Fontoura e Bayer (2010) determinaram perdas similares de N-NH₃ por volatilização em plantio direto, as quais variaram de 3 a 25% do N aplicado e foram inversamente relacionadas com o volume de chuvas logo após a aplicação.

As taxas de volatilização de N-NH₃ (Tabela 4) apresentaram variações significativas dentro do período de avaliação. Esta quantificação foi realizada em período com déficit hídrico intenso, o que pode ter influenciado na decomposição da MOS e, portanto, na perda da N-NH₃ para a atmosfera. A baixa umidade do solo pode prejudicar os processos de mineralização de N ou amonificação, que consiste em uma série de reações bioquímicas, predominantemente de desaminação, em que o excedente de N é liberado para o exterior das células microbianas, permitindo, portanto, o aparecimento da N-NH₃, a qual pode ser rapidamente oxidada a N-NO₃⁻ pela ação de bactérias nitrificadoras (AITA; GIACOMINI, 2007) ou perdida por volatilização. Diversos fatores como a capacidade-tampão do solo, atividade da biomassa microbiana, teor de matéria orgânica na camada superficial, dinâmica da água e temperatura do solo também podem alterar a volatilização de amônia (BREMNER; MULVANEY, 1978; ROSCOE et al., 2000).

Não foi verificado efeito significativo da rotação de culturas na volatilização da N-NH₃ (Tabela 4), o que indica que outros fatores foram mais relevantes para a perda deste elemento no decorrer do período de coleta.

Para Da Ros, Aita e Giacomini (2005), no caso da aplicação de fertilizantes, a presença de resíduos culturais pode diminuir a volatilização da N-NH₃ somente quando os resíduos mantiverem maior umidade no solo em relação àquele descoberto. Sangoi et al. (2003) verificaram que a presença de palha de aveia diminuiu a volatilização de NH₃ em um Nitossolo Vermelho quando a uréia foi aplicada em superfície sem incorporação. Contudo, no Neossolo Quartzarênico, a manutenção dos resíduos na superfície aumentou a quantidade de NH₃ volatilizada. Os autores acreditam que no Nitossolo a presença dos resíduos orgânicos foi benéfica na manutenção de maior umidade do solo, favorecendo a nitrificação e

diminuindo a difusão ascendente da NH_3 que ocorre juntamente com a evaporação da água, fatos não observados no solo arenoso.

Embora a utilização do sistema de plantio direto venha aumentando as produções, esse sistema ainda causa grandes perdas de N por volatilização devido aos agentes causadores, como: umidade, temperatura e matéria orgânica. Segundo Okumura e Mariano (2012) fatores como manejos do solo e cultural, temperatura, umidade, textura do solo e teor de matéria orgânica, interferem diretamente na perda de N por volatilização, em função no aumento ou diminuição da atividade da enzima urease, responsável pela degradação da uréia, ou até mesmo por alterações na atividade microbiológica.

O manejo da rotação de culturas e as profundidades não influenciaram significativamente no teor de N-NH_4^+ do solo, exceto quando se consideram as doses de N. (Tabela 5). A interação entre as doses de N e as profundidades foi significativa.

Tabela 5. Teor de N-NH_4^+ no solo em função da interação entre as doses de N e as profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2014.

Doses de N** (kg ha ⁻¹)	Profundidades (cm)***				
	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)					
50	76,6 cA	98,1 aA	79,0 bA	82,4 aA	85,3 aA
100	118,9 abA	99,8 aA	122,2 aA	107,6 aA	103,8 aA
150	95,9 bcA	107,8 aA	114,2 aA	115,0 aA	94,8 aA
200	153,3 aA	116,9 aAB	96,9 abB	111,2 aB	90,9 aB

C.V (%) para *=58,35, **=23,82 e ***=28,39; dms para colunas= 35,09; dms para linhas= 38,55; as letras minúsculas comparam as médias nas colunas e as maiúsculas comparam as médias nas linhas pelo teste Tukey; foi aplicado o Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A adubação do sistema com 200 kg ha⁻¹ de N foi capaz de incrementar o teor de N-NH_4^+ em 100% e 60% em comparação com as doses de 50 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente, na camada de 0-5 cm (Tabela 5). Na profundidade de 10-20 cm as doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N aumentaram o teor de N-NH_4^+ no solo em 55% e 45%, respectivamente, em relação á dose de 50 kg ha⁻¹. Nas demais profundidades

não houve resposta significativa das doses de N (Tabela 5). De forma geral, a adubação com 200 kg ha^{-1} de N foi capaz de proporcionar aporte significativo de N-NH_4^+ até 10 cm de profundidade.

Embora o maior efeito da adubação nitrogenada tenha ocorrido superficialmente, observam-se teores consideráveis de N-NH_4^+ a partir de 20 cm de profundidade, indicando, a sua possível lixiviação no perfil do solo (Tabela 5). Fatores como a classe textural, o sistema de preparo de solo, a umidade e até mesmo o tipo e a forma de aplicação do fertilizante podem contribuir para a lixiviação. Essa lixiviação observada na tabela 5 ocorreu principalmente devido à estrutura física do solo (Tabela 2), uma vez que as doses de N não influenciaram nesse sentido.

O íon NH_4^+ , por ser um cátion, não é facilmente lixiviado e, quando mineralizado, permanece no complexo de troca do solo, podendo ser absorvido pelas plantas ou oxidado a NO_3^- (POLETTI; GROHS; MUNDSTOCK, 2008). Porém, a textura pode ter grande influência na magnitude do processo de lixiviação, uma vez que solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de N, principalmente na forma de N-NH_4^+ , do que solos arenosos (SANGOI et al., 2003). A maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil e, conseqüentemente, o arraste de N-NH_4^+ e até de N-NO_3^- para camadas inferiores (BORTOLINI, 2000; CAMARGO, 1989). Além da textura, o teor de matéria orgânica também pode aumentar a lixiviação de N, em função da maior disponibilidade de N decorrente da decomposição desta, principalmente quando a área não está sendo cultivada.

Houve efeito significativo da interação entre a rotação de culturas, as doses de N e as profundidades amostradas no teor de N-NO_3^- do solo (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de N-NO_3^- no solo em função da interação entre as rotações de culturas, as doses de N e as profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	Doses N**	Profundidades***				
		0-5	5-10	10-20	20-40	40-60
$\text{N-NO}_3^- (\text{mg kg}^{-1})$						
Mi/Tr/Po/So	50	57,9 A	44,0 A	43,8 A	63,5 A	38,2 A
	100	38,1 B	53,8 AB	62,8 AB	58,0 AB	97,3 A
	150	63,8 A	50,5 A	56,4 A	75,8 A	41,1 A
	200	44,0 A	50,9 A	75,1 A	61,1 A	78,2 A
Mi+Ur/Ur/So	50	50,3 AB	103,3 A	74,9 AB	45,9 B	55,6 AB
	100	122,8 A	92,5 AB	142,0 A	64,2 B	108,8 AB
	150	85,2 A	18,8 B	140,2 A	94,4 A	108,6 A
	200	112,6 A	83,8 A	56,4 A	56,9 A	74,3 A
Ur/So	50	31,6 A	47,0 A	28,4 A	32,9 A	27,2 A
	100	37,8 A	21,4 A	34,1 A	48,5 A	29,9 A
	150	12,5 A	28,0 A	34,3 A	36,0 A	23,3 A
	200	25,4 A	21,7 A	34,5 A	45,6 A	44,4 A

C.V (%) para *=148,14, **=48,88 e ***=42,95; dms para linhas= 56,78. As médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Não houve diferença estatística significativa entre os manejos de rotação de culturas tampouco entre as doses de N aplicadas no sistema de produção. A distribuição do N-NO_3^- foi homogênea em todo o perfil do solo, sendo poucas as situações onde houve diferença significativa em profundidade (Tabela 6).

Embora não tenha sido observada influência do manejo das culturas na disponibilidade do N-NO_3^- no solo, a rotação Ur/So tendeu a apresentar menores valores deste elemento diante de todas as doses de N e profundidades estudadas (Tabela 6). Teores relativamente baixos de N-NO_3^- lixiviados no solo sob manejo de gramíneas tropicais devem-se à sua alta capacidade de absorção desta forma de N (PRIMAVESI et al., 2001).

A lixiviação de N-NO_3^- em pastagem formada de capim *Coast-Cross* foi estudada por Primavesi et al. (2006) aplicando doses de N que variaram de 250 a 1.000 kg ha^{-1} . Os autores encontraram teores de N-NO_3^- abaixo de 60 cm de profundidade com taxas inferiores a 8 mg kg^{-1} . Neste caso, para as condições locais, a adubação realizada em superfície interferiu nos teores de N-NO_3^- , contribuindo

para a menor taxa de lixiviação. Levando-se em consideração o potencial deste tipo de perda de N-NO_3^- em solos agrícolas, Bayer e Fontoura, (2006) recomendam que a maior parte da aplicação do fertilizante nitrogenado seja feita em cobertura, num período imediatamente anterior ao de maior demanda das culturas pelo N.

O íon NO_3^- é o último elemento formado no ciclo biológico do N no solo sendo a forma preferencial de absorção pela maioria das plantas cultivadas. É pouco retido no complexo coloidal, principalmente devido à sua baixa energia de ligação aos minerais de argila e à matéria orgânica (REISENAUER, 1978), podendo ser, assim, lixiviado para as camadas subsuperficiais do perfil.

Talvez, a lixiviação observada, muito comum em solos arenosos, pode ter dificultado a obtenção de dados estatisticamente diferentes entre as profundidades, uma vez que o N-NO_3^- se distribuiu no perfil (Tabela 6). Segundo Andrade et al. (2009), a lixiviação do N-NO_3^- é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, as quais para Kiehl (1987) influenciam na capacidade de retenção de água. Dentro deste contexto, é importante destacar ainda que a quantidade de N que se perde por lixiviação também varia grandemente em função da velocidade de mineralização e de imobilização pelas plantas e pelos microrganismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002) além da precipitação pluviométrica (FERNANDES; LIBARDI; CARVALHO, 2006).

Sexton et al. (1996) quantificaram a lixiviação do N-NO_3^- , destacando que a mesma aumentou rapidamente quando as doses de N excederam 100 kg ha^{-1} durante o desenvolvimento do milho, sob condições de um solo arenoso. Além disso, os autores apontaram que para doses de N acima de 250 kg ha^{-1} , o N-NO_3^- lixiviado aumentou exponencialmente. Para Hoefl (2003), a dose, a época e o método de aplicação de fertilizantes nitrogenados têm efeito marcante tanto sobre a produtividade das culturas como sobre o potencial de contaminação dos mananciais de água subterrânea pelos nutrientes. Quanto mais precocemente o N for aplicado, antes da época na qual a cultura precisa dele, e quanto maior for a dose aplicada, maior será a quantidade de N perdida. Por isso, a importância de distribuir a adubação nitrogenada dentro do sistema de produção e não especificamente visando uma única cultura.

No balanço das duas formas de N mineral (Tabelas 5 e 6), evidencia-se que os teores de N-NH_4^+ no solo foram maiores que os de N-NO_3^- . O valor do pH do solo associado a um período com baixo índice pluviométrico pode ter proporcionado

condições para a redução da taxa de nitrificação. De acordo com Adams e Martin (1984), a acidez inibe a produção de N-NO_3^- em solos que recebem aplicação de amônio, induzindo os mesmos à acidificação. Também salientam que a nitrificação é favorecida pela calagem.

D'Andréa et al. (2004), analisando amostras de um Latossolo Vermelho distroférico, verificaram que o N mineral, nas formas de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , sofreram influência marcante dos sistemas de manejo avaliados. Os autores relataram que os teores de N-NH_4^+ foram mais elevados que os de N-NO_3^- até 100 cm de profundidade, em área do cerrado nativo, assumindo valores significativamente menores em todos os demais sistemas, tanto em plantio direto como no convencional, até a profundidade de 20 cm. Os autores ainda salientaram que, no solo sob pastagem os teores de N-NH_4^+ foram menores que no cerrado nativo somente na camada superficial, embora ainda maiores que os teores de N-NO_3^- .

Os íons NH_4^+ e NO_3^- são as formas predominantes de N mineral disponíveis às plantas, e a concentração desses íons ao longo do perfil do solo é muito variável. Nas camadas superficiais de alguns solos, aproximadamente 5% do N-total está sob a forma de N-NH_4^+ , e em camadas subsuperficiais a quantidade de N-NH_4^+ pode atingir valores de até 50% do total de N (WALSH; MURDOCK, 1960; KEENEY; BREMNER, 1964).

Com relação à forma N-NO_3^- , D'Andréa et al. (2004) obtiveram teores mais elevados que o N-NH_4^+ no sistema de plantio direto apenas na profundidade de 0-10 cm. Neste caso, foi possível afirmar que as adubações e correções da acidez do solo criaram condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores. Destacaram ainda que, os teores de N-NO_3^- decresceram em profundidade, com valores médios na camada de 0-10 cm ($32,1 \text{ mg kg}^{-1}$) superiores aos encontrados nas subjacentes (de $17,0$ a $14,7 \text{ mg kg}^{-1}$). Nesta situação, os valores relativamente baixos de pH no cerrado nativo e na pastagem, variando de 4,8 a 5,5 até a profundidade de 40 cm (D'ANDRÉA et al., 2002), ajudaram a explicar a predominância da forma amoniacal nestes sistemas.

A taxa de nitrificação decresce abaixo de pH 6,0, é insignificante abaixo de 4,5 e é próxima de zero em solos com excesso d'água e com temperaturas inferiores a 5°C ou superiores a 40°C (LEWIS, 1986). Assim, se por um lado a aplicação de fertilizante amoniacal pode aumentar o teor de N-NO_3^- no solo na presença da calagem, por outro a própria reação do fertilizante pode, dependendo

do pH inicial, inibir a nitrificação e deixar esta forma de N menos sujeita à lixiviação. Dependendo da situação, a planta absorverá mais N-NH_4^+ ou N-NO_3^- , com a correspondente descarga de prótons ou ânions na rizosfera (MARSCHNER; HAÜSSLING; GEORGE, 1991; STRONG; SALE; HELYAR, 1997). Franchini et al. (2000) concluíram que tanto o uso de N amoniacal como a presença de tremoço em sistemas de rotação de culturas provocam a acidificação do solo.

A disponibilidade, a localização e as formas de N encontradas no perfil do solo podem variar em decorrência das alterações nas taxas de amonificação, nitrificação, desnitrificação e das características dos íons NH_4^+ e NO_3^- (MILLER; CRAMER, 2004). As taxas de amonificação, nitrificação e desnitrificação são regidas por fatores que interferem diretamente na atividade microbiana como pH, temperatura, aeração e umidade do solo (LEWIS, 1986). Na solução do solo, a predominância do NH_4^+ em relação ao NO_3^- é observada, em geral, em ambientes com baixo pH, baixa temperatura e alta umidade, com acúmulo de compostos fenólicos alelopáticos e anaerobiose (DJIK; ECK, 1995) que inibem a nitrificação (STARK; HART, 1997).

Marquez et al. (2000) constataram maiores teores de N-NO_3^- em relação ao N-NH_4^+ em solos incubados com resíduos de feijão lab-lab, enquanto em solos com maior aporte de resíduos deixados pela cultura do milho foram encontrados maiores teores de N-NH_4^+ no período inicial de 25 dias de incubação, com aumento do N-NO_3^- após este período. Possivelmente, compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular, liberados no período inicial da decomposição, colaboram para a redução ou até a neutralização da acidez do solo (FRANCHINI et al., 1999).

As rotações de cultura e as doses de N não influenciaram no teor de N-total, mas houve diferenciação entre as camadas de solo (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de N-total, N-mic no solo e N-mic/N-total nas rotações, doses de N e nas profundidades avaliadas. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	N-total	N-mic	N-mic/N-total
	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)
Mi/Tr/Po/So	337,2 a	0,86 a	0,26
M+Ur/Ur/So	356,5 a	1,61 a	0,45
Ur/So	382,7 a	1,24 a	0,32
Doses de N** (kg ha ⁻¹)			
50	339,2 a	1,38 a	0,40
100	350,0 a	1,05 a	0,30
150	365,1 a	1,14 a	0,31
200	381,1 a	1,39 a	0,36
Profundidades*** (cm)			
0 – 5	509,5a	1,34ab	0,26
5 – 10	385,7b	0,99 b	0,26
10 – 20	341,0 bc	1,27ab	0,37
20 – 40	299,7 bc	1,67 a	0,42
40 – 60	258,2c	0,94 b	0,36

C.V (%) para N-total *=61,88, **=56,63 e ***=40,12, para N-mic *=128,73, **=109,68 e ***=90,15; dms para N-total *=143,32, **=121,16 e ***=94,40, para N-mic *= 0,77, **= 0,68 e ***= 0,63; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O maior teor de N-total foi encontrado até 5 cm de profundidade com diminuição gradativa a partir desta até 60 cm (Tabela 7). Este fato foi constatado devido à maior presença de resíduos deixados pelas culturas antecessoras à soja nas camadas superficiais do solo. Com a lenta mineralização destes resíduos ocorreu o maior aporte N-total nas camadas superficiais. Segundo Costa et al. (2008) o uso de fertilizantes nitrogenados em pastagens aumenta significativamente o teor de N-NO₃⁺, N-NH₄⁺ e o N-total do solo (POLETTI; GROHS; MUNDSTOCK, 2008).

O N de compostos orgânicos no solo encontra-se, em grande parte, em formas praticamente indisponíveis às plantas. A fração orgânica, de 0,1 a 50% do N total do solo, está sujeita à ação microbiana (BARBER, 1995) e é constantemente convertida na fração mineral (NH₄⁺, NO₃⁻ e NO₂⁻) pelo processo de mineralização.

D'Andréa et al. (2004) também constataram que os teores de N total do solo não diferiram entre si, nos sistemas de manejo avaliados, mas que houve efeito significativo da profundidade, com destaque aos valores encontrados próximos à superfície (0-10 cm).

Os aportes de biomassa ao solo proporcionado pelas culturas em rotação, bem como as doses de N não foram suficientes para aumentar significativamente o teor de N na biomassa microbiana (N-mic) (Tabela 7). Os teores são baixos e a relação N-mic/N-total indicam a baixa imobilização do N do solo pelos microrganismos.

Os resultados também mostram que houve diminuição do teor de N-total em profundidade bem como das formas minerais de N que, associado com a diminuição da população de microrganismos proporcionou a redução dos valores de N-mic. Portanto, a imobilização do N pelos microrganismos foi reduzida em profundidade (Tabela 7).

Em função do início do estabelecimento do manejo de culturas sob plantio direto nesta área, aliado ao fato de haver ainda baixa deposição de biomassa na superfície do solo, os microrganismos do solo imobilizaram rapidamente uma pequena parte do N proveniente da adubação mineral. Os microrganismos necessitam de N para realizarem a decomposição da matéria orgânica, tendo ele como fonte de energia para a formação do tecido do seu próprio corpo, sendo o excedente é disponibilizado ao solo para a absorção das plantas (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). Vargas e Scholles (1998) destacam que a presença de leguminosas como a vica e o feijão caupi aumentou significativamente o conteúdo de N-mic, na profundidade de 0-5 cm, constatando que os resíduos das leguminosas, como a vica, são degradados mais rapidamente do que os resíduos de cereais.

Ainda de acordo com Vargas e Scholles (1998), independente das culturas avaliadas, nas profundidades de 0-5 e 5-15 cm, ocorreu maior imobilização de N comparado aos valores apresentados na tabela 5. Além disso, os autores verificaram que o N-mic apresentou distribuição diferenciada nas camadas de 0-5 e 5-15 cm em função dos manejos culturais. As diferenças no N da biomassa microbiana, entre os sistemas de manejo, foram mais pronunciadas na camada de 0-5 cm, sendo que nessa camada de solo, observaram-se os maiores valores de N mic no sistema aveia + vica/ milho + caupi.

Os sistemas com menor revolvimento do solo, com manutenção de resíduos vegetais na superfície, aumentam a disponibilidade de substratos nos primeiros centímetros do solo, possibilitando maior concentração de nutrientes na biomassa microbiana (SALINAS-GARCIA; HONS; MATOCHA, 1997). Além disto, a imobilização de N pela biomassa é temporária. O N retido na biomassa é liberado, na medida em que os microrganismos morrem e são mineralizados pela população restante, razão por que, em solos submetidos a estresses ambientais, a maior parte do N mineralizado pode ser de origem microbiana (MARUMOTO; ANDERSON; DOMSCH, 1982). Portanto, a biomassa microbiana atua como um tampão do N do solo, uma vez que controla a disponibilidade desse nutriente por meio dos processos de mineralização e imobilização. Em diferentes sistemas de manejo do solo, a microbiota recebe estímulos diferenciados devidos à composição dos resíduos das espécies vegetais e aos métodos de preparo de solo, resultando em diferenças na atividade microbiana, na relação imobilização-mineralização do N e nas taxas de decomposição dos resíduos (VARGAS; SCHOLLES, 1998).

Não houve diferença estatística para os atributos C-total, C-mic e na relação C/N entre as rotações de culturas e as doses de N avaliadas, com exceção para o C-total e a relação C/N quando avaliada nas profundidades (Tabela 8).

Tabela 8. Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos C-total, C-mic, e Relação C/N nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades avaliadas. Presidente Prudente, 2014.

FV	C-total	C-mic	C/N
Blocos	0,4 ^{ns}	0,3 ^{ns}	3,7 ^{ns}
Rotações (A)	0,2 ^{ns}	0,4 ^{ns}	1,3 ^{ns}
Doses (B)	1,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}
A x B	1,7 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,8 ^{ns}
Profundidades (C)	136,6 ^{**}	0,9 ^{ns}	10,9 ^{**}
A x C	1,3 ^{ns}	2,8 ^{ns}	2,3 [*]
B x C	0,9 ^{ns}	2,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}
A x B x C	1,3 ^{ns}	2,6 ^{ns}	0,8 ^{ns}

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 = < p < 05$); ns não significativo ($p <= 05$)

A deposição de biomassa vegetal na superfície do solo, derivada do manejo de rotação de culturas, associada às doses de N ainda não foram suficientes para proporcionar o aumento do C-total e do C-mic, reflexo claro de que não houve aumento do teor de C-total (matéria orgânica do solo) que pudesse dar suporte ao crescimento dos microrganismos (Tabela 9). Os valores do quociente C-mic/C-total demonstram que houve a imobilização de C pelos microrganismos em contraste ao que ocorreu com o N-mic.

Tabela 9. Teor do C-total, C-mic e C-mic/C-total nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	C-total	C-mic	C-mic/C-total
	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)
Mi/Tr/Po/So	4,44 a	73,63 a	1,65
Mi+Ur/Ur/So	4,76 a	75,53 a	1,59
Ur/So	4,57 a	81,51 a	1,78
Doses (kg ha⁻¹)**			
50	4,37 a	80,13 a	1,83
100	4,58 a	75,84 a	1,66
150	4,71 a	78,49 a	1,67
200	4,70 a	73,10 a	1,56
Profundidades (cm)***			
0 – 10	5,75 a	83,67 a	1,46
10 – 20	5,02 b	81,28 a	1,63
20 – 40	3,93 c	75,47 a	1,92
40 -60	3,67 c	68,81 a	1,87

C.V (%) para C-total *=56,6, **=23,2 e ***=13,4, para C-Mic *=76,16, **=58,12 e ***=55,68; dms para C-total *=1,41, **=0,59 e ***=0,31 para C-Mic *=28,41, **=22,31 e ***=24,15; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Mas, com a estabilização do sistema de plantio direto nesta área, juntamente com o manejo sucessivo das culturas em esquema de rotação esperam-se resultados satisfatórios futuramente. Venzke Filho et al. (2008) avaliaram a influência do tempo de adoção do sistema de plantio direto e a textura do solo sobre a dinâmica dos teores de C e N microbianos. Concluíram que quanto maior o tempo de adoção do sistema, maior o aumento dos valores de C e N microbianos na camada de 0- 20 cm, e que quanto maior o teor de argila do solo, maiores serão os acréscimos.

Embora tenha sido encontrado maior teor de C-total até 10 cm de profundidade, com a diminuição gradativa até 60 cm de não houve diferenciação nos teores de C-mic (Tabela 9). Possivelmente, o baixo teor de C-total no solo em sub superfície associado á presença de resíduos vegetais como elevada relação C/N dificultou a assimilação de C pelos microrganismos. O teor de C é variável entre os diferentes sistemas de manejo de solo, nos diferentes sistemas de culturas, e ao

longo do perfil do solo, pois o C das camadas sub superficiais pode ser estabilizado por interações minerais (EUSTERHUES; RUMPEL; KÖGEL-KNABNER, 2005) e também pela escassez de entrada de resíduos vegetais (FONTAINE et al., 2007).

Matias et al. (2009) observaram maiores valores do C-mic em todas as profundidades estudadas em área de cultivo de soja em um Latossolo Amarelo distrófico. É claro que o aumento do C-mic na camada de 0-5 cm estava relacionado devido ao acúmulo de C-total. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm também houve diferença no teor de C-total, porém os valores foram menores que em superfície.

Mesmo que o maior teor de C-total seja na superfície do solo, os teores encontrados em subsuperfície apresentam significância para o sistema. Trabalhando em um Latossolo Vermelho até 1 m de profundidade, Inácio (2009) verificou que, apesar da redução no teor de C nas camadas subsuperficiais, as quantidades armazenadas foram significativas, uma vez que o C-total armazenado de 40-100 cm de profundidade representou de 37 a 53% do C do perfil.

É natural a diferenciação do C-total em profundidade, o que pode ser explicado pela redução do teor de matéria orgânica do solo, pelo menor desenvolvimento microbiano em sub superfície e, conseqüentemente, menor aporte de C ao sistema. A maior parte do C-total dos solos agrícolas encontra-se na forma orgânica, na biomassa dos microrganismos, nas substâncias húmicas, em animais em diferentes estágios de decomposição e em materiais inertes como carvão vegetal ou mineral (MENDONÇA; MATOS, 2005).

Costa et al. (2008) avaliaram o potencial de sistemas de preparo de solo e de culturas na conservação de C em um Argissolo Vermelho e relataram que o sistema de plantio direto associado ao maior aporte de resíduos vegetais ricos em C e N apresenta maior potencial de conservação de C no solo. O fato do N-mic e o C-mic não apresentarem nenhuma diferença significativa pode estar relacionado com ao baixo desenvolvimento da biomassa microbiana que imobiliza o C na presença de resíduos vegetais na superfície do solo (VASCONCELLOS; CAMPOLINA; SANTOS, 1999).

O acúmulo significativo de C nas camadas superficiais também foi observado por Baker et al. (2007). Os autores verificaram que no sistema convencional ocorreu maior acúmulo de C em profundidade, enquanto que no sistema de plantio direto o acúmulo foi maior em superfície. No entanto, outros autores defendem que o sistema de plantio direto tende a acumular mais C no perfil

do solo, no decorrer do tempo de manejo, devido à maior produção de matéria seca (ANGERS; ERIKSEN-HAMEL, 2008).

O aumento no teor de matéria orgânica do solo devido à rotação de culturas pode influenciar no aumento dos teores de C, que é fonte de nutrientes (GNANKAMBARY et al., 2008) e energia para os microrganismos heterotróficos e plantas cultivadas (BAYER; MIELNICZUK, 2008). O mesmo ocorre para o teor de C-mic do solo, já que sua maior concentração está na camada superior do solo, 0-10 cm. Araújo e Melo (2012) afirmam que, para o sistema de plantio direto, os maiores valores de BMS se encontram na camada de 0-10 cm, fator decorrente da deposição dos resíduos vegetais na superfície do solo, o que resulta em uma maior quantidade de microrganismos que assimilam os nutrientes orgânicos, aumentando a BMS.

Com o uso de leguminosas, como adubos verdes, abre-se a possibilidade de aumentar o conteúdo de C orgânico no solo por dois motivos: o primeiro, de forma direta, sendo uma fonte de matéria orgânica (C-total), e o segundo, aumentando a disponibilidade de N do sistema o qual favorece a produção vegetal e os resíduos de colheitas (ALMEIDA, 2015).

A quantificação dos teores de C e N do solo permite a obtenção da relação C/N, que é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, dando informação sobre o seu estado de humificação e muito importante para a determinação da competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos do solo (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

Os dados apresentados nas Tabelas 8 e 10 indicam que houve interação específica entre as rotações de cultura e as profundidades de solo.

Tabela 10. Relação C/N do solo considerando a interação entre os manejos de rotação e as profundidades. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	Relação C/N			
	Profundidades (cm)***			
	0-10	10-20	20-40	40-60
Mi/Tr/Po/So	7,7 aB	17,9 abA	12,1 aAB	17,8 aA
Mi+Ur/Ur/So	6,1 aC	26,7 aA	15,8 aBC	17,6 aAB
Ur/So	7,1 aA	11,4 bA	16,4 aA	14,3 aA

C.V (%) para *=91,56, **=78,26 e ***=65,11; dms para colunas= 10,59; dms para linhas= 9,95; as letras minúsculas comparam as médias nas colunas e as maiúsculas comparam as médias nas linhas pelo teste Tukey; foi aplicado o Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A relação C/N foi significativamente menor na camada de 0-10 cm apenas nos manejos com as rotações Mi/Tr/Po/So e Mi+Ur/Ur/So comparada às demais profundidades (Tabela 10).

O aumento da relação C/N em profundidade, principalmente nas áreas com Mi/Tr/Po/So e Mi+Ur/Ur/So está associada à redução do N total em profundidade, cujo maior valor foi de 258,2 mg kg⁻¹ à 40-60 cm (Tabela 7). Os dados também mostram que, praticamente, não houve diferença estatística ao se analisar as rotações entre si em função das profundidades (Tabela 10).

Apesar de não ter sido verificada influência significativa das doses de N no sistema de produção, a adubação realizada nas rotações pode ter sido suficiente para manter o aporte de N para a degradação da biomassa vegetal produzida depositada na superfície do solo, além do desenvolvimento das culturas, evitando, assim, a imobilização excessiva do nutriente pela biomassa microbiana. Para Moreira e Siqueira (2006), quando os valores da relação C/N, são menores que 20 há indicação que o processo dominante é a mineralização, o que favorece a decomposição orgânica e a liberação de N para o solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). De acordo com Stevenson (1986), em solos tropicais não revolvidos o equilíbrio na relação C/N ocorre entre 10 e 15. Com algumas exceções, os valores obtidos (Tabela 10) ficaram em torno desta faixa.

A relação C/N do solo baixa indica equilíbrio entre os elementos C e N no solo. Em uma situação em que a relação C/N está elevada, superior a 30/1, há indicação de deficiência de N no sistema em decorrência da presença de resíduos vegetais ricos em C, como aveia, milho, milheto, dentre outros, o que faz com que ocorra a imobilização temporária de N mineral pela biomassa microbiana do solo (CAIRES, 2000). Entretanto, como em todos os manejos com rotação houve a entrada de N via adubação, a relação C/N foi mantida baixa (Tabela 10).

Ao mesmo tempo, quando se realiza a comparação entre as rotações (Tabela 8), verifica-se que a relação C/N foi significativamente diferente entre as mesmas na camada de 10-20 cm. Nesta situação, a relação C/N do solo nas rotações Mi/Tr/Po/So e Mi+Br/Ur/So foi superior 57% e 134%, respectivamente, comparado com o manejo Ur/So.

A baixa relação C/N apresentada na rotação Ur/So na profundidade de 10-20 cm, pode ser uma indicação de diminuição da biomassa de alta relação C/N, tendo como consequência redução no teor de C-total (Tabela 9) e disponibilidade de N ainda suficiente para favorecer a degradação do material orgânico. O oposto pode ser observado na camada de 0-10 cm. É importante mencionar que, na média para todas as rotações, o teor de C-total foi significativamente superior até 20 cm de profundidade (Tabela 9), sendo a disponibilidade de N o fator chave nos valores da relação C/N entre as camadas de solo. Para Mello et al. (1983) há tendência de decréscimo na relação C/N no perfil de solo com aumento da profundidade, sendo que de acordo com as características do solo, pode ser mais ou menos acentuada (COSTA, 2004). Em estudo realizado por Albuquerque (2012) em Latossolo Vermelho distrófico, sob rotação de culturas e plantio direto, foram encontrados valores médios da relação C/N de 12,8 na camada de 0-5 cm e 20,8 na camada de 80-100 cm do solo.

As gramíneas apresentam relação C/N alta, o que lhes confere maior tempo de permanência sob a superfície, podendo favorecer a imobilização microbiana de N do solo durante a decomposição dos resíduos, quando são utilizadas como plantas de cobertura hibernais, em sucessão a culturas comerciais (SILVA, 2006; KRAMBERGER et al., 2009). No caso deste experimento (Tabela 8) a imobilização pode não ter sido maior, pois houve a realização da adubação nitrogenada e baixo acúmulo de biomassa vegetal. Além disso, também possuem sistema radicular volumoso, possibilitando estruturar o solo e aumentar o aporte de

C (BAYER et al., 2003). Essas espécies, quando cultivadas em consórcio, podem proporcionar benefícios aos sistemas de produção, pois apresentam características intrínsecas que resultam na exploração de camadas distintas de solo, na ciclagem de nutrientes (CHERR; SCHOLBERG; MCSORLEY, 2006) e na produção de resíduo vegetal com relação C/N intermediária.

No momento, a adubação nitrogenada não interferiu significativamente na relação C/N do solo, mas em manejos sucessivos os resultados tendem a aparecer. Esta adubação, no manejo da cultura do milho, por exemplo, pode favorecer a estabilização da matéria orgânica do solo com o acúmulo tanto de C como de N (LOVATO et al., 2004, DIEKOW et al., 2005) em decorrência da presença de um material com elevada relação C/N (MARQUEZ et al., 2000). Segundo Moreira e Siqueira (2002), o tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores que determinam a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo, influenciando a heterogeneidade da microbiota e a taxa de decomposição.

5.1.2 Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas folhas da soja

Não houve diferença estatística nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foliares entre a rotação de culturas e as doses de N aplicadas (Tabela 11).

Tabela 11. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos manejos de rotação e nas doses de N aplicadas. Presidente Prudente, 2014.

FV	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Blocos	1,5 ^{ns}	5,9 [*]
Rotações (A)	0,1 ^{ns}	2,7 ^{ns}
Doses de N (B)	0,5 ^{ns}	0,7 ^{ns}
A x B	2,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \Rightarrow p < 05$); ns não significativo ($p \leq 05$)

Embora não tenha sido observada diferença nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas folhas da soja entre os manejos de rotação e as doses de N, é evidente a predominância do N-NH_4^+ em detrimento do N-NO_3^- (Tabela 12). Apesar deste destaque do N-NH_4^+ , estes valores estão abaixo da faixa considerada adequada ($40\text{-}54 \text{ g kg}^{-1}$) para a cultura da soja (AMBROSANO et al., 1996). Os períodos de déficits hídricos ocorridos na área experimental (Figura 3) durante o desenvolvimento da

cultura, também pode ter prejudicado a absorção do N amoniacal. Luca e Hungria (2012), também encontraram valores médios de 37 g kg^{-1} , de N-NH_4^+ nas folhas das plantas de soja, mas em plantas que não apresentaram inoculação e tampouco receberam adubação nitrogenada.

O N de compostos orgânicos no solo encontra-se, em grande parte, em formas praticamente indisponíveis às plantas. A fração orgânica, de 0,1 a 50% do N total do solo, está sujeita à ação microbiana (BARBER, 1995) e é, constantemente, convertida em fração mineral (NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-) pelo processo de mineralização.

Após a mineralização, os íons NH_4^+ e NO_3^- são as formas predominantes de N mineral disponíveis às plantas, e a concentração desses íons ao longo do perfil do solo é muito variável. Nas camadas superficiais de alguns solos, aproximadamente 5% do N total está sob a forma de NH_4^+ , e em camadas sub superficiais a quantidade de N amoniacal pode atingir valores de até 50% do total de N (WALSH; MURDOCK, 1960; KEENEY; BREMNER, 1964).

Tabela 12. Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas folhas da soja em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	N-NH_4^+	N-NO_3^-
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Mi/Tr/Po/So	37,8 a	1,2 a
Mi+Ur/Ur/So	37,6 a	1,0 a
Ur/So	36,9 a	1,8 a
Doses(kg ha ⁻¹)**		
50	37,1 a	2,1 a
100	37,4 a	1,4 a
150	38,8 a	1,3 a
200	36,6 a	1,5 a

C.V(%) para amônio *= 16,29 e **=13,16, para nitrato *=76,33 e **=98,06; dms para amônio *=6,61 e **=5,49, para nitrato *=1,32 e **=1,74; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A presença marcante do N-NH_4^+ reflete exatamente a predominância deste elemento no solo (Tabelas 5 e 6) e, o N absorvido na forma altamente oxidada (NO_3^-) encontra-se na forma reduzida ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) nos compostos orgânicos celulares representados, por exemplo, pelos aminoácidos componentes da cadeia protéica (MALAVOLTA, 2006). Normalmente, quando há falta de condições para síntese protéica ocorre acúmulo de N-NO_3^- e de aminoácidos livres no tecido foliar (MARCUS, 1976), o que não aconteceu como mostram os dados apresentados na Tabela 12.

5.1.3 Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos grãos da soja

As rotações de culturas e as doses de N aplicadas no solo não influenciaram significativamente nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos grãos de soja (Tabela 13).

Tabela 13. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2014.

FV	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Blocos	2,0 ^{ns}	2,0 ^{ns}
Rotações (A)	0,5 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Doses de N (B)	0,1 ^{ns}	2,8 ^{ns}
A x B	1,7 ^{ns}	1,4 ^{ns}

ns não significativo ($p \leq 0,05$)

Nos grãos da soja também é possível verificar a predominância absoluta do N-NH_4^+ em relação à forma nítrica (Tabela 14). A distribuição de N na planta ocorre do órgão de absorção (fonte) para as regiões dreno da mesma forma ou diferente da absorvida. Neste, é evidenciado claramente que o N foi deslocado às sementes na forma amoniacal ou estava presente em compostos na mesma forma.

Tabela 14. Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos grãos da soja, em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	N-NH_4^+	N-NO_3^-
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Mi/Tr/Po/So	65,5 a	0,9 a
Mi+Ur/Ur/So	65,0 a	0,9 a
Ur/So	66,8 a	0,8 a
Doses (kg ha ⁻¹)**		
50	66,1 a	1,0 a
100	65,5 a	1,2 a
150	65,9 a	0,6 a
200	65,7 a	0,7 a

C.V.(%) Amônio *=7,85, **=3,90, Nitrato *=65,02, **=67,36; dms Amônio *=5,60, **=2,86, Nitrato *=0,65, **=0,69; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

5.1.4 Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- na palhada remanescente do solo

As rotações de culturas e as doses de N aplicadas também não influenciaram significativamente nos teores de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- na biomassa seca depositada na superfície do solo, coletadas antes e após a colheita da soja (residual), exceto para o teor de N-NH_4^+ da palhada residual para os diferentes manejos de rotações de culturas. (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH_4^+ e N-NO_3^- , nas palhadas coletadas antes e após a colheita da soja (residual), em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.

FV	Palhada na Soja		Palhada Residual	
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Blocos	0,3 ^{ns}	2,2 ^{ns}	3,1 ^{ns}	1,3 ^{ns}
Rotações (A)	2,3 ^{ns}	0,05 ^{ns}	14,1 ^{**}	0,1 ^{ns}
Doses de N (B)	0,7 ^{ns}	1,3 ^{ns}	2,7 ^{ns}	2,1 ^{ns}
AxB	1,5 ^{ns}	1,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,6 ^{ns}

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$); ns= não significativo ($p \leq 05$)

Houve diferença estatística para os valores de N-NH_4^+ da palhada residual antes da colheita da soja entre as rotações manejadas (Tabela 16). O maior teor de N-NH_4^+ da palhada foi obtido no manejo Mi/Tr/Po/So, provavelmente, em virtude da presença de resíduos do Tr(tremoço) na sucessão, espécie leguminosa com capacidade de fixação de N atmosférico. O NH_4^+ absorvido via sistema radicular e aquele produzido na simbiose foi acumulado significativamente no tecido vegetal do Tr que integrou a composição da palhada remanescente em comparação com os demais manejos.

Tabela 16. Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- quantificadas nas palhadas coletadas antes e após a colheita da soja (residual), em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	Palhada no cultivo de Soja		Palhada Residual	
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-NH_4^+	N-NO_3^-
----- (g kg ⁻¹) -----				
Mi/Tr/Po/So	17,89 a	0,95 a	15,5 a	0,3 a
Mi+Ur/Ur/So	15,22 a	1,00 a	11,4 b	0,3 a
Ur/So	15,24 a	0,94 a	12,2 b	0,4 a
Doses N (kg ha⁻¹)**				
50	17,60 a	0,87 a	12,7 a	0,4 a
100	15,58 a	0,81 a	15,1 a	0,3 a
150	15,81 a	1,30 a	12,3 a	0,2 a
200	15,47 a	0,88 a	12,1 a	0,3 a

C.V(%) P.S amônio *=24,78, **=24,48; nitrato *=65,91, **=69,94; P.R amônio *=17,66, **=22,21, nitrato *=100,51, **=56,14; dms P.S amônio *=4,33,**=4,40; nitrato *=0,69, **=0,75; P.R amônio *=2,50, **=3,23, nitrato *=0,34, **=0,19; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O N disponível na palhada retorna ao solo depois de sua decomposição, sendo utilizado pela cultura sucessora. A rotação que contou com a presença de duas leguminosas (Tremçoço e Soja) apresentou maiores teores de N-NH_4^+ , devido à sua fixação biológica associada às doses de N que foram aplicadas no sistema de produção anteriormente. O efeito residual do N fixado na cultura da soja e em seus restos culturais pode apresentar uma condição que permita a substituição parcial ou total da adubação nitrogenada na cultura seguinte, garantindo a otimização da produtividade e redução parcial dos custos de produção (MASCARENHAS et al., 2011).

De acordo com Costa Junior et al. (2012) a quantidade de N que retorna ao solo na forma de resíduos de plantas constitui considerável porção do N total absorvido pelas plantas em sucessão, mesmo em culturas que não sejam fixadoras de N como a soja, comparada à pequena parte que é liberada pelas raízes e lavada das folhas pela chuva.

5.1.5 Produtividade de grãos da cultura soja

Não houve significância para os valores de produtividade nas rotações de culturas e as doses de N aplicadas ao solo (Tabela 17).

Tabela 17. Resultados do teste F, calculados para o parâmetro produtividade da cultura da soja em função das rotações de culturas e das doses de N. Presidente Prudente, 2014.

FV	F
Blocos	0,01 **
Rotação (A)	0,9 ^{ns}
Doses de N (B)	1,2 ^{ns}
A x B	0,9 ^{ns}

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$); ns não significativo ($p \leq 05$)

A produtividade de grãos da cultura da soja não foi influenciada pelos manejos de rotação de culturas tampouco pelo fornecimento das doses de N (Tabela 18), mas está próximo à média de 3.000 kg ha⁻¹ registrada para solos arenosos (CONAB, 2014).

Tabela 18. Média dos valores da produtividade da soja, em função das rotações de cultura e doses de N. Presidente Prudente, 2014.

Rotações *	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Mi/Tr/Po/So	3.625,6 a
Mi+Ur/Ur/So	3.508,6 a
Ur/So	3.840,1 a
Doses de N (kg ha ⁻¹)**	
50	3.643,4 a
100	3.478,5 a
150	3.650,3 a
200	3.860,3 a

CV% *=18,9; **=13,6; dms: *=748,8; **=555,3; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Embora não sendo observada significância para as rotações de culturas, o manejo cultural com *Urochloa brizantha*, apresentou tendência de proporcionar maior produtividade, devido à melhor proteção do solo oferecida pela fitomassa gerada. Franchini et al. (2011) comprovaram que a utilização de *Urochloa* tanto em cultivo solteiro quanto em consórcio com milho safrinha, aumentou a produtividade da soja, principalmente nos períodos de seca. Avaliando duas safras 2007/2008 e 2008/2009, em Londrina (PR), com seqüência de diferentes culturas de inverno, como *Urochloa brizantha*, *Urochloa ruziziensis*, milho safrinha e trigo, obtiveram resultados maiores para a produtividade da soja quando se tinha a *Urochloa* no sistema de produção, apresentando cerca de 300 kg ha⁻¹ a mais quando comparada com o milho safrinha e o trigo.

A produtividade não teve declínio acentuado, mesmo com os períodos de déficits hídricos ocorridos durante o desenvolvimento da cultura (Tabela 18). Segundo a Conab (2014), a produção da soja na Brasil na safra 2014/2015 teve aumento de 9,8%, o que elevou a produção para 94,5 milhões de toneladas, considerando um recorde. Esse fato ocorreu mesmo com o déficit hídrico ocorrido na região Centro-Oeste, maior produtora de soja no País. As perdas quantificadas, no entanto, foram amenizadas por melhores condições em outros locais.

5.1.6 Teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ nas folhas de *Urochloa brizantha*

O manejo de rotação de culturas influenciaram significativamente nos teores de N-NO₃⁻ nas folhas de *Urochloa brizantha*. Para os teores de N-NH₄⁺ foliar não houve significância entre as rotações de culturas, tão pouco para as doses de N aplicadas ao solo (Tabelas 19 e 20).

Tabela 19. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2014.

FV	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Blocos	1,1 ^{ns}	1,6 ^{ns}
Rotações (A)	6,5 ^{ns}	48,7 ^{**}
Doses de N (B)	2,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}
A x B	0,4 ^{ns}	3,0 ^{ns}

ns não significativo ($p \leq 0,05$); ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

Embora não tenha ocorrido diferença significativa para os teores de N-NH_4^+ , houve tendência de aumento do teor do mesmo nas folhas da *Urochloa brizantha* do manejo da sucessão apresenta Ur/So (Tabela 20).

Tabela 20. Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas folhas de *Urochloa brizantha*, em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2014.

Rotações*	N-NH_4^+	N-NO_3^-
	(g kg^{-1})	(g kg^{-1})
Mi+Ur/Ur/So	10,3 a	0,2 b
Ur/So	13,2 a	0,4 a
Doses (kg ha^{-1})**		
50	10,7 a	0,3 a
100	10,9 a	0,3 a
150	12,7 a	0,3 a
200	12,6 a	0,3 a

C.V.(%) amônio *=27,22, **=15,91, nitrato *=22,22, **=43,67; dms amônio *=3,60, **=2,64, nitrato *=0,07, **=0,19; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

5.2 Experimento: Safra 2015/2016

5.2.1 Quantificação de N-NH₃, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ no solo

O manejo com as rotações de culturas proporcionou efeitos significativos na volatilização da N-NH₃ e no teor do N-total do solo. Já as doses de N não influenciaram significativamente nos teores de NH₃ volatilizada, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, com exceção do N-total (Tabela 21).

Tabela 21. Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos N-NH₃, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-total e N-mic do solo nos manejos de rotação e nas profundidades cm avaliados. Presidente Prudente, 2015.

FV	N-NH ₃	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-total	N-mic
Blocos	0,3 ^{ns}	7,3 *	1,1 ^{ns}	5,1 *	7,1*
Rotações (A)	13,8 **	0,3 ^{ns}	0,2 ^{ns}	36,1 **	27,1**
Doses de N (B)	1,2 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}	9,3 **	5,5**
A x B	1,6 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,8 ^{ns}	12,9 **	19,7**
Profundidades (C)	-----	0,6 ^{ns}	0,3 ^{ns}	142,7**	11,7**
Épocas Coleta (D)	1,9 ^{ns}	-----	-----	-----	-----
A x C	-----	1,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}	9,6 **	12,9**
A x D	1,1 ^{ns}	-----	-----	-----	-----
B x C	-----	1,4 ^{ns}	1,0 ^{ns}	8,3 **	8,8**
B x D	2,1 **	-----	-----	-----	-----
A x B x C	-----	0,7 ^{ns}	2,3 **	7,0 **	4,3**
A x B x D	2,3 **	-----	-----	-----	-----

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$);* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < 05$);ns não significativo ($p \leq 05$)

A volatilização de N ocorreu com maior intensidade no período chuvoso, destacando que houve significância para os teores de N-NH₃ volatilizada nas épocas de coleta em todas as rotações de culturas e doses de N (Tabela 22).

Tabela 22. Concentração de N-NH₃, kg ha⁻¹, nos manejos de rotação de culturas em função da interação entre as doses de N, kg ha⁻¹ e épocas de coleta. Presidente Prudente, 2015.

Rot.*	Doses**	Dias de Coleta (dias)***								
		1	4	8	12	19	27	35	43	Total
Mi/T/Po/So	50	3,6AB	3,2 AB	3,6 AB	4,8 AB	4,7 AB	5,5 A	5,2 A	2,4 B	33,0
	100	4,3 AB	2,9 ABC	4,7 A	3,9 ABC	1,6 C	1,8 C	1,9 BC	3,1 ABC	24,2
	150	2,2 B	2,3 B	3,1 AB	2,9 AB	5,1 A	4,1 AB	3,3 AB	4,3 AB	27,3
	200	3,8 AB	4,5 A	1,7 B	2,9 AB	2,0 AB	4,4 A	2,5 AB	2,5 AB	24,3
Mi+Uro/ Uro/So	50	2,8	3,5	2,5	2,9	2,9 A	1,5 A	2,4 A	1,1 A	19,6
	100	2,7 A	2,7 A	2,9 A	1,1 A	2,4 A	2,7 A	2,1 A	2,1 A	18,7
	150	5,6 A	3,1 A	2,7 A	3,2 A	2,9 A	2,5 A	2,0 A	2,1 A	24,1
	200	2,3 AB	3,3 AB	3,6 A	3,2 AB	1,5 AB	1,6 AB	2,2 AB	0,8 B	18,5
Uro/So	50	0,7 A	1,5 A	1,6 A	2,4 A	2,6 A	1,4 A	1,4 A	1,6 A	13,2
	100	3,5 A	1,5 A	3,3 A	2,8 A	3,4 A	2,9 A	3,3 A	2,5 A	23,2
	150	2,8 AB	3,8 A	3,0 AB	1,6 AB	1,4 AB	1,6 AB	1,1 B	1,6 AB	16,9
	200	1,5 A	1,0 A	1,3 A	2,0 A	0,5 A	1,3 A	1,3 A	1,6 A	10,5

C.V(%): *=83,52; **=89,67; ***=44,78; dms para linhas=2,57; As médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Nesta segunda época de experimentação, a coleta de solo foi realizada em período chuvoso, o que pode ter interferido nos altos teores de volatilização da N-NH₃ nessa época (Tabela 22).

Houve maior índice de volatilização nos primeiros dias de coleta ocorrendo um decréscimo posteriormente (Tabela 22). Durante esse período de coletas, o índice pluviométrico melhorou e, com o aumento de umidade no solo, houve favorecimento da diminuição da taxa de volatilização da N-NH₃. Segundo Bouwmeester, Vlek e Stumpe (1985), uma chuva de 40 mm é suficiente para reduzir as perdas de N por volatilização em 30%, pois chuvas intensas apresentam potencial para transportar o N no perfil do solo, reduzindo as perdas por volatilização e aumentando a adsorção do N amoniacal no solo.

No contexto de um sistema de plantio direto, a degradação gradual da palhada residual das culturas agrícolas auxilia no aumento da taxa de volatilização de N-NH_3 , uma vez que é um elemento comum na natureza e está presente nos microrganismos, nas plantas e nos animais.

As rotações de culturas, as doses de N utilizadas e as profundidades não influenciaram significativamente os teores de N-NH_4^+ . Após todas as adubações de cobertura os teores de N se elevaram em todo o perfil do solo, indicando considerável lixiviação (Tabela 23).

Tabela 23. Concentração de N-NH_4^+ no solo em função da rotação de culturas, das doses de N, e das profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2015.

Rotações*	N-NH ₄ ⁺
	(mg kg ⁻¹)
Mi/Tr/Po/So	103,2 a
Mi+Ur/Ur/S	101,8 a
Ur/S	96,4 a
Doses de N (kg ha ⁻¹)**	
50	102,9 a
100	103,4 a
150	95,1 a
200	100,5 a
Profundidades (cm)***	
0 - 5	98,1 a
5 - 10	103,2 a
10 - 20	102,2 a
20 - 40	95,4a
40 - 60	103,5 a

C.V (%) *=55,25, **=40,42 e ***=29,82; dms *=26,94, **=20,28 e ***=16,91; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As profundidades de solo não influenciaram significativamente nos teores de N-NH_4^+ , porém encontra-se N em todo o perfil do solo, tendo assim a lixiviação. Segundo Ernani (2008) a lixiviação é o processo mais importante que

ocorre com o N em áreas com alta precipitação pluviométrica, principalmente nos solos de países de clima tropical e subtropical.

Embora as doses de N não tenham apresentado diferenças significativas nessa época, observa-se que as menores doses (50 e 100 kg ha⁻¹) apresentaram maiores teores de N-NH₄⁺ ao se for comparar com a primeira época de coleta (Tabela 23).

Os fatores rotação de culturas, doses de N aplicadas e profundidade não influenciaram significativamente nos teores de N-NO₃⁻ (Tabela 21). Porém houve uma interação entre os fatores para os teores de NO₃⁻ (Tabela 24).

Tabela 24. Teores de N-NO₃⁻ no solo em função da interação entre as rotações de culturas, doses de N e as profundidades amostradas. Presidente Prudente, 2015.

Rotações*	Doses N** (kg ha ⁻¹)	Profundidades (cm)***				
		0-5	5-10	10-20	20-40	40-60
		----- (mg kg ⁻¹) -----				
Mi/Tr/Po/So	50	74,6 A	80,7 A	76,9 A	57,3 A	62,8 A
	100	62,1 AB	45,7 B	88,1 AB	101,1 A	62,9 AB
	150	59,7 B	66,6 AB	107,8 A	55,6 B	77,5 AB
	200	94,2 A	68,3 A	51,1 A	64,4 A	77,2 A
Mi+Ur/Ur/So	50	75,1 A	84,2 A	56,4 A	51,4 A	89,3 A
	100	72,2 A	70,1 A	56,3 A	59,8 A	65,2 A
	150	85,1 A	71,2 A	63,6 A	63,7 A	60,2 A
	200	66,3 A	52,4 A	58,0 A	68,9 A	48,0 A
Ur/So	50	56,2 A	54,6 A	49,6 A	89,6 A	46,6 A
	100	47,4 AB	88,7 A	59,1 AB	42,6 B	53,8 AB
	150	54,7 A	58,8 A	74,8 A	72,9 A	51,5 A
	200	78,9 A	63,7 A	82,9 A	65,2 A	81,7 A

C.V (%) para *=106,37, **=46,43 e ***=34,14; dms para linhas= 44,79. As médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

No segundo ano de experimentação agrícola, a situação permanece a mesma quando avaliado N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻. Em ambas as coletas de solo foram encontrados maiores teores de N-NH₄⁺ comparado com os de N-NO₃⁻. Porém, no segundo ano houve um aumento nos teores de N-NO₃⁻, o que pode indicar que o processo de nitrificação ocorreu com maior frequência (Tabela 24). Um dos fatores

que indica esse aumento do processo de nitrificação é a umidade, visto que a segunda coleta foi realizada em período chuvoso. Outro fator considerado por Wiersum (1962) e Addiscott, Thomas e Janjua (1983), é que em condições de maior permanência da água da chuva ou da irrigação, o N adicionado ao solo pode difundir-se para o interior dos agregados maiores, circunstâncias em que, apesar das restrições na absorção do nutriente pela planta e do aumento do processo de desnitrificação, a lixiviação do N na forma de N-NO_3^- pode ser bastante reduzido.

Entretanto, os teores de N-NO_3^- no perfil do solo, susceptíveis à perdas, são muito variáveis: dependem da quantidade de N adicionado, do tipo de adubo, da taxa de mineralização de N nativo, da remoção pelas colheitas, do tipo de cultura e do volume de água percolada. (ARNUIT, 2014). Esses fatores são influenciados pelas características do solo (CTC, pH, textura, estrutura, M.O, relação C/N) e pelas condições meteorológicas (precipitação) (REICHARDT; TIMM, 2012).

O N-NO_3^- ainda teve fácil deslocamento no perfil do solo (Tabela 22), mesmo no sistema de plantio direto, podendo-se notar que o aumento do teor de matéria orgânica em solo arenoso ainda não foi o suficiente para inibir as perdas de N no solo. Para Sainz Rozas et al. (2000) o fertilizante que se difunde entre os agregados, nos microporos estaria mais protegido de subseqüentes lixiviações, principalmente, em solos argilosos. Em solos arenosos, que não apresentam fluxo preferencial, a lixiviação de N-NO_3^- pode ocorrer de forma uniforme através do perfil do solo.

Nas condições em que haja inibição da nitrificação e, ou, o N-NO_3^- esteja em processo de intensa lixiviação, ao contrário do N-NH_4^+ que é retido com mais facilidade pelas partículas do solo, é possível constatar ambas as formas presentes na solução do solo (HUBER et al., 1977; GASSER, 1961; FREDEEN; FIELD, 1992).

As rotações de cultura, as doses de N aplicadas e as profundidades influenciaram significativamente nos teores de N-total na segunda coleta de solo. Os maiores teores de N-total ainda permanecem na camada até 5 cm, tendo uma diminuição gradativa até 60 cm (Tabela 25).

Tabela 25. Teores de N-total em função da interação entre as rotações, doses de N e profundidade. Presidente Prudente, 2015.

Rotações*	Doses	Profundidades (cm)**				
	N** (kg ha ⁻¹)	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60
		----- (mg kg ⁻¹) -----				
Mi/Tr/Po/ So	50	527,3 A	354,7 B	373,3 B	200,2 C	153,5 C
	100	336,4 A	188,2 B	188,2 B	286,3 AB	171,6 B
	150	550,7 A	231,8 B	197,7 B	202,4 B	266,2 B
	200	416,6 A	322,1 A	372,9 A	141,1 B	177,8 B
Mi+Ur/Ur/ So	50	303,8 ABC	389,8 AB	220,4 C	255,7 BC	407,7 A
	100	414,5 A	386,4 A	418,5 A	203,2 B	186,6 B
	150	526,5 A	271,5 B	322,9 B	292,1 B	230,9 B
	200	853,2 A	532,2 B	293,8 CD	244,5 D	425,6 BC
Ur/So	50	474,1 A	309,6 B	234,6 B	304,4 B	272,3 B
	100	730,4 A	406,7 B	383,5 B	477,3 B	383,2 B
	150	722,0 A	322,1 B	247,1 B	238,4 B	194,7 B
	200	826,6 A	248,4 B	317,4 B	338,3 B	315,9 B

C.V (%) para *=23,41, **=23,80 e ***=20,70; dms para linhas= 138,80. As médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Neste segundo ano de pesquisa o teor de N-total do solo foi significativamente influenciado pelas doses de N aplicadas, uma vez que ocorreu aumento gradativo do teor de N conforme o aumento das doses aplicadas (Tabela 25). Entretanto, o fator mais marcante foi a redução significativa do N-total em profundidade, em todos os sistemas de manejo de culturas. Sousa e Melo (2000) também concluíram que em plantio direto a maior parte do N-total é encontrada na camada 0-5 cm, já que encontraram 13,17 g kg⁻¹ de N-total na camada de 0-5 cm e 0,72 g kg⁻¹ na camada de 10-20 cm. A magnitude destes dados contrasta com aqueles mostrados na Tabela 23, os quais são bem menores. É importante destacar que, neste último caso, os dados referem-se a um solo arenoso e com baixo teor de matéria orgânica.

Os maiores teores observados nos primeiros 10 cm do solo estão relacionados com os teores de matéria orgânica, que são superiores na camada superficial devido ao não revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos de culturas anteriores (palhada) nesse sistema. Nunes et al. (2011) salientam que o

cultivo de gramíneas contribui para o acúmulo de N na camada superior do solo, devido ao seu crescimento radicular intenso que absorve nutrientes das camadas inferiores, os depositam em seu tecido, que posteriormente são ciclados nas camadas superficiais.

Na tabela 25 pode-se atentar para a tendência de se encontrar maiores teores de N-total do solo nos manejos de culturas que apresentaram a *Urochloa* no cultivo, uma vez que a mesma propicia a deposição de resíduos culturais de maior relação C/N, o que acarreta uma degradação mais lenta e favorece o acúmulo de N-total no solo.

Os manejos de rotação, as doses de N e as profundidades influenciaram significativamente nos teores de N-mic do solo (Tabela 26).

Tabela 26. Teor de N-total e N-mic no em função solo nas rotações de culturas, doses de N e profundidades avaliadas. Presidente Prudente, 2015.

Rotações*	N-total	N-mic	N-mic/N-total
	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)
Mi/Tr/Po/So	282,9 b	0,4 b	0,14
Mi+Ur/Ur/So	359,0 a	0,4 b	0,11
Ur/So	387,4 a	0,5 a	0,13
Doses de N (kg ha ⁻¹)**			
50	318,8 b	0,4 b	0,13
100	344,1 b	0,4 b	0,11
150	321,2 b	0,4 b	0,12
200	388,5 a	0,5 a	0,13
Profundidades (cm)***			
0 - 5	556,9a	0,5 a	0,10
5 - 10	330,3b	0,5 a	0,12
10 - 20	297,6 bc	0,4 b	0,17
20 - 40	265,4c	0,4 b	0,15
40 - 60	265,6c	0,3 c	0,11

N-mic: C.V(%) *=16,59, **=36,18 e ***=36,94; dms *=0,04, **=0,08, ***=0,09/N-total: C.V(%) *=23,41 **=23,80 e ***=40,07; dms *=38,99, **=40,77 ***=40,07;C.V (%) *=16,59, **=36,18 e ***=36,94; dms *=0,04, **=0,08, ***=0,09 as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O manejo Mi/Tr/Po/So e Mi+Ur/Ur/So apresentaram valores estatisticamente iguais de N-mic porém menores que o Ur/So. Embora tenham ocorridos estas diferenças, ressalta-se que o baixo teor de N-mic nesta época de avaliação está relacionado à dificuldade de obtenção de N pelos microrganismos do solo. Além disso, mesmo apresentando valores baixos o teor de N-mic foi melhorado na dose de 200 kg ha⁻¹, fato que vem ocorrendo desde à primeira época de avaliação.

A baixa relação N mic/N total obtida em todos os manejos culturais e nas doses de N é um indicativo de que o aporte de N mineral pela biomassa vegetal e pela adubação mineral não foi capaz de alterar significativamente o metabolismo microbiano (Tabela 26). Além disto, merece destaque o fato de que a imobilização de N pela biomassa é temporária e, à medida em que ocorre a morte dos microrganismos, estes são mineralizados (VARGAS; SCHOLLES, 1998). Com a morte dos microrganismos, estes são rapidamente mineralizados pelos microrganismos remanescentes, liberando os nutrientes imobilizados no processo conhecido como remineralização (MARY et al., 1996). Bonde, Schnürer e Rosswall (1988) afirmam que a biomassa microbiana é uma parte variável, mas importante, do N potencialmente mineralizável no solo, e que tal processo pode suprir quantidade significativa de N para as plantas.

Apesar de todas estas considerações, houve maior imobilização de N pelos microrganismos nas camadas de 0-5 e 10-20 cm com diminuição do teor de N-mic em profundidade no perfil (Tabela 26). Sá (1993) já mencionava em suas pesquisas que o maior teor de matéria orgânica no sistema de plantio direto, devido ao não revolvimento do solo e a manutenção dos restos vegetais (palhada) favorecem a maior imobilização do N mineral pelos microrganismos na camada superficial do solo.

Perez, Ramos e McManaus (2004) verificaram um aumento de N da biomassa microbiana a partir do aumento do N-total do solo, fato que não ocorreu nesse sistema (Tabela 26), já que na segunda época obteve-se valores inversamente proporcionais, ou seja, maiores teores de N-total e menores teores de N-mic do solo.

Não houve diferença estatística para os atributos C-total, C-mic entre as rotações de culturas avaliadas. Entretanto, para as doses de N aplicadas foi observada diferença significativa para os teores de C-mic e relação C/N,

possibilitando interação entre rotação e doses de N. Quando avaliado em profundidade os parâmetros C-total, C-mic e relação C/N apresentaram diferenças significativas (Tabela 27).

Tabela 27. Resultados do teste F, calculados para os atributos químicos C-total, C-mic, e Relação C/N nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades. Presidente Prudente, 2015.

FV	C-total	C-mic	C/N
Blocos	1,5 ^{ns}	2,2 ^{ns}	4,0 ^{ns}
Rotações (A)	1,1 ^{ns}	0,04 ^{ns}	6,6 [*]
Doses (B)	3,5 [*]	0,5 ^{ns}	1,5 ^{ns}
A x B	0,1 ^{ns}	1,3 ^{ns}	6,7 ^{**}
Profundidades (C)	280,1 ^{**}	25,8 ^{**}	59,0 ^{**}
A x C	0,7 ^{ns}	2,2 [*]	4,7 ^{**}
B x C	0,5 ^{ns}	1,9 [*]	3,1 ^{**}
A x B x C	0,4 ^{ns}	0,7 ^{ns}	6,2 ^{**}

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < 05$); ns não significativo ($p \leq 05$)

As rotações de culturas e as doses de N não influenciaram significativamente nos teores de C-total e C-mic do solo, com exceção das doses de N para o C-total. Quando avaliados em profundidade os teores de C-total e C-mic apresentaram diferenças significativas, com maior acúmulo nas camadas superficiais (Tabela 28).

Embora as rotações de culturas não tenham influenciado significativamente nos teores de C-total, observa-se uma tendência de se encontrar maiores teores deste elemento na área de cultivo da *Urochloa* (Tabela 28). Segundo Loss et al. (2011) a utilização de pastagens aumenta os teores de C do solo, além de melhorar significativamente as condições de aeração e capacidade de infiltração de água. As forrageiras acumulam mais C no solo do que as culturas agrícolas, cuja fitomassa é, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (EMBRAPA, 2009).

Tabela 28. Concentração do C-total e C-mic nos manejos de rotação, doses de N e nas profundidades avaliados. Presidente Prudente, 2015.

Rotações*	C-total	C-mic	C-mic/C-total
	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)
Mi/Tr/Po/So	4,7 a	48,6 a	1,0
Mi+Ur/Ur/So	5,0 a	49,9 a	1,0
Ur/So	5,2 a	49,8 a	1,0
Doses (kg ha ⁻¹)**			
50	4,9 ab	48,9 a	1,0
100	5,4 a	51,1 a	0,9
150	4,6 b	45,5 a	1,0
200	5,1 ab	52,4 a	1,0
Profundidades (cm)***			
0 - 10	7,3 a	62,8 a	0,9
10 - 20	4,0 b	38,6 b	1,0
20 - 40	3,9 c	40,9 b	1,0
40 - 60	3,9 c	42,4 b	1,1

C.V (%) para C-total *=37,94, **=24,37 e ***=13,22, para C-mic *=65,62, **=65,18, ***=46,49; dms para C-total *=1,02, **=0,68 e ***=0,35 para C-mic *=15,75, **=16,10 e ***13,03; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os maiores teores de C-total e C-mic foram encontrados nas camadas superficiais do solo, de 0-10 cm, ocorrendo decréscimo conforme o aumento em profundidade. De maneira geral, a relação C-mic/C-total é baixa indicando que houve baixa imobilização de C pelos microrganismos do solo ou até mesmo a morte e decomposição destes no solo, que liberaria no solo a fração de C até então assimilada.

Com relação à relação C/N, houve interação entre as rotações de cultura, as doses de N aplicadas em cobertura no sistema vegetal e as profundidades avaliadas (Tabela 29).

Tabela 29. Relação C/N considerando a interação entre os manejos de rotação, as doses de N e as profundidades. Presidente Prudente, 2015.

Rotações	Doses de N (kg ha ⁻¹)	Profundidades (cm)			
		0-10	10-20	20-40	40-60
		Relação C/N			
Mi/Tr/Po/So	50	8,3 C	12,5 BC	17,8 AB	23,5 A
	100	13,4 B	27,0 A	15,0 B	27,5 A
	150	8,2 C	23,5 A	17,3 AB	14,0 BC
	200	9,1 B	13,0 B	28,0 A	23,7 A
Mi+Ur/Ur/So	50	10,9 BC	26,1 A	16,8 B	9,2 C
	100	9,8 C	14,3 BC	23,2 A	21,4 AB
	150	8,6 A	14,2 A	12,9 A	15,3 A
	200	5,2 B	16,7 A	17,2 A	9,2 B
Ur/So	50	9,6 B	20,7 A	12,5 B	13,6 AB
	100	6,7 A	13,4 A	9,6 A	12,9 A
	150	7,0 B	19,4 A	16,2 A	19,3 A
	200	7,5 B	16,9 A	13,2 AB	15,1 A

C.V (%) para *=45,27, **=26,96 e ***=25,85; dms para linhas= 7,25. As médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando-se os dados obtidos da primeira e da segunda época, observa-se que as doses de N não influenciaram na relação C/N na primeira época, proporcionando, porém resultados significativos na segunda época. Entende-se que a adubação foi suficiente para manter o aporte de N para a degradação da biomassa vegetal depositada na superfície do solo pelos microrganismos, além do desenvolvimento das culturas, evitando, assim, a imobilização excessiva do nutriente pela biomassa microbiana.

Segundo Cantarella et al. (2007), valores de relação C/N entre 12 e 25 favorecem a mineralização e quocientes maiores que 50 favorecem a imobilização, enquanto o equilíbrio entre os dois processos seria atingido entre valores de relação C/N 25 e 30. Neste âmbito, espécies gramíneas como o milho (*Zea mays*) e a braquiária (*Urochloa* spp.) têm sido as mais indicadas para manutenção do plantio direto na palha, devido à eficiência na liberação de nutrientes e por possuírem maior persistência sobre a superfície do solo (CALONEGO et al., 2012), viabilizando o plantio direto na palha mesmo em regiões tropicais, onde as condições vigentes de alta umidade e temperatura tornam a taxa de decomposição dos resíduos vegetais elevada (BUTENSCHOEN; SCHEU; EISENHAUER, 2011).

5.2.2 Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas folhas da cultura do milho

Não houve diferença estatística nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foliares entre a rotação de culturas e as doses de N estudadas (Tabelas 30 e 31).

Tabela 30. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH_4^+ e N-NO_3^- , nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2015.

FV	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Blocos	4,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}
Rotações (A)	0,2 ^{ns}	0,4 ^{ns}
Doses de N (B)	2,5 ^{ns}	2,8 ^{ns}
A x B	0,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}

ns: não significativo ($p \leq 0,05$)

Embora não tenha ocorrido diferença significativa para os fatores estudados, observa-se tendência de aumento gradativo nos teores de N-NH_4^+ conforme o aumento das doses de N. Borghi et al. (2011) salientaram que em cultivo consorciado de milho e *Urochloa* as doses de N devem ser superiores a 60 kg ha^{-1} . E mesmo utilizando-se de doses maiores que a indicada por estes pesquisadores, não houve aumento do teor das formas de N nas folhas da cultura do milho.

Tabela 31. Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas folhas do milho em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015.

Rotações*	N-NH_4^+	N-NO_3^-
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Mi/Tr/Po/So	16,9 a	0,6 a
Mi+Ur/Ur/So	17,1 a	0,4 a
Doses (kg ha ⁻¹)**		
50	15,4 a	0,7 a
100	16,6 a	0,4 a
150	17,2 a	0,3 a
200	18,7 a	0,7 a

C.V(%) para amônio *= 11,29 e **=14,60, para nitrato *=111,60 e **=79,49; dms para amônio *=2,16 e **=3,51, para nitrato *=0,66 e **=0,59; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo Raij et al. (1997) os teores de N em folhas de milho devem permanecer entre 27 a 35 g kg⁻¹, teores acima dos encontrados na Tabela 31, que ficaram entre de 16 a 20 g kg⁻¹. As condições climáticas durante o cultivo, o material genético e o manejo do solo podem ter influenciado diretamente nos resultados.

5.2.3 Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos grãos de milho

As rotações de culturas e as doses de N não apresentaram significância para os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos grãos do milho, porém, pode-se observar que os grãos apresentam maior se teor de N-NH_4^+ comparado com o teor de N-NO_3^- (Tabelas 32 e 33).

Tabela 32. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2015.

FV	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
Blocos	1,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}
Rotações (A)	6,8 ^{ns}	6,2 ^{ns}
Doses de N (B)	1,6 ^{ns}	1,8 ^{ns}
A x B	0,7 ^{ns}	0,7 ^{ns}

ns:não significativo(p <= 05)

O fato de se encontrar maiores teores de N-NH₄⁺ nos grãos comparados com os teores de N-NO₃⁻ está relacionado com os teores encontrados no solo, visto que também foi encontrado maior teor de N-NH₄⁺ no solo.

Tabela 33. Teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ nos grãos do milho, em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015.

Rotações*	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Mi/Tr/Po/So	11,7 a	0,3 a
Mi+Ur/Ur/So	10,8 a	0,6 a
Doses (kg ha ⁻¹)**		
50	11,1 a	0,6 a
100	10,6 a	0,4 a
150	11,4 a	0,4 a
200	12,0 a	0,4 a

C.V(%) amônio *=9,09, **=11,95; nitrato *=83,13, **=48,18; dms amônio *=1,15,**=1,91; nitrato *=0,43, **=0,31; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os íons N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ absorvidos pela planta, dependem das quantidades relativas de cada uma das formas no solo, da acessibilidade pelas raízes às mesmas e da preferência da planta ou genótipo (ENGELS; MARSCHNER, 1995). Além disso, em condições climáticas favoráveis para altos rendimentos o milho utiliza quantidades de nitrogênio superiores a 150 kg ha⁻¹, sendo necessária

suplementação mineral com fontes de adubação nitrogenada (AMADO; MELNICZUK; AITA, 2002; SCALCO, 2002).

Duete et al. (2009) em seu trabalho também não encontraram diferença significativa para o teor de N nos grãos de milho em função do N no solo. Tal fato sugere que as fontes nitrogenadas exercem influência similar sobre a mineralização do N orgânico do solo e sobre a absorção do N que foi mineralizado, visto que nesses processos, geralmente, há influência de diversos fatores, sendo um dos principais o pH do solo, em que, por sua vez, é influenciado pela fonte nitrogenada.

5.2.4 Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas folhas de *Urochloa brizantha*

As rotações de culturas e as doses de N influenciaram significativamente nos teores de N-NH_4^+ nas folhas de *Urochloa brizantha*, assim como as doses de N influenciaram nos teores de N-NO_3^- (Tabelas 34 e 35).

Tabela 34. Resultados do teste F, calculados para os parâmetros N-NH_4^+ e N-NO_3^- nos manejos de rotação e nas doses de N avaliados. Presidente Prudente, 2015.

FV	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Blocos	1,3 ^{ns}	0,8 ^{ns}
Rotações (A)	44,7 ^{**}	4,4 ^{ns}
Doses de N (B)	92,5 ^{**}	17,9 ^{**}
A x B	79,8 ^{**}	18,2 ^{**}

ns não significativo ($p \leq 0,05$); ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Os teores de N encontrados nas folhas de *Urochloa brizantha* ficaram distantes dos encontrados por Cesar et al. (2006), que encontrou, com uma adubação de 200 kg ha^{-1} , $19,8 \text{ g kg}^{-1}$ de N nas folhas de *Urochloa brizantha*. Houve redução significativa de N-NH_4^+ nas folhas da *Urochloa brizantha* com a adubação parcelada de 200 kg ha^{-1} de N.

Tabela 35. Teor de N-NH_4^+ nas folhas de *Urochloa brizantha* em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015.

Rotação *	Doses de N (kg ha^{-1})**			
	50	100	150	200
	N-NH_4^+ (g kg^{-1})			
Mi+Ur/Ur/So	15,5 aA	15,7 aB	15,7 aB	12,3 aB
Ur/So	13,2 bA	13,4 aA	11,8 aA	11,3 aA

C.V(%) *=24,11, **=13,64; dms para colunas =4,62, para linhas =4,74; letras minúsculas =colunas e letras maiúsculas =linhas; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Houve interação significativa entre as rotações de culturas e as doses de N aplicadas para os teores encontrados de N-NO_3^- nas folhas de *Urochloa brizantha* (Tabela 36).

Os teores de N-NH_4^+ foram superiores os de N-NO_3^- , já que o processo de nitrificação foi comprometido no solo, afetando também os índices de N nas folhas (Tabelas 35 e 36).

Tabela 36. Teor de N-NO_3^- nas folhas de *Urochloa brizantha* em função das rotações de culturas e doses de N. Presidente Prudente, 2015.

Rotação*	Doses de N (kg ha^{-1})**			
	50	100	150	200
	N-NO_3^- (g kg^{-1})			
Mi+Ur/Ur/So	0,05 bC	1,12 aA	1,19 aA	0,51 aB
Ur/So	0,74 aAB	1,00 aA	0,32 bB	0,34 aB

C.V(%) *=23,64, **=31,72; dms para colunas =0,29, para linhas =0,42; letras minúsculas =colunas e letras maiúsculas =linhas; as médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Costa et al. (2008) também encontraram teores de N-NH_4^+ superiores aos de N-NO_3^- no tecido da planta do capim cv. Marandú. Eles entendem que houve redução no processo de nitrificação do N-NH_4^+ no solo, diante da diminuição do pH em razão de altas doses de N em fontes acidificantes (sulfato de amônio e uréia), inibindo, assim o processo de nitrificação (COSTA et al., 2008). Bissani et al. (2004)

explicam que em pH baixo a nitrificação é afetada devido à especialização das bactérias nitrificadoras, que exigem pH mais elevado.

Esses resultados, entretanto, não corroboram os encontrados por Primavesi et al. (2005), que, trabalhando com doses e fontes de N no capim Coast-Cross, verificaram que as plantas absorveram mais N-NO_3^- do que N-NH_4^+ em ambas as fontes utilizadas. Contudo, os pesquisadores observaram alto pH inicial do solo, provocando uma rápida nitrificação do N-NH_4^+ , proveniente tanto do nitrato de amônio quanto da uréia.

6 CONCLUSÃO

O manejo das rotações de culturas não influenciou nos teores de NH_4^+ , NO_3^- avaliados, no solo e nas plantas, com exceção da NH_3 volatilizada e do N-total do solo;

As doses de N aplicadas ao sistema não proporcionaram diferenças nos teores de N mineral e N-microbiológico no solo e nas plantas, exceto para N-total do solo.

As maiores concentrações de N e C do solo foram obtidas na camada representativa de até 20 cm.

REFERÊNCIAS

- ABBOUD, A.C.S.; DUQUE, F.F. Efeitos de matéria orgânica e vermiculita sobre a seqüência feijão-milho-feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, n.3, p.227-236, 1986.
- ADAMS, F.; MARTIN, J. B. Liming effects on nitrogen use and efficiency. In: HAUCK, R. D. (Ed.). Nitrogen incorporation production. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 417-426
- ADDISCOTT, T.M.; THOMAS, V.H.; JANJUA, M.A. Measurement and simulation of anion diffusion in natural soil aggregates and clods. **Journal of Soil Science**, v.34, p.709-721, 1983.
- ADDISCOTT, T.M.; WHITMORE, A.P.; POWLSON, D.S. **Farming, fertilizers and the nitrate problem**. Wallingford: CAB International, 1991.
- AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25, p.157-165, 2001.
- AITA, C.; FRIES, M.R.; GIACOMINI, S.J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFMS, 2000.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre de diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; STIPP, S.R.; VITTI, A.G.C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. Cap. 1, p.2-41.
- ALBUQUERQUE, M.A. **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em latossolo vermelho sob sistema de culturas em plantio direto**. 2012. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.
- ALMEIDA, L.A. **Atributos microbiológicos e estoque de carbono e nitrogênio do solo com cobertura em áreas de cana-de-açúcar irrigada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros – MG.
- ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. **Sistemas de Produção**. Embrapa Sorgo e Milho, 2012. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: 22 jul 2014.
- AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo de solo**. 1997. 201f. Dissertação (Tese Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.
- AMADO, T.J.C.; MELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob

sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.241-248, 2002.

AMADO, T.J.C. et al. Qualidade de solos derivados de Areias Quartzosas da fronteira sudoeste do RS: indicadores químicos. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2, 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.275-278.

AMBROSANO, E.J. Agricultura ecológica. In: SIMPÓSIO AGRICULTURA ECOLÓGICA, 2., 1999, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Agropecuária, 1999. p.160-178.

AMBROSANO, E.J. et al.. Efeito do nitrogênio no cultivo de feijão irrigado no inverno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.53, n.2, p.338-342, 1996.

ANDRADE, A. P. et al. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, mai. 2012.

ANDRADE, E.M. et al. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, v.39, p.88-95, 2009.

ANGERS, D.A.; ERIKSEN-HAMEL, N.S. Full-Inversion Tillage and Organic Carbon Distribution in Soil Profiles: A Meta-Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.72, p.1370-1374, 2008.

ARAÚJO, A.S.F.; MELO, W.J. **Biomassa microbiana do solo**. Teresina: UFPI, 2012.

ARAÚJO, A.S.F; MONTEIRO, R.T.R. Biological Indicators of Soil Quality. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

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

ARNUTI, F. **Dinâmica do nitrogênio em argissolo em função de irrigação e adubação nitrogenada do milho em plantio direto**. 2014. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

BAKER, J.M. et al. Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? Agriculture. **Ecosystem & Environment**, v.118, n.1, p.1-5, 2007.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. 2. ed. New York, Wiley-Interscience, 1995. 384p.

BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. Dinâmica do nitrogênio no solo, pré culturas e o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto. In:

FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária; 2006

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BAYER, C. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.36, p.261-270, 2012.

BAYER, C. et al. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, v.33, p.469-475, 2003.

BERTOL, L. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas a do campo nativo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.

BISSANI, C.A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004.

BOER, C.A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1269-1276, 2007.

BONDE, T.A.; SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, n.4, p.447-452, 1988.

BORGHI, E. et al. Recuperação do nitrogênio no nitrato de amônio ($15\text{NH}_4\text{NO}_3$) pela *Brachiaria brizantha* em consórcio com milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. **Anais...** 2011.

BORTOLINI, C.G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. 2000. 48f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a ureia-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**. v.49, n.2, p.376-381, 1985.

BRAGA, G.N.M. Importância do estoque de carbono no solo. **Na Sala com Gismont – Assuntos sobre agronomia**. Porto Alegre, 24 abr. 2012. Disponível em: <http://www.agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/04/importancia-do-estoque-de-carbono-no.html>. Acesso em: 05 jan 2016.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, R.L. Ureaseactivity in soils. In: BURNS, R.G. **Soil Enzymes**. London: Academic Press, London, 1978. p. 149-196.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JEMKISON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.14, p.319-326, 1982.

BURGESS, M.S.; MEHUYS, G.R.; MADRAMOOTOO, C.A. Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, n.1, p.350-1.358, 2002.

BUTENSCHOEN, O.; SCHEU, S.; EISENHAUER, N. Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity. **Soil Biology & Biochemistry**, v.43, p.1902-1907, 2011.

CABEZA S, L.W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.21, p.489-496, 1997.

CAETANO, J.O. et al. Dinâmica da matéria orgânica de um neossoloquartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.37, p.1245-1255, 2013.

CAIRES, E.F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. **Fertibio**, Santa Maria, v.24, 2000.CD-ROM. SBCS.

CAJAZEIRA, J.P.; ASSIS JÚNIOR, R.N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.258-267, 2011.

CALONEGO, J.C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.5, p.770-781, 2012.

CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: Uréia (15N) e aquamônia (15N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

CAMPOS, L.P. et al. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1681-1689, 2011.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p.375-470, 2007.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologia de produção de milho**, p.139-182, 2004.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio total em solos. In: RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. p.262-269.

CARDOSO, E.J.B.N. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação Barreiras. **Cadernos de Geociências**, v.7, n.2, p.63-79, 2010.

CASALI, C.A. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos em longa duração alteram as formas de fósforo do solo**. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CERETTA, C.A. et al. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.163-171, 2002.

CERRI, C.C.; ANDREAUX, F.; EDUARDO, B.P. O Ciclo do Carbono no Solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. Microbiologia do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p.73-90, 1992.

CESAR, A.S.M. et al. Algumas características agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés adubada com doses de nitrogênio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

CHERR, C.M.; SCHOLBERG, J.M.S.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: a synthesis. **Agronomy Journal**, v.98, p.302-319, 2006.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sexto levantamento, 2014**. Brasília: Conab, 2014.

COSTA JUNIOR, C. et al. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1-12, 2012.

COSTA, F.S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

COSTA, J.B. **Caracterização e constituição do solo**. 7. ed. Lisboa: Fundação Calouste, 2004.

CRUZ, J.S. et al. Spatial variability of na Alfisol cultivated with sugarcane. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.38, n.1, p.155-164, 2011.

CRUZ, J.C. et al. Embrapa milho e sorgo. **Sistema de Plantio Direto de milho**, 8. ed., 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html>. Acesso em: 17 jul. 2015.

CUNHA, E.Q. et al. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1021-1029, 2011.

D'ANDRÉA, A.F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.

D'ANDREA, A.F.D. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.913-923, 2002.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, p.799-805, 2005.

DIEKOW, J. et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 year. **Soil & Tillage Research**, v.81, p.87-95, 2005.

DIEST, V.A. Volatilización del amoníaco em los suelos anegados, sus repercusiones em El rendimiento de arroz. Noticiarios de La Comisión Internacional del arroz. **FAO**, v.37, p.1-6, 1988.

DJIK, E.; ECK, N. Ammonium toxicity and nitrate response of axenically grown dactylorhiza-incarnata seedlings. **New Phytologist**, v.131, p.361-367, 1995.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.36, p.1714-1723, 2012.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p. 3-21, 1994.

DUARTE JUNIOR, J.B.; COELHO, F.C. **Rotação de culturas**: manual técnico. 22. ed. Niretói: Programa Rio Rural, 2010.

DUETE, R.R.C. et al. Acúmulo de nitrogênio (N^{15}) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em latossolo vermelho. **Bragantia**, Campinas, v.68, p.463-472, 2009.

DUQUE, F.F. et al. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* L. to Rhizobium inoculation and qualification of N_2 fixation using $15N$. **Plant and Soil**, v.88, p.333-343, 1985.

EMBRAPA. **Manual de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006.

ENGELS, C.; MARSCHNER, H. Plant up take and utilization of nitrogen. In: BACON, P.E. **Nitrogen fertilizer environmental**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.41-81.

ENSINAS, S.C. **Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica do solo**. 2015. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

EPAGRI. **Custo de produção**. 2013. Florianópolis, SC: Epagri/Cepa. Disponível em: <<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2015.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual review in plant physiology and plant molecular biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: Paulo Ernani, 2008.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated by oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, Oxford, v.36, p.1567-1575, 2005.

FABIAN, A.J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 2009. 118f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal - SP.

FALLEIRO, R.M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.

FALLOON, P. et al. Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. **Agriculture Ecosystems Environment**, v.122, p.114-124, 2007.

FAVARATO, L.F. **Plantio direto orgânico de milho verde sobre diferentes plantas de cobertura**. 2015. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

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

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

FIDELIS, R.R. et al. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.1, p.23-31, 2003.

FOLMANN, D.D. **Dinâmica do nitrogênio mineral no solo e produção vegetal em função da adubação nitrogenada da pastagem e do milho em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava – PR.

FONTAINE, S. et al. Stability of carbon in depth soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, v.450, p.277-281, 2007.

FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the South-Central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p.1677-1684, 2010.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.459-467, 2000.

FRANCHINI, J.C. et al. **Importância da rotação de culturas para produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.533-542, 1999

FRANKENBERGER, W.T.; TABATABAI, M.A. Amidase and urease activities in plants. **Plant Soil**, v.64, p.153-166, 1982.

FREDEEN, A.L.; FIELD, C.B. Ammonium and nitrate up take in gap: generalist and under story species of the genus Piper. **Oecology**, v.92, p.207-214, 1992.

FREIRE, F.M.; VASCONCELLOS, C.A.; FRANÇA, G.E. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.49-62, 2000.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap.11, p. 159-170.

GAMBOA, J.; PAREZ, G.; BLASCO, M. Un modelo para descubrir procesos de retencion y lixiviacion em suelos. **Turrialba**, v.21, p.312-316, 1971.

GARCIA, G.; CARDOSO, A.A.; SANTOS, O.A.M. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova**, v.36, n.9, p.1468-1476, 2013.

GARCIA, C.M.P. et al. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.2, p.157-163, 2012.

GASSER, J.K.R. Transformation, leaching and uptake of fertilizer nitrogen applied in autumn and spring to winter wheat on a heavy soil. **Journal of the Science Food Agriculture**, London, v.12, p.375-380, 1961.

GHOLAMHOSEINI, M. et al. Interactions of irrigation, weed and nitrogen on corn yield, nitrogen use efficiency and nitrate leaching. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.126, p.9-18, 2013.

GILLISEN, B. et al. A new family of high-affinity transporters for adenine, cytosine and purine derivatives in Arabidopsis. **Plant Cell**, v.12, p.291-300, 2000.

GIROTTO, E. et al. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.95, p.115-131, 2013.

GNANKAMBARY, Z. et al. Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical agroforestry parklands in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: The effects of tree canopy and fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, vol.40, n.2, p.350-359, 2008.

GONÇALVES, W.G. et al. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.67-75, 2006.

GREGORICH, E.G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, p. 367-385, 1994.

GUEDES FILHO, O. et al. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, n.204/205, p.94-101, 2013.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, v.18, n.1, p.107-169, 1966.

HASADA, A. et al. Assimilation of nitrogen by microbial population: NH_4^+ versus organic N. **Soil Biology Biochemistry**, v.24, p.137-143, 1992.

HAUCK, R.D. Nitrogen in crop production. **Soil Science Society of America**, p.782-787, 1984.

HEINRICH, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25, p.331-340, 2001.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, p.1021-1030, 1985.

HEWITT, E.J.; CUTTING, C.V. **Nitrogen assimilation of plants**. London: Academic Press, 1979.

HOEFT, R.G. Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho e de soja nos EUA. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v.104, p.1-4, 2003.

HOORMAN, J.J. Using cover crops to improve soil and water quality. In: LIMA, O. **Agriculture and natural resources**. Ohio: The Ohio State University Extension, 2009.

HUBER, D.M. et al. Nitrification inhibitors: New tool for food production. **Bio Science**, Washington, v.27, p.523-529, 1977.

INÁCIO, E. S, B. **Distribuição vertical de carbono orgânico em Latossolo sob diferentes usos**. 2009. 102f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

ISLAM, K.R; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility Soils**, v.27, p.408-416, 1998.

JAYASUNDARA, S. et al. Minimizing nitrogen losses from a corn-soybean-winter wheat rotation with best management practices. **Agroecosystems**, Dordrecht, v.79, p.141-159, 2007.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. **Soil biochemistry**, p. 415-471, 1981.

KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.605-649.

KEENEY, D.R.; BREMNER, J.M. Effect of cultivation on the nitrogen distribution in soils. **Soil Science. Society America**, v.28, p.653-656, 1964.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.) **Encyclopedia of Environmental Microbiology**, p. 3116-3126, 2002.

KIEHL, J.C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: KIEHL, J.C. **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.139-157.

KITUR, B.K. et al. Fate of ¹⁵N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.2, p.240-242, 1984.

KORNDÖRFER, G.H.; VALLE, M.R.; MARTINS, M. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana-planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.23-26, 1997.

KRAMBERGER, B. et al. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. **European Journal of Agronomy**, v.31, p.103-109, 2009.

KRISHNAMURTHY, L.; ÁVILA, M. **Agroforesteria básica**. México: Red de Formacion Ambiental para America Latina y el Caribe, 1999.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology Management**, v.220, p.242-258, 2005.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B.A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R. et al. **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Lewis, 1995. p.1-7.

LAURENCE, J. **Biologia**. 1. ed. São Paulo: Nova Geração, 2005.

LEITÃO FILHO, H.F. **Observações sobre alguns gêneros de leguminosa – Papilionoideae**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2009.

LEWIS, O.A.M. **Plants and nitrogen**. London: Cambridge Press, 1986.

LIMA FILHO, O.F. et al. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014.

LIU, L. et al. Drosophila hygrosensation requires the TRP channels water witch and nanchung. **Nature**, v.450, p.294-298, 2007.

LOPES, A.S. et al. **Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004.

LOSS, A. et al. Agregação, Carbono e Nitrogênio em Agregados do Solo Sob Plantio Direto com Integração Lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

LUCA, M.J; HUNGRÍA, M. Efeito da densidade de plantio em soja na nodulação, concentração de nutrientes e rendimento. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. Maceió. **Anais...** 2012.

LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações. **Revista Ceres**, 2. ed., 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976.

MANTOVANI A. **lixiviação de nitrogênio em nitossolo vermelho afetada pelo pH do solo e pela adição de fertilizantes nitrogenados combinados com superfosfato triplo**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

MARCHI, G. **O que é qualidade do solo?** Embrapa Cerrado, 2008. Disponível em: <www.embrapa.br> Acesso em: 05 jan. 15.

MARCUS, A. Protein biosynthesis. In: BONNER, J.; VARNER, J.E. **Plant Biochemistry**. 3. ed. Nova Iorque: Academic Press, 1976. p.507-524.

MARQUEZ, T.C.L.L.S.M. et al. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização do nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30 p.581-589, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986.

MARSCHNER, H.; HAÜSSLING, M.; GEORGE, E. Ammonium and nitrate uptake rates and rhizosphere pH in non-mycorrhizal roots of Norway spruce. **Trees**, Berlin, v.5, n.1, p.14-21, 1991.

MARTEAU, R. et al. The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger. **Agricultural Forestry Meteorology**, v.151, p.1356-1369, 2011.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology Biochemistry**, v.14, p.469-475, 1982.

MARY, B. et al. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, v.181, n.1, p.71-82, 1996.

MASCARENHAS, H.A.A. et al. Nitrogênio residual da soja na produtividade de gramíneas e do algodão. **Nucleus**, v.8, n.2, out. 2011.

MATIAS, M.C.B.S. et al. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Maringá**, v.31, n.3, p.517-521, 2009.

MEDEIROS, R.B.; NABINGER, C. Rendimento de sementes e forragem de azevém-anual em resposta a doses de nitrogênio e regimes de corte. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, p.245-254, 2001.

MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. **Guia de fertilizantes, em miendas y productos nutricionales**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria, 1999. cap. 1, p. 13-25.

MELLO, F.A.F. **Uréia fertilizante**. 1. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1987.

MELLO, F.A.F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983.

MENEZES, G.G. **Estratégias de manejo para minimizar perdas de N por volatilização e aumentar o rendimento de grãos de milho irrigado**. 2015. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute, 1987.

MILLER, A.J.; CRAMER, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant Soil**, v.274, p.1-36, 2004.

MITCHELL, C.C. et al. Overview of long-term agronomic research. **Agronomy Journal**, v.83, p.24-29, 1991.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.

NUNES, R.S. et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1407-1419, 2011

OSINAME, O.; VAN GINJ, H.; ULEX, P.L.G. Effect nitrifications inhibitions of the fate and efficiency of nitrogenous fertilizers under simulated humid tropical conditions. **Tropical Agriculture**, v.60, p.211-217, 1983.

OKUMURA, R.S.; MARIANO D.C. Aspectos Agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease. **Revista Ambiente**, Guarapuava, v.8, n.2, p.403-414, 2012.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.35, p.1777-1786, 2011.

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**, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.

POLETTO, N.; GROHS, D.S.; MUNDSTOCK, C.M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.32, p.1619-1626, 2008.

PRIMAVESI, A.C. et al. Lixiviação de nitrato em pastagens de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.683-690, 2006.

PRIMAVESI, A.C. et al. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.247-253, 2005.

PRIMAVESI, O. et al. **Adubação com uréia em pastagem de *Cynodondactylon* cv. Coastcross, eficiências e perdas**. São Carlos: Embrapa pecuária sudeste, 2001.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, p. 159-164, 1997.

RAIJ, B.V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

RAIJ, B.V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**: boletim técnico 100. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. **Revista Ceres**, p.343, 1991.

RANELLS, N.N.; WAGGER, M.G. Nitrogen-15 recovery and release by rye and crimson clover cover crops. **Agronomy Journal**, v.61, p.943-948, 1997.

RANELLS, N.N.; WAGGER, M.G. Nitrogen release by grass and legume cover crop monocultures and bicultures. **Agronomy Journal**, v.88, p.777-782, 1996.

RATKE, R.F. et al. Production and levels of foliar nitrogen in rocket salad fertilized with controlled-release nitrogen fertilizers and urea. **Horticultura Brasileira**, v.29, p.246-249, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012.

REINERT, D.J. et al. Qualidade de solos derivados de areias quartzosas da fronteira sudoeste do RS: indicadores físicos. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.34-38.

REISENAUER, H.M. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. In: NIELSEN, D.R.; MCDONALD, J.G. **Nitrogen in the environment**. London: Academic Press, 1978. v.2. p.157-170.

RIBEIRO, V.J. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta: volatilização e disponibilidade para a planta**. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES.

- RHEINHEIMER, D.S. et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.713-721, 1998.
- ROSCOE, R.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; GUEDES, G.A.A.; FERNANDES, L.A. Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and urea-nitrogen assimilation by maizes in a Brazilian Oxisol under no-till and tillage systems. **Biology Fertility Soils**, v.32, p.52-59, 2000.
- ROJAS, C.A.L. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas decobertura inverniais no Centro-Sul do Parana. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.36, p.261-270, 2012.
- ROSSI, C.Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v.43, n.1, p. 38-46, 2011.
- ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós,1996. cap.4., p.353-385.
- ROS, M. Denitrification kinetics in an activated sludge system. **Water Science Technology**, v.32, n.9-10, p.323-330, 1995.
- SÁ, J.C.M. **Dinâmica da matéria do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto**. 2001. 141f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição do solo**. 1999. p.267–310.
- SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Aldeia Norte: Fundação ABC, 1993. 96 p.
- SAINZ ROZAS, H.R. et al. Evaluation of the presidress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. **Agronomy Journal**, Madson, v.92, p.1176-1183, 2000.
- SALINAS-GARCIA, J.R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. Long term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.152-159, 1997.
- SANDINI, I.E. et al. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.8, p.1315-1322, 2011.
- SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

SCALCO, M.S. Campo experimental da Universidade Federal de Lavras/UFLA, **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.2, p.400-410, 2002.

SCHIAVINATTI, A.F. et al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, v.70, p.925-930, 2011.

SCHLESINGER, W.H. **Biogeochemistry: na analysis of global change**. California: Academic Press, 1997.

SEXTON, B.T. et al. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.983-992, 1996.

SHIPITALO, M.J. et al. Effect of no-till and extended rotation on nutrient losses in surface runoff. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.77, p.1329-1337, 2013.

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

SILVA, L.P. **Dinâmica de nitrogênio em microbacias em remanescentes de mata atlântica (itacaré-uruçuca/ba)**. 2012. Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA.

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

SILVA, E.C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.353-362, 2005.

SILVA, M.G. et al. Nitrogen fertilization and soil management of winter common bean crop. **Scientia Agricola**, v.61, n.3, p.307-312, 2004.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.81, p.169-178, 2008.

SIMS, J.T. Nitrogen mineralization and elemental availability in soils amended with composted sewage sludge. **Journal Environmental Quality**, v.19, p.669-675, 1990.

SOARES, A.B. **Nível de adubação nitrogenada sobre a produtividade animal e da pastagem de triticale (*Xtriticosecale*) e azevém (*Lolium multiflorum*)**. 1999. 189f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

SOUSA, W.L.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.24, p.885-896, 2000.

SOUZA, Z.M. et al. Spatial variability of aggregate stability in Latosol under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.245-253, 2009.

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Nitrogen. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Copyright, 2006. Cap. 9.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.1, p.133-139, 2003.

STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. **Journal of Environmental Quality**, v.2, p.159-166, 1973.

STARK, J.M.; HART, S.C. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests. **Nature**, v.385, p.61-64, 1997.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: J. Wiley, 1986.

STRONG, D. T.; SALE, P. W. G.; HELYAR, K. R. Initial soil pH affects the pH at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.35, n.3, p.565-570, 1997.

STUTE, J.K.; POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. **Agronomy Journal**, v.87, p.1063-1069, 1995.

TORMENA, C.A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.25-29

VAN BREEMER, N. Soils as biotic constructs favouring net primary productivity. **Geoderma**, v.57, n.183-211, 1993.

VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G.O **Comportamento do sistema de lodo ativado**, teoria e aplicações para projetos e operação. Campina grande: Epigraf, 1999.

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**, v.35, p.76-83, 2005.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em sistemas de manejo do solo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.411-417, 1998.

VASCONCELLOS, C.A.; CAMPOLINA, D.C. A.; SANTOS, F.G. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.23, p.67-77, 1999.

VAUGHAN, J.D.; HOYT, G.D.; WOLLUM, A.G. Cover crop nitrogen availability to conventional and no-till corn: soil mineral nitrogen, corn nitrogen status, and corn yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.31, p.1017-1041, 2000.

VENZKE FILHO, S. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, p.599-610, 2008.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R. F. **Leguminosas graníferas**. Viçosa: UFV, 2001.

YANG, S. et al. Nitrogen loss from paddy field with different water and nitrogen managements in taihu lake region of china. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.44, p.2393-2407, 2013.

YEOMANS, J.C; BREMNER, J.M. CarbonoOrgânico Total do Solo. In: MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. Cap. 1.

WAGGER, M.G.; DENTON, H.P. Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. **Soil Science Society America Journal**, v.53, p.1206-1210, 1989.

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

WALSH, L.M.; MURDOCK, J.T. Native fixed ammonium and fixation of applied ammonium in several Wisconsin soils. **Soil Science**, v.89, p.183-192, 1960.

WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986.

WIERSUM, L. K. Uptake of nitrogen and phosphorus in relation to soil structure and nutrient mobility. **Plant and Soil**, v.16, p.62-69, 1962.

WILLIAMS, L.E.; MILLER, A.J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v.52, p.659-688, 2001.