UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

CICLAGEM DO NITROGÊNIO RELACIONADA AO SISTEMA DE PRODUÇÃO

LAÉRCIO AUGUSTO PIVETTA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

CICLAGEM DO NITROGÊNIO RELACIONADA AO SISTEMA DE PRODUÇÃO

LAÉRCIO AUGUSTO PIVETTA

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP – FCA – LAGEADO – BOTUCATU (SP)

Pivetta, Laércio Augusto, 1986-
P693c Ciclagem do nitrogênio relacionada ao sistema de produção / Laércio Augusto Pivetta. – Botucatu : [s.n.], 2015
x, 84 f. : fots. color.; grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Ciro Antonio Rosolem
Inclui bibliografia

1. Solo - Manejo. 2. Nitrogênio – Fixação. 3. Resíduos vegetais. 4. Rotação de cultivos. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"CICLAGEM DO NITROGÊNIO RELACIONADA AO SISTEMA DE PRODUÇÃO"**

ALUNO: LAÉRCIO AUGUSTO PIVETTA

ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO

PROFª DRª MÔNICA SAROLLI SILVA MENDONÇA COSTA

PROF. DR. ANDRÉ CESAR VITTI

PROF. DR. PAULO CÉSAR OCHEUZE TRIVELIN

Data da Realização: 27 de fevereiro de 2.015.

DEDICO

À minha esposa, Mayara Rodrigues Pivetta, pelo apoio durante toda a caminhada.

Aos meus pais Valderi Luiz Pivetta e Maria de Lurdes Pivetta, exemplos de vida e dedicação, minha eterna gratidão e respeito.

OFEREÇO

À Deus, pelo dom da vida e proteção.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, que além da orientação e suporte, me ensinou valores que levarei para o resto da vida.

À Faculdade de Ciências Agronômicas, pela oportunidade e suporte na realização de toda minha pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo e auxílio para a condução do projeto.

Ao Prof. Dr. Tyson Ochsner, da Oklahoma State University, pelas contribuições na análise dos resultados e acolhimento durante o estágio.

Aos docentes do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal.

Ao meu irmão e braço direito Laerte, que sempre contribuiu nos momentos críticos deste projeto.

Aos amigos e colegas de pós-graduação Prof. Dr. Juliano C. Calonego, Gustavo, João Paulo e Juan, pelo companheirismo e trabalho em conjunto para a condução deste experimento.

Ao funcionário responsável pelo laboratório de relação solo-planta, Dorival Pires de Arruda, pela amizade e apoio na realização das análises.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Camargo, Casemiro, Célio, Cido, Fio, Lana, Mateus, Valéria e Verinha, pela amizade e colaboração.

Aos estagiários e amigos Axpira, Charles, Colóide, Fani, Fossa, Kibarra, Pink, Sucessagem e Trypa.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pelo companheirismo e amizade.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS VII
LISTA DE FIGURAS X
1 RESUMO 1
2 SUMMARY 3
3 INTRODUÇÃO 5
4 REVISÃO DE LITERATURA 7
5 MATERIAL E MÉTODOS 15
5.1 Caracterização da área experimental 15
5.2 Delineamento experimental e tratamentos 16
5.3 Instalação e condução do experimento 17
5.3.1 Cultivo das espécies vegetais 18
5.3.1.1 Culturas de outono-inverno (2011) 18
5.3.1.2 Culturas de primavera (2011) 18
5.3.1.3 Cultura da soja na safra 2011/2012 19
5.3.1.4 Culturas de outono-inverno (2012) 20
5.3.1.5 Culturas de primavera (2012) 20
5.3.1.6 Cultura da soja na safra 2012/2013 21
5.3.2 Amostragem de solo e plantas 22
5.3.2.1 Amostragem de solo 22
5.3.2.1 Amostragem e preparo de palha e plantas 23
5.3.3 Avaliações 23
5.3.3.1 Determinações em amostras de palhada e plantas 23
5.3.3.2 Perdas de N por emissão de N_2O e NH_3 24
5.3.3.3 Perdas de N por lixiviação 27
5.3.3.4 Entradas de N 30
5.3.3.5 Balanço de fluxo de N nos sistemas 31
5.4. Análise estatística dos resultados 31
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 32
6.1 Resistência à penetração 32

6.2 Entradas de N 33
6.3 Massa de matéria seca, relação C/N, teor e acúmulo de N na parte aérea das plantas 33
6.3.1 Culturas de outono/inverno 2011 33
6.3.2 Plantas de cobertura de primavera 2011 34
6.3.3 Soja safra 2011/12 36
6.3.4 Cultivo de outono/inverno 2012 37
6.3.5 Cultivo de primavera 2012 38
6.3.6 Soja safra 2012/13 40
6.4 Massa de matéria seca, relação C/N, teor e acúmulo de N na palhada 41
6.4.1 Cultivo de outono/inverno 2011 41
6.4.2 Cultivo de primavera 2011 42
6.4.3 Soja safra 2011/12 43
6.4.4 Cultivo de outono/inverno 2012 44
6.4.5 Cultivo de primavera 2012 45
6.4.6 Soja safra 2012/13 46
6.5 Massa de matéria seca acumulada da parte aérea e palhada 47
6.6 Produtividade e teor de N nos grãos de culturas de outono/inverno e da soja e nodulação da soja 48
6.6.1 Culturas de outono/inverno 2011 48
6.6.2 Soja safra 2011/2012 50
6.6.3 Culturas de outono/invernos 2012 51
6.6.4 Soja safra 2012/2013 52
6.7 Perdas de nitrogênio via lixiviação de nitrato 53
6.8 Perdas de nitrogênio via emissão de amônia 57
6.9 Perdas de nitrogênio via emissão de óxido nitroso 61
6.10 Estoque e incremento anual de nitrogênio no solo 65
6.11 Balanço de fluxo de nitrogênio no sistema solo-planta 68
7 CONCLUSÕES 73
8 REFERÊNCIAS 74
APÊNDICES 84

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Análise de textura do solo da área experimental. 22

Tabela 2. Teor de N, quantidade de semente utilizada e aporte de N pela semeadura das culturas utilizadas na safra 2012/2013..... 33

Tabela 3. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de inverno na safra 2011, na fase de pleno florescimento, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 34

Tabela 4. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de primavera na safra 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 35

Tabela 5. Massa de matéria seca (MMS) e N acumulado na fase de pleno florescimento da soja, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 36

Tabela 6. Teor de nitrogênio e relação C/N da soja na fase de pleno florescimento, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 37

Tabela 7. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de inverno na safra 2012, na fase de pleno florescimento, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 38

Tabela 8. Massa de matéria seca (MMS), acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de primavera na safra 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 39

Tabela 9. Teor de N, em g kg^{-1}, da parte aérea das culturas de primavera na safra 2012, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 40

Tabela 10. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea da soja na fase de pleno florescimento, safra 2012/2013, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 41

Tabela 11. Massa de matéria seca (MMS), acúmulo de N e relação C/N da palhada após a colheita das culturas de outono/inverno, safra 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 41

Tabela 12. Teor de N da palhada após a colheita das culturas de outono/inverno, safra 2011, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 42

Tabela 13. Massa de matéria seca (MMS), teor de N e relação C/N da palhada após a safra de primavera de 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 43

Tabela 14. Acúmulo de N da palhada após a safra de primavera de 2011, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 43

Tabela 15. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da palhada após a soja, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 44

Tabela 16. Massa de matéria seca (MMS), em kg ha^{-1}, da palhada após as culturas de outono/inverno, safra 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 45

Tabela 17. Teor e acúmulo de N e relação C/N da palhada após as culturas de outono/inverno, safra 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 45

Tabela 18. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N da palhada da safra de primavera de 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. .. 46

Tabela 19. Relação C/N da palhada a safra de primavera de 2012, relacionada a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 46

Tabela 20. Massa de matéria seca, teor e acúmulo de N e relação C/N da palhada após a soja, safra 2012/2013, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 47

Tabela 21. Massa de matéria seca acumulada de parte aérea e palhada nos dois anos agrícolas, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 48

Tabela 22. Produtividade e teor de N dos grãos das culturas de outono/inverno, safra de 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 49

Tabela 23. N exportado pelos grãos das culturas de outono/inverno, safra de 2011, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 50

Tabela 24. Produtividade, teor e exportação de N dos grãos da soja e número e massa média dos nódulos da soja, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 51

Tabela 25. Produtividade, teor e exportação de N dos grãos das culturas de outono/inverno, safra de 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 52

Tabela 26. Produtividade, teor e exportação de N dos grãos da soja e número e massa média de nódulos da soja, safra 2012/2013, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 53

Tabela 27. Lixiviação de NO_3 e drenagem de água no solo total acumulada calculada pelo método do balanço hídrico (FAO-56), relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 54

Tabela 28. Perda acumulada de N por volatilização de NH_3, relacionada a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 57

Tabela 29. Perda acumulada de N via emissão de óxido nitroso (N_2O), relacionada a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 62

Tabela 30. Estoque de N no solo (Mg ha^{-1}), após a colheita da soja safra 2011/2012, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 65

Tabela 31. Estoque de N no solo (Mg ha^{-1}), após a colheita da soja safra 2012/2013, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 65

Tabela 32. Incremento anual de N no solo (de 2012 a 2013), em Mg ha^{-1}, até 80 cm, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 66

Tabela 33. Balanço de fluxo de nitrogênio do experimento entre maio de 2012 a abril de 2013, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 69

Tabela 34. Estimativa do balanço de nitrogênio no sistema solo-planta, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera. 70

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Pluviosidade e temperatura média por decêndios entre maio de 2011 e abril de 2012 (A) e abril de 2012 a abril de 2013 (B). Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP. 16

Figura 2. Esquema de montagem das câmaras de coleta de gases. 24

Figura 3. Detalhe da câmara e suporte juntamente com as seringas, no momento da coleta da amostra. 25

Figura 4. Esquema do coletor de N-NH_3. 26

Figura 5. Detalhes da instalação dos tubos de acesso. 27

Figura 6. Equação de calibração da sonda Diviner®. 28

Figura 7. Resistência do solo à penetração relacionada aos manejos de primavera, em outubro de 2012. 32

Figura 8. Drenagem de água abaixo da camada de 0,80 m de profundidade relacionada a culturas de outono/inverno. 54

Figura 9. Drenagem de água abaixo da camada de 0,80 m de profundidade relacionada a manejos de primavera. 55

Figura 10. Teor de N-NO_3 na solução do solo a 0,8 m de profundidade relacionada a culturas de outono/inverno. 55

Figura 11. Teor de N-NO_3 na solução do solo a 0,8 m de profundidade relacionada a culturas de outono/inverno. 56

Figura 12. Perda de N por volatilização de NH_3, relacionada a culturas de outono/inverno. 59

Figura 13. Perda de N por volatilização de NH_3, relacionada a manejos de primavera. 59

Figura 14. Fluxo de N_2O a partir do solo relacionado a culturas de outono/inverno. 61

Figura 15. Fluxo de N_2O a partir do solo relacionado a manejos de primavera. 62

1 RESUMO

O conhecimento de como o manejo do solo influencia na dinâmica do nitrogênio (N) em longo prazo pode fornecer bases para desenvolver sistemas de produção que otimizem a ciclagem deste nutriente. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de sistemas de manejo, com plantas de cobertura e escarificação, em rotação com a cultura da soja, no balanço e ciclagem do N e na produtividade da soja. O experimento vem sendo conduzido desde 2003, em um Nitossolo Vermelho distroférrico, estruturado, de textura argilosa. O experimento foi delineado em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelas culturas de inverno triticale (X *Triticosecale*) e girassol (*Helianthus annuus*), e as subparcelas pelos manejos de primavera, milheto (*Pennisetum glaucum*), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) e crotalária júncea (*Crotalaria juncea*), além da escarificação, que foi realizada em 2003 e 2009, também na primavera. Na safra de verão foi cultivada a soja (*Glycine max*), em todas as subparcelas. A ciclagem e o balanço do N foram estudados por determinações de N-total e estoque de N no solo, massa de matéria seca e acúmulo de N da palhada e da parte aérea das culturas, produtividade e exportação de N pelas culturas de outono/inverno e da soja, saídas de N por lixiviação de NO_3^- e emissão de NH_3 e N_2O, além da quantificação das entradas de N no sistema via deposição atmosférica, pulverização de defensivos e sementes. As saídas de N oscilaram entre 1,2 a 3,3, 8,2 a 8,9 e 12,2 a 50,4 kg ha^{-1} ano^{-1} para emissão de N_2O, volatilização de NH_3 e lixiviação de NO_3^-, respectivamente. As culturas de outono/inverno pouco se diferenciaram na ciclagem de N no sistema solo-planta. Os manejos de primavera se diferenciaram mais na lixiviação de NO_3^-. Apesar de a crotalária apresentar maior perda de N por lixiviação, devido ao aporte pela fixação

biológica de nitrogênio (FBN), esta leguminosa promove incremento no estoque de N no solo. Embora o milheto e sorgo diminuam a saída de N, devido ao seu sistema radicular mais agressivo, o estoque de N no solo é reduzido pelo baixo aporte de N. Dentre os manejos sem aporte de N (excluindo-se a crotalária), a escarificação mantém maiores perdas de N por lixiviação, mesmo após 3 anos de realizado o preparo do solo, o que reduz o estoque de N no solo.

Palavras-chave: escarificação, plantas de cobertura, nitrato, amônia, óxido nitroso, balanço de nitrogênio.

NITROGEN CYCLING AS AFFECTED BY SOIL MANAGEMENT. Botucatu, 2014. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista)

Author: LAÉRCIO AUGUSTO PIVETTA
Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

2 SUMMARY

The knowledge of how soil management acts upon N cycling in long term can provide bases to develop crop production systems that optimize the cycling of this nutrient. The objective of this research was to assess the effect of soil management systems, using cover crops and chiseling in rotation with soybean on N cycling and balance. The experiment has been carried out since 2003, on a clayey Rhodic Nitosol. The experimental design was a randomized complete block design, in a split-plot arrangement, with four replicates. Plots consisted of the fall-winter crops, triticale (X *Triticosecale*) and sunflower (*Helianthus annuus*), and subplots of the spring managements, pearl millet (*Pennisetum glaucum*), forage sorghum (*Sorghum bicolor*) and sunn hemp (*Crotalaria juncea*), besides chiseling in 2003 and 2009, at the spring too. Soybean (*Glycine max*) was grown in the summer. The N cycling and balance were studied by determinations of soil total-N and N storage, dry mass and N accumulation of crops and its residues, grain yield and N exportation by fall-winter crops and soybean, N outputs by NO_3^- leaching and NH_3 and N_2O emission, besides N inputs by atmospheric deposition, pesticide spraying and seeds. Losses of N ranged from 1.2 to 3.3, 8.2 to 8.9 and 12.2 to 50.4 kg ha^{-1} $year^{-1}$ as N_2O, NH_3 and NO_3^-, respectively. The fall/winter crops had little difference on N cycling. The

spring managements had more differences in NO_3^- leaching. Despite sun hemp shows higher N losses by leaching due to the contribution by biological nitrogen fixation (BNF), this legume promotes an increase in the soil N storage. Although pearl millet and sorghum reduce the N output due to their aggressive root system, the N soil storage is reduced by the low N input. Among the managements without N input (excluding sun hemp), chiseling keeps higher N losses by leaching, even after 3 years of tillage operation, which reduces the soil N storage.

Key-words: chiseling, cover crops, nitrate, ammonia, nitrous oxide, nitrogen balance.

3 INTRODUÇÃO

O ciclo do nitrogênio (N) no sistema solo-planta é bastante complexo, pois várias são as entradas e saídas de N do sistema e qualquer alteração no manejo do solo e das espécies cultivadas pode modificar sua dinâmica. Em sistemas agrícolas de produção a disponibilidade de N às plantas é dependente, dentre outros fatores, do estoque de N no solo. Este por sua vez é o resultado do balanço entre o aporte de N via semente, planta, fertilizante e deposições atmosféricas e as perdas gasosas, por lixiviação e/ou exportação pela colheita. A magnitude dessas perdas é variável, mas pode corresponder a 48% de todo N adicionado via fertilizante ao sistema, quando do uso de doses muito altas (LIU et al., 2003). Em semeadura direta (SSD) a deposição superficial dos resíduos vegetais contribui para diminuição das perdas de matéria orgânica por erosão e mineralização microbiológica (ANGHINONI, 2007). Como a maior fração do N encontra-se na forma orgânica (mais de 95%), o SSD tem apresentado acúmulo deste nutriente em longo prazo. Entretanto, estudos têm demonstrado que apesar deste acúmulo, podem ocorrer maiores perdas de N por volatilização, desnitrificação e lixiviação em semeadura direta.

Devido ao não revolvimento do solo e ao efeito cumulativo do tráfego de máquinas, o SSD tem resultado em adensamento do solo na camada superficial (KLEIN; BOLLER, 1995). O controle do adensamento nesse sistema tem sido realizado pela escarificação ou pelo uso de plantas de cobertura com sistema radicular vigoroso e capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração. Contudo, conforme a estratégia de manejo adotada para o controle do adensamento do solo, o ciclo do N pode ser alterado. A escarificação pode apresentar efeitos similares ao cultivo convencional,

devido ao revolvimento do solo e à exposição da matéria orgânica à mineralização em condições aeróbicas. Além disso, a escarificação não soluciona a causa da compactação e o solo se reconsolida, muitas vezes apresentando condições físicas piores àquela em que se encontrava anteriormente à operação. Se a estratégia adotada for o uso de plantas de cobertura, de acordo com a escolha da espécie ocorre efeito diferenciado, devido à diferenças em exigência nutricional, profundidade do sistema radicular, quantidade e qualidade do material vegetal que permanece no solo.

O conhecimento de como o manejo de agrossistemas em SSD atua no balanço do N em longo prazo pode fornecer as bases para desenvolver sistemas de produção que otimizem a ciclagem de N, possibilitando a elevação do estoque desse nutriente no solo, redução na demanda por insumos externos e, por consequência, em aumento da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Dessa forma, tem-se como hipótese do trabalho que enquanto a mobilização do solo pode aumentar as perdas de N, por resultar em mais mineralização da matéria orgânica, a introdução de leguminosas na rotação aumentará o aporte de N no sistema, podendo com isso melhorar o balanço final do nutriente. O uso de espécies de cobertura com sistema radicular vigoroso, por explorar mais o perfil do solo, pode também evitar perdas de N por lixiviação, mantendo o nutriente no sistema.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de sistemas de manejo com plantas de cobertura e escarificação, em rotação com a cultura da soja, no balanço e ciclagem do N e na produtividade da soja.

4 REVISÃO DE LITERATURA

A maior parte do N do solo está na forma orgânica (mais de 95%), presente na matéria orgânica em diferentes moléculas e com variados graus de recalcitrância, ou como parte de organismos vivos. O N pode ingressar no sistema solo-planta por deposições atmosféricas, sementes, fixação biológica, adubações minerais ou orgânicas. Por outro lado, pode sair por meio de remoção pelas culturas e variados mecanismos de perdas, como erosão, lixiviação, volatilização e desnitrificação. A mineralização da matéria orgânica libera N inorgânico, o qual constitui a principal fonte de N para as plantas em muitos solos agrícolas (CANTARELLA, 2007). Em virtude desse grande número de reações a que está sujeito e à sua alta instabilidade no solo, o N é o nutriente mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais (ERNANI, 2003).

Diversas são as formas de N disponíveis no solo, contudo, as formas inorgânicas de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) são as mais utilizadas pelas plantas, sendo a quantidade e a proporção dependentes da cultura e época de desenvolvimento da mesma (LANE; BASSIRIRAD, 2002). Essa dinâmica do N no sistema solo-planta, com a consequente eficiência da utilização de N pela planta, é influenciada principalmente pelo sistema de cultivo, tipo de fertilizante, formas de manejo e condições edafoclimáticas (FIGUEIREDO et al., 2005), ou seja, todos os fatores que afetam a atividade da microbiota do solo, que é a mediadora dos processos de imobilização/mineralização do N (SILVA et al., 2006). A forma como o N se encontra no solo afeta também os processos responsáveis pela sua saída do sistema solo-planta.

As perdas de N na forma de NH_3 podem ocorrer tanto por volatilização a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo e da mineralização da matéria orgânica do solo, como por emissão pela folhagem das plantas vivas.

As emissões globais de N-NH_3, desconsiderando os oceanos, foram estimados em 2001 na ordem de 44,4 Mt ano^{-1}, sendo que 48,6% foram correspondentes à confinamentos animais e aplicação de seus dejetos como fertilizante e 20,3% à fertilizantes minerais (FAO, 2001). Dados referentes à União Europeia em 2008 demonstram que 44% das emissões de N-NH3 foram de confinamentos e sistemas de armazenamento dos dejetos, 29% da aplicação desses dejetos e 19% de fertilizantes minerais (VELTHOF et al., 2014).

A volatilização de NH_3 do solo depende principalmente do pH do meio. Em condições de solo com pH ácido, a espécie química predominante é o NH_4^+, havendo pouca ou nenhuma perda de NH_3 durante a mineralização da MOS ou após a aplicação de fertilizantes amoniacais de reação ácida ou neutra, como o sulfato ou o nitrato de amônio, visto que o NH_4^+ permanece na forma catiônica e estável (CANTARELLA, 2007). Entretanto, a aplicação de fertilizantes de reação alcalina, como a ureia, promove o consumo de prótons (H^+) e a elevação do pH ao redor das partículas; assim, mesmo em solos ácidos ocorrem perdas de N por volatilização de NH_3 (ROCHETTE et al, 2009).

A perda de N via lixiviação é dependente do teor de N na solução do solo e do fluxo de água abaixo da zona radicular e geralmente representa a maior porcentagem de perda de N disponível às plantas (ERREBHI et al., 1998). A lixiviação ocorre principalmente na forma de NO_3, pois o íon apresenta carga negativa e não é adsorvido pelos coloides da maioria dos solos brasileiros, onde predominam cargas negativas (PRIMAVESI et al., 2006). Contudo, outras formas de N podem ser perdidas por lixiviação, como o NH_4^+ (PIOVESAN et al., 2009), N_2O (CLOUGH et al., 2005; CHAPUIS-LARDY et al., 2007) e N orgânico dissolvido, sendo que este último pode representar a maior perda via lixiviação, principalmente em solos sob floresta ou pastagens (MURPHY et al., 2000), como observado por QUALLS et al. (1991), em que 94% do total lixiviado em uma floresta decídua foi por formas orgânicas.

A desnitrificação é a redução de formas oxidadas de N (NO_2 e NO_3) a formas gasosas (N_2O, NOx e N_2), pela ação de bactérias anaeróbicas facultativas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Geralmente a perda por N_2O é maior que pelas demais formas. Na Europa, as emissões de N_2O entre 2000 e 2008 foram de 315 mil toneladas por

ano enquanto de N-NOx foram pouco acima de 120 mil toneladas por ano (VELTHOF et al., 2014). Os fatores que interferem na emissão de N_2O são temperatura, pH, teor de NH_4 e NO_3, matéria orgânica, porosidade e umidade do solo (CHARPUIS-LARDY et al., 2007). No entanto, o fator predominante no solo é a porosidade preenchida por água (PPA) (JANTALIA et al., 2006).

Existem outras formas de emissão de N_2 e N_2O, como na nitrificação em condições aeróbicas (BREMNER, 1997) e a emissão pelas plantas vivas, tanto pela absorção de N_2O dissolvido (CHARPUIS-LARDY et al., 2007) como durante a assimilação do nitrato (SMART; BLOOM, 2001).

Dentre as entradas de N no sistema, a deposição atmosférica apresenta quantidades muito variáveis, pois depende da localização, sendo maior em regiões de pecuária intensiva, podendo atingir 60 kg ha^{-1} ano^{-1} (HAYASHI; YAN, 2010). No Brasil, na região Sudeste, a entrada via precipitação foi estimada em 4,7 kg ha^{-1} ano^{-1} (ALLEN et al., 2011).

A adubação das culturas é a principal forma de entrada de N nos agrossistemas, tanto pelo uso de fertilizantes minerais como orgânicos. De maneira geral, o excedente entre a adubação e a exportação pelas culturas é maior em regiões de agricultura intensiva. É difícil afirmar qual valor de excedente seria limitante como causador de danos ambientais, tanto ao solo como para água, uma vez que isso depende de aspectos como clima da região e tipo de solo, entre outros. Em estimativas aponta-se que em países do norte da Europa, como Holanda e Bélgica, e China, os aportes de N superem as saídas em mais de 160 kg ha^{-1} ano^{-1}, tendo em comum nessas regiões a agricultura intensiva e o uso intensivo de fertilizantes (BOUWMAN et al., 2005). Áreas em condição de peri-urbanização na China possuem excedentes de mais de 1000 kg ha^{-1} ano^{-1} (CAO et al., 2007), podendo chegar até 1575 kg ha^{-1} ano^{-1} (HOU et al., 2012), geralmente associados com produção de hortaliças e intenso uso de fertilizantes orgânicos.

Considerando regiões de menor utilização de adubos nitrogenados, a entrada via fixação biológica de N (FBN) assume maior relevância. Estima-se que a contribuição da FBN na entrada de N em solos agrícolas é de 65% (REIS et al., 2006), aliado ao fato da FBN se regular de acordo com o teor de N mineral no solo faz com que esta seja essencial à sustentabilidade dos sistemas de produção.

A FBN apresenta importância tanto pela economia de fertilizantes nitrogenados, como para a cultura da soja, como forma de entrada líquida no sistema solo-

planta, pela adubação verde com leguminosas. Na soja o balanço do N fixado com o exportado é praticamente nulo, sendo que o N fixado corresponde a aproximadamente 80% do N total da planta (ALVES et al., 2002), totalizando de 109 a 250 kg ha^{-1} de N (BODDEY et al., 1990; HUNGRIA et al., 2006).

Os principais fatores limitantes da FBN são a acidez, salinidade, deficiência de P, excesso de N mineral e condições extremas de umidade e temperatura (REIS et al., 2006). O N mineral afeta a FBN de tal forma que a porcentagem do N obtido por meio da FBN pela crotalária em sucessão à vegetação espontânea foi de 79,1% e após cultivo de crotalária foi de apenas 20,8% (CASTRO et al., 2004).

Nas regiões tropicais e subtropicais, a diminuição do potencial produtivo dos solos agrícolas tem sido atribuída, principalmente, aos processos de erosão e decomposição da matéria orgânica do solo, processos que são acentuados pelo revolvimento do solo (SÁ et al., 2001). Em SSD a deposição superficial dos resíduos vegetais e a não-incorporação desses ao solo contribuem para diminuição das perdas de matéria orgânica por erosão e mineralização microbiológica (ANGHINONI, 2007), principalmente pela maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados do solo (AITA; GIACOMINI, 2007), propriedade esta promovida pelo SSD. Após 22 anos de cultivo, o SSD apresentou valores superiores de carbono orgânico e nitrogênio total do solo em comparação com o sistema convencional (DALAL, 1992; SÁ et al., 2001).

Apesar do maior acúmulo de N no solo sob SSD, este sistema proporciona alterações na dinâmica do N. Com relação à volatilização de amônia (NH_3), a presença da palhada em superfície pode aumentar as perdas de N, devido ao aumento da concentração e atividade da urease (MKHABELA et al., 2008; ROCHETTE et al., 2009), enzima que catalisa a hidrólise da ureia, e pelo menor contato do fertilizante com o solo. O maior pH na camada superficial do solo devido à calagem sem revolvimento no SSD também ocasiona aumento das perdas por volatilização (ROCHETTE et al., 2009). Entretanto o SSD, por meio da maior cobertura do solo, promove redução da temperatura e da evaporação de água, além de elevar a CTC, o que pode reduzir as perdas pela volatilização de NH_3 (CERETTA, 1997).

Na ausência da adubação nitrogenada ainda podem ocorrer emissões de amônia pela decomposição da matéria orgânica e emissão pelas plantas (FARQUHAR et al., 1980; SCHJOERRING; MATTSSON, 2001). Considerando que o revolvimento do solo causa maior exposição da matéria orgânica à decomposição, poderia

se concluir que as perdas de N no plantio convencional seriam maiores; entretanto, como no SSD os teores de matéria orgânica são maiores, poderia haver maior quantidade de substrato a ser decomposto, assim, aumentando a emissão de amônia.

A quantidade de nitrato lixiviado é variável em função do teor de nitrato na solução do solo e da quantidade de água que é drenada do sistema. Analisando esses dois fatores, minimizar as perdas de nitrato por lixiviação seria possível pela redução da drenagem interna do solo e redução do teor de nitrato na solução do solo em estádios de baixa exigência de N pelas culturas. A redução da drenagem interna é obtida pela manutenção da absorção de água pelas plantas (MOREIRA et al., 2014) bem como pelo aumento da capacidade de retenção de água (DALMAGO et al., 2009). A redução do teor de nitrato na solução do solo pode ser alcançada também pela manutenção da absorção pelas plantas (FERNANDES; LIBARDI, 2009) e pela imobilização do N (ROSOLEM et al., 2003).

Considerando os fatores elencados anteriormente, o manejo de solo pode influenciar a lixiviação de nitrato. Mkhabela et al. (2008) encontraram menor lixiviação de nitrato sob SSD, devido ao aumento da mineralização da matéria orgânica sob plantio convencional ou pela maior desnitrificação no SSD. Mesmo a escarificação sendo um método de cultivo mínimo, Rekha et al. (2011) observaram maior lixiviação neste manejo comparado ao sistema de semeadura direta. Paul e Clark (1989) sugeriram que o SSD provoca maiores perdas de N por lixiviação pela formação de bioporos contínuos no solo.

O manejo da adubação também influencia a lixiviação e deve ser planejado em conjunto com o manejo da cobertura vegetal. Com a ureia incorporada ao solo, a lixiviação foi reduzida com a incorporação conjunta da palha de aveia (SANGOI et al., 2003).

O maior adensamento do solo na camada superficial no SSD decorrente do efeito cumulativo do tráfego de máquinas e acomodação natural das partículas do solo (KLEIN; BOLLER, 1995), associado às condições de alta umidade, tem propiciado o aparecimento de sítios de anaerobiose, reduzindo o N mineralizado, o que favorece as perdas de N pela emissão de óxido nitroso (CARMO et al., 2005; MKHABELA et al., 2008). O Painel Internacional de Mudanças do Clima (IPCC, 1997) considera como fator de emissão 1,25 % do N aplicado via fertilizantes, segundo estudo conduzido por Bouwman (1996). Apesar da baixa representatividade, o IPCC considera o

potencial de aquecimento global do óxido nitroso como sendo 300 vezes superior ao do CO_2.

Alguns fatores atuam influenciando as emissões de óxido nitroso para a atmosfera. Bhandral et al. (2007) encontraram perdas de N por emissão de óxido nitroso em solo compactado variando de 2,62 a 61,74 kg ha^{-1}, enquanto que em condições de solo não compactado as perdas variaram de 1,12 a 4,37 kg ha^{-1}. As emissões também são influenciadas pela relação C/N, relação lignina/N, teor de N (HUANG et al., 2011; GOMES et al., 2011), teor de NO_3 no solo (CRUVINEL et al., 2011) e sistema de cultivo (SIX et al., 2004).

Como forma de controlar o adensamento do solo no SSD pode ser utilizado o manejo mecânico ou biológico. Dentre os processos mecânicos, os implementos com hastes são mais adequados que os de discos, pois apresentam menor poder desagregador do solo, além de manter maior quantidade de restos culturais em superfície (VERNETTI JÚNIOR; GOMES, 1999). Pelo método biológico, deve ser realizada a rotação de culturas com plantas de cobertura que apresentem sistema radicular vigoroso e com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer (SILVA; ROSOLEM, 2002). Entretanto, dependendo da maneira como é realizado o controle da compactação em solos sob SSD, os efeitos sobre a dinâmica do N podem ser diferenciados.

Mesmo sendo considerado um manejo conservacionista, a escarificação não se diferenciou do preparo convencional na emissão anual de óxido nitroso, enquanto ambos apresentaram valores superiores ao SSD (USSIRI et al., 2009). Outra desvantagem da escarificação é que esta operação não elimina a causa da compactação e deixa o solo suscetível à recompactação (HAMZA; ANDERSON, 2005), podendo atingir condições físicas piores que as encontradas anteriormente à escarificação. Busscher et al. (2002) afirmaram que mesmo que a reconsolidação do solo após a escarificação não seja completa, ela pode ser suficiente para aumentar a resistência do solo à penetração e reduzir a produtividade das culturas. Calonego e Rosolem (2010) observaram maior produtividade da soja após a escarificação, em comparação com milheto, sorgo forrageiro e crotalária júncea, contudo, após três anos a produtividade decresceu em condições de solo escarificado.

As diferentes rotações de culturas utilizadas em SSD também podem afetar a dinâmica do N no solo, em vista das diferenças em exigência nutricional,

profundidade do sistema radicular, quantidade e qualidade do material vegetal que permanece no solo. As leguminosas apresentam a capacidade de fixar N atmosférico e, portanto, podem acrescer nitrogênio ao solo e contribuir na nutrição da cultura subsequente. As gramíneas não apresentam o poder de adicionar nitrogênio ao solo, mas podem evitar que muito nitrogênio seja perdido, por meio da absorção e imobilização do nutriente em sua biomassa (ANDREOLA et al., 2000).

A relação C/N das plantas de cobertura é uma das principais características que afeta a decomposição do material e direciona os processos de mineralização-imobilização do N. A mineralização é definida como a transformação do N de origem orgânica em formas inorgânicas (NH_4^+ ou NH_3). O processo é conduzido por organismos heterotróficos do solo que utilizam substâncias orgânicas nitrogenadas como fonte de C, N e energia. A imobilização do N é definida como a transformação do N inorgânico em N orgânico. Os responsáveis são microrganismos que incorporam o N inorgânico disponível em suas células. Ao morrerem, o N assimilado pode voltar a ser mineralizado ou ser incorporado às células de outros microrganismos e seguir o caminho da síntese de compostos nitrogenados mais complexos que, gradualmente, formam a matéria orgânica do solo (CANTARELLA, 2007). Geralmente materiais com relação C/N em torno de 25 causam equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização, valores superiores a este causam imobilização líquida, enquanto valores inferiores a 25 promovem mineralização líquida de N ao solo (AITA, 1997).

Plantas de cobertura que possuem baixa relação C/N apresentam decomposição mais rápida, o que aumenta os teores de nitrato no solo e, consequentemente, os riscos de perda por lixiviação (ROCHETTE et al., 2004; MÖLLER e REENTS, 2009). A relação C/N dos resíduos culturais também interfere na emissão de óxido nitroso. Quanto menor a relação C/N, maior é a porção de carbono orgânico dissolvido (HUANG et al., 2004), que é uma fonte de C mais disponível às bactérias desnitrificantes. Com a maior atividade microbiana, geram-se sítios de anaerobiose, que associados à maior disponibilidade de N para as reações de desnitrificação, ocasionam maiores emissões de óxido nitroso (HUANG et al., 2004; ROCHETTE et al., 2004; GARCIA-RUIZ e BAGGS, 2007).

As plantas de cobertura ainda podem influenciar a ciclagem do N pela emissão ou absorção de amônia pelos estômatos, dependendo do ponto de compensação de amônia nos tecidos subestomáticos (FARQHUAR et al., 1980).

Schjoerring e Mattsson (2001) avaliaram as emissões de amônia pela colza, trigo, cevada e ervilha e encontraram valores acumulados em um ano agrícola de 1 a 5 kg ha^{-1} de N.

Em condições tropicais, para conseguir manter ou elevar o teor de matéria orgânica e os estoques de N, são necessárias grandes quantidades de C, conjuntamente com grandes quantidades de N, necessário para fixar o C adicionado. Dessa forma, é importante utilizar no esquema de rotação de culturas plantas de cobertura que aportem grande quantidade de C e fixem N atmosférico. Além disso, esse efeito só é atingido a médio e longo prazo (CANTARELLA, 2007).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área experimental

As avaliações foram realizadas entre maio de 2011 e abril de 2013 em experimento instalado desde 2003 na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, em Botucatu-SP. O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distroférrico, estruturado, de textura muito argilosa (EMBRAPA, 1999).

A localização da área experimental está definida pelas coordenadas geográficas: 22º49' Latitude Sul e 48º25' Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 770 metros e declividade variável de 0 a 3%, com clima Cwa, pela classificação de Köppen, caracterizado como subtropical úmido, com precipitação média anual em torno de 1400 mm e temperatura média do mês mais quente superior a 22 ºC e a do mês mais frio inferior a 18 ºC. Os dados de pluviosidade e temperatura média mensal referente ao período de condução do experimento estão apresentados na Figura 1 e foram obtidos na estação agrometeorológica da FCA.

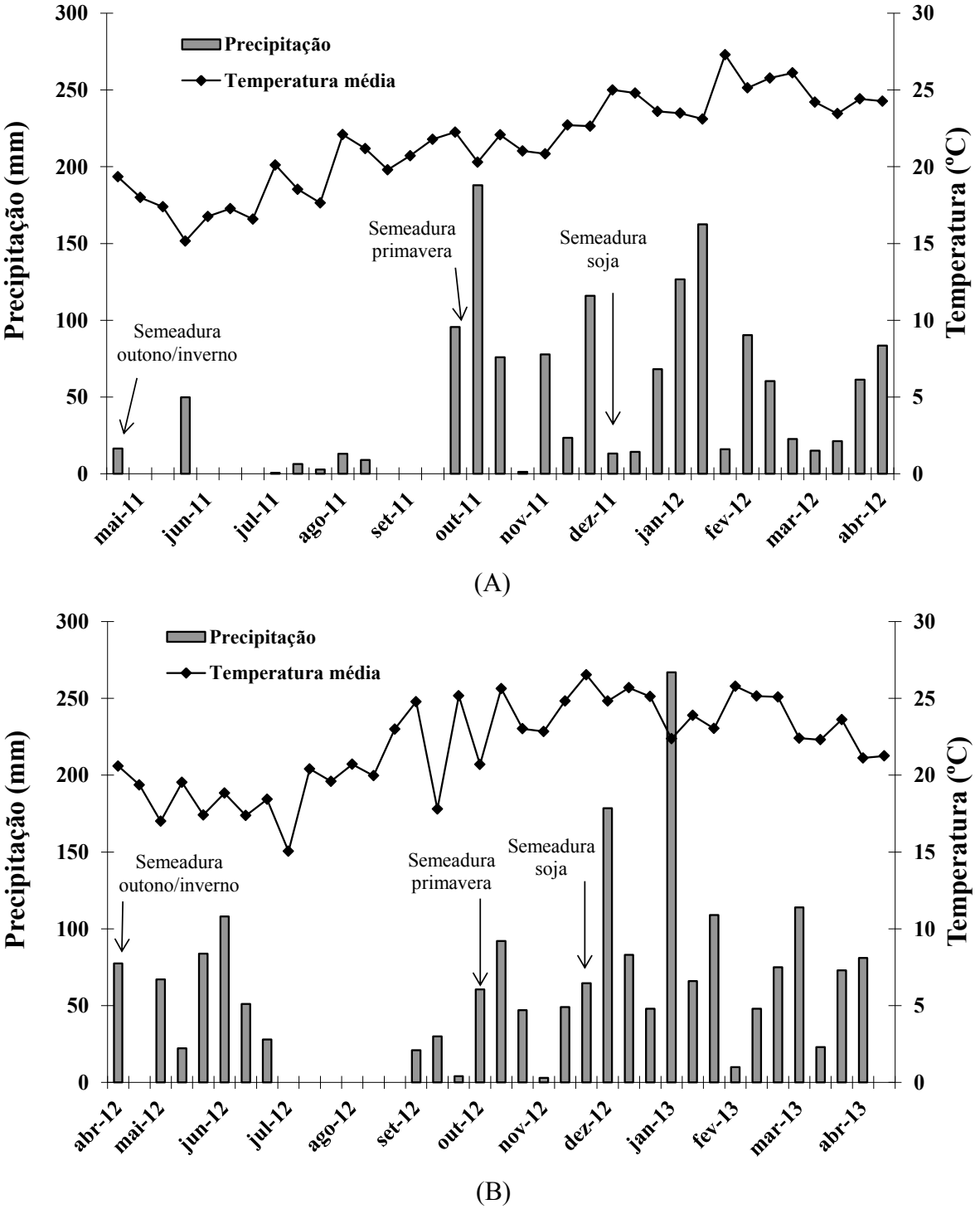

Figura 1. Pluviosidade e temperatura média por decêndios entre maio de 2011 e abril de 2012 (A) e abril de 2012 a abril de 2013 (B). Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi delineado em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelas culturas de

inverno triticale (X *Triticosecale* Wittmack) e girassol (*Helianthus annuus* L.), e as subparcelas pelos manejos de primavera, milheto (*Pennisetum glaucum* L.), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária júncea (*Crotalaria juncea* L.), além da escarificação, que foi realizada em 2003 e 2009, na primavera, sendo que em todos os anos essas subparcelas foram deixadas em pousio. Na safra de verão foi cultivada a soja (*Glycine max* L. (Merril), em todas as subparcelas.

As escarificações foram realizadas em setembro de 2003 e 2009 com escarificador de sete hastes, montados em duas barras paralelas. As hastes foram inclinadas para frente formando um ângulo em torno de 20° a 25°, e espaçadas entre si a 0,60 m em cada barra, resultando em um espaçamento efetivo entre sulcos de 0,30 m, com profundidade de descompactação de 0,30 m. O equipamento era conjugado com discos de corte à frente das hastes e um rolo destorroador para quebrar os torrões maiores, diminuindo a rugosidade do terreno e eliminando a necessidade de realização de gradagem. As operações foram efetuadas com o solo em consistência friável.

5.3 Instalação e condução do experimento

Cada parcela experimental apresentou área útil de 256 m^2 (dimensões: 32 x 8 m). O tamanho da parcela proporcionou a instalação de 16 linhas de semeadura de girassol, com um espaçamento entrelinhas de 0,51 m, e 47 linhas de semeadura de triticale, com um espaçamento entrelinhas de 0,17 m. Nas subparcelas a área útil foi de 40 m^2 (8 x 5 m), sendo possível a semeadura de 29 linhas de milheto, sorgo e crotalária, com um espaçamento entrelinhas de 0,17 m. A soja foi semeada com espaçamento entrelinhas de 0,45 m, resultando em 11 linhas de semeadura. Apenas a cultura da soja recebeu adubação. Foi realizada a avaliação da resistência do solo à penetração no início de outubro de 2012, antes da instalação dos manejos de primavera, no intuito de averiguar a necessidade ou não de nova escarificação.

Os carreadores entre os blocos, entre as parcelas e entre as subparcelas foram dimensionados com 4 m de largura e foram semeados normalmente, sendo considerados como bordaduras. Portanto, o experimento ocupou uma área total de 2944 m^2 (92 x 32 m).

5.3.1 Cultivo das espécies vegetais

5.3.1.1 Culturas de outono-inverno (2011)

Após a colheita da soja, as plantas daninhas da área foram dessecadas mediante aplicação do herbicida glyphosate. A semeadura foi realizada no dia 03/05/2011, utilizando a mesma semeadora-adubadora descrita no item 2.2.1 e sem qualquer adubação.

O triticale (IAC 5) e o girassol (Dow Agrosciences M734) foram semeados com espaçamento entrelinhas de 0,17 m e 0,51 m, respectivamente. Na semeadura do triticale utilizou-se 150 kg ha^{-1} de sementes, com densidade de semeadura definida em 230 sementes m^{-2}. O girassol foi semeado utilizando-se 4 kg ha^{-1} de sementes, com o objetivo de atingir a população de 45 mil plantas ha^{-1}.

O controle de plantas indesejáveis foi realizado por capina manual, não sendo realizados tratamentos fitossanitários. Em setembro foi realizada a colheita manual, amostrando-se 5,44 m² para o triticale e 40 m² para o girassol. As amostras foram trilhadas mecanicamente com equipamento estacionário, secas em estufa de aeração forçada a 60 ºC e pesadas. A produtividade foi calculada em kg ha^{-1}, após correção da umidade para 13%. O restante dos grãos da área experimental foi colhido com colhedora automotriz.

5.3.1.2 Culturas de primavera (2011)

Após a colheita das culturas de inverno, no dia 06/10/2011, realizou-se a dessecação com glyphosate (2 kg ha^{-1} de Scout® e volume de calda de 200 L ha^{-1}). As plantas de cobertura de primavera foram semeadas no dia 11/10/2011, utilizando a mesma semeadora-adubadora descrita no item 2.2.1, sem qualquer adubação e com espaçamento entre linhas de 0,17 m.

Foram utilizados 25 kg ha^{-1} de sementes de milheto cultivar BRS-1501, 30 kg ha^{-1} de sementes de crotalária júncea cultivar IAC-KR1 e 35 kg ha^{-1} de sementes de sorgo forrageiro cultivar BR 700.

Não foram realizados quaisquer tratos fitossanitários. Em 05/12/2011, por ocasião do florescimento, as plantas foram amostradas para determinação do máximo acúmulo de massa de matéria seca, amostrando-se uma área de 0,51 m^2. No mesmo dia as plantas foram dessecadas com aplicação de glyphosate (2 kg ha^{-1} de

Roundup WG® e volume de calda de 200 L ha^{-1}). As amostras coletadas foram secas em estufa de aeração forçada a 60 ºC e posteriormente determinada a massa de matéria seca.

5.3.1.3 Cultura da soja na safra 2011/2012

No dia 12/12/2011 semeou-se a cultura da soja, cultivar Dow Agrosciences 5D688 RR, de ciclo semiprecoce e hábito de crescimento determinado, utilizando a mesma semeadora-adubadora descrita no item 2.2.1, com linhas espaçadas em 0,45 m. As sementes foram depositadas a 0,05 m de profundidade, com população de 355 mil sementes ha^{-1}. As sementes foram tratadas com fungicida carboxin+thiran, inseticida thiamethoxam e inoculante *Bradyrhizobium* sp. A adubação de semeadura foi realizada com 50 kg ha^{-1} de K_2O e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5, na forma de cloreto de potássio e superfosfato triplo, respectivamente.

O controle das plantas indesejáveis foi realizado mediante aplicação do herbicida glyphosate (2 kg ha^{-1} de Scout® e volume de calda de 200 L), em 12/01/2012. Na mesma data foi realizada a aplicação do inseticida lufenuron (150 mL ha^{-1} de Match® CE e volume de calda de 200 L ha^{-1}). Outras aplicações de inseticidas foram realizadas em 08/02/2012 (tiametoxam – 0,25 L ha^{-1} de Platinum®Neo), 29/02/2012 (metamidofós – 0,75 L ha^{-1} de Metamidofós Fersol 600) e 28/03/2012 (acefato – 1,0 kg ha^{-1} de Orthene® 750BR), sempre utilizando um volume de calda de 200 L ha^{-1}. Junto às três últimas aplicações de inseticida, foram efetuadas aplicações de fungicidas: pyraclostrobin+epoxiconazol (0,6 L ha^{-1} de Opera®), azoxystrobin+cyproconazole (0,3 L ha^{-1} de Priori Xtra) e pyraclostrobin+epoxiconazol (0,6 L ha^{-1} de Opera®).

A colheita da soja foi realizada no dia 13/04/2012. Foram coletadas 6 subamostras de 1m de comprimento, perfazendo uma área total de 2,7 m^2 . Amostrou-se uma pequena área devido à grande movimentação dentro das parcelas no decorrer das avaliações e instalação de equipamentos. As amostras foram trilhadas mecanicamente, limpas e posteriormente determinada a massa de matéria seca. O teor de umidade dos grãos foi ajustado para 13% com base na massa seca e os valores convertidos em kg ha^{-1}. O restante dos grãos da área experimental foi colhido com colhedora automotriz.

5.3.1.4 Culturas de outono-inverno (2012)

Após a colheita da soja, as plantas indesejáveis da área foram dessecadas mediante aplicação do herbicida glyphosate. A semeadura das plantas foi realizada em 25/04/2012, utilizando a mesma semeadora-adubadora descrita no item 2.2.1 e sem qualquer adubação.

O triticale (IPR 111) e o girassol (Catissol) foram semeados com espaçamento entrelinhas de 0,17 m e 0,51 m, respectivamente. Na semeadura do triticale utilizou-se 165 kg ha^{-1} de sementes, com densidade de semeadura definida em 390 sementes m^{-2}. O girassol foi semeado utilizando-se, 22 kg ha^{-1} de sementes. No dia 23/05 foi realizada uma aplicação de 4,0 g ha^{-1} de metsulfurom-metilico (600 g kg^{-1}) na cultura do triticale, com auxílio de um pulverizador costal. Na cultura do girassol foi realizada a aplicação de 2,0 L ha^{-1} do herbicida paraquat (200 g kg^{-1}) em jato dirigido na entre linha.

Em setembro foi realizada a colheita manual, amostrando-se as plantas em 2,72 m² para o triticale e em 8,16 m² para o girassol. As amostras foram trilhadas mecanicamente, limpas e posteriormente determinada a massa de matéria seca. O teor de umidade dos grãos foi ajustado para 13% com base na massa seca e os valores convertidos em kg ha^{-1}. O restante dos grãos da área experimental foi colhido com colhedora automotriz.

5.3.1.5 Culturas de primavera (2012)

Após a colheita das culturas de inverno, no dia 10/10/2012, realizou-se a dessecação com glyphosate (2 kg ha^{-1} de Scout® e volume de calda de 200 L ha^{-1}. As plantas de cobertura de primavera foram semeadas no dia 17/10/2012, utilizando a mesma semeadora-adubadora descrita no item 2.2.1, sem qualquer adubação e com espaçamento entre linhas de 0,17 m.

Foram utilizados 25 kg ha^{-1} de sementes de milheto cultivar ADR-300, 30 kg ha^{-1} de sementes de crotalária júncea cultivar IAC-KR1 e 15 kg ha^{-1} de sementes de sorgo sacarino cultivar Silotec 20.

Não foram realizados quaisquer tratos fitossanitários. No dia 03/12/2012 foram coletadas plantas em uma área de 0,51 m^2 para determinação do máximo acúmulo de massa de matéria seca. As amostras foram secas em estufa e armazenadas. Em 04/12/2012 as plantas foram manejadas quimicamente com aplicação de glyphosate (2 kg ha^{-1} de Roundup WG® e volume de calda de 200 L ha^{-1}).

5.3.1.6 Cultura da soja na safra 2012/2013

No dia 05/12/2012 semeou-se a soja, cultivar Monsoy M7211 RR, de grupo de maturação 7.2 e hábito de crescimento indeterminado, utilizando a mesma semeadora-adubadora descrita no item 2.1.1, com linhas espaçadas em 0,45 m. As sementes foram depositadas a 0,05 m de profundidade, com população de semeadura de 445 mil sementes ha^{-1}. As sementes foram tratadas com fungicida carboxin+thiran, inseticida thiamethoxam e inoculante *Bradyrhizobium* sp. A adubação de semeadura foi realizada com 250 kg ha^{-1} do formulado 00-20-20.

O controle das plantas indesejáveis foi realizado mediante aplicação do herbicida glyphosate (produto comercial Roundup WG, na dose de 2 kg ha^{-1} e com volume de calda de aplicação de 200 L ha^{-1}), em 09/01/2013.

O controle de insetos-praga e doenças foi realizado mediante quatro aplicações de defensivos (06/02/2013, 25/02/2013, 01/03/2013 e 09/04/2013), sempre utilizando volume de calda de aplicação de 200 L ha^{-1}. Na primeira, segunda, terceira e quarta aplicações, respectivamente, foram utilizados o inseticida lambda-cialotrina+thiamethoxam (produto comercial Platinum Neo®, na dose de 200 mL ha^{-1}) + fungicida pyraclostrobin+epoxiconazol (produto comercial Opera, na dose de 0,6 L ha^{-1}), inseticida metomil (produto comercial Lannate® BR, na dose de 2 L ha^{-1}) + fungicida pyraclostrobin+epoxiconazol (produto comercial Opera, na dose de 0,6 L ha^{-1}), inseticidas lambda-cialotrina+thiamethoxam (produto comercial Platinum Neo®, na dose de 200 mL ha^{-1}) + clorantraniliprole (produto comercial Premio, na dose de 50 mL ha^{-1}) + fungicida pyraclostrobin+epoxiconazol (produto comercial Opera, na dose de 0,6 L ha^{-1}) e inseticida lambda-cialotrina+thiamethoxam (produto comercial Platinum Neo®, na dose de 200 mLha^{-1}). Junto à quarta aplicação, também foi aplicado o herbicida dessecante paraquat (produto comercial Gramoxone 200, na dose de 2 L ha^{-1})

A colheita dos grãos foi realizada em 16/04/2013. Foram colhidas mecanicamente (colhedora de parcelas) 3 linhas de 7 metros, num total de 9,5 m^2. As amostras foram pesadas e a produtividade foi calculada em kg ha^{-1}, após correção da umidade para 13%. O restante dos grãos da área experimental foi colhido com colhedora automotriz.

5.3.2 Amostragem de solo e plantas

5.3.2.1 Amostragem de solo

No dia 21/12/2011, realizou-se uma amostragem de solo. Para tal, em cada parcela foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 40 cm de largura, 50 cm de comprimento e 80 cm de profundidade. A amostragem foi efetuada no centro das camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de profundidade, tomando o cuidado para se realizar no centro da entrelinha da soja. Para a obtenção de amostras não deformadas utilizou-se anéis volumétricos com 5 cm de altura e 4,8 cm de diâmetro interno, que foram introduzidos no solo por meio da ferramenta denominada "castelinho". Após a coleta dos anéis volumétricos, ainda no campo, foi realizada a limpeza do excesso de solo dos bordos nos anéis por meio de estilete e as amostras foram vedadas com tampas plásticas. Em laboratório, as amostras foram acondicionadas em refrigerador a 2° C.

Para análise do N total, foram realizadas duas amostragens de solo: 16/04/2012 (após a colheita da soja safra 2011/2012) e 23/04/2013(após a colheita da soja safra 2012/2013). As amostras foram coletadas nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, com auxílio de trados do tipo sonda, em três subamostras por subparcela.

O solo amostrado foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com malha de 2 mm e adequadamente armazenado. As amostras foram peneiradas com malha de 2 mm e moídas em moinho de bola, para posterior análise do teor de N-total por meio de analisador elementar automático (Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®) (SWIFT, 1996). Uma amostragem de solo foi realizada após a colheita da soja safra 2010/2011, e submetida à análise de textura (Tabela 1) e análise química, para caracterização do solo da área experimental.

Tabela 1. Análise de textura do solo da área experimental.

Profundidade	Areia	Argila	Silte
m	----------	g kg^{-1}	----------
0,0-0,1	108	655	238
0,1-0,2	100	655	245
0,2-0,4	84	705	211
0,4-0,6	66	730	204
0,6-0,8	75	730	195

5.3.2.1 Amostragem e preparo de palha e plantas

Em setembro de 2011, após a colheita das culturas de outono/inverno, iniciou-se a coleta das amostras de palha. Cada amostra foi composta por três subamostras – de 0,25 m^2 cada –, retiradas aleatoriamente da área útil de cada subparcela. As demais amostragens foram realizadas nas ocasiões de pleno florescimento das culturas (máximo acúmulo de massa de matéria seca), na colheita (grãos) e após a sua colheita ou dessecação (palhada).

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de aeração forçada a 60 ºC até massa constante, pesadas para a determinação da massa de matéria seca (que foi extrapolada para kg ha^{-1}), moídas em moinhos elétricos tipo "Willey", peneiradas (malha de 1 mm), acondicionadas em sacos de papel e armazenadas em sacos plásticos. Amostras das sementes utilizadas na semeadura de todas as culturas foram secas, moídas e acondicionadas para posterior determinação do teor de N, para o cálculo do aporte de N via sementes.

Quando a soja encontrava-se no estádio R2, foram coletadas dez plantas de cada parcela útil para avaliação da nodulação. As plantas foram coletadas com picareta, tomando-se como área de coleta 22,5 cm de cada lada da linha (meio da entrelinha) e profundidade de 20 cm. Os nódulos foram coletados manualmente e as amostras (raízes + solo) ainda foram lavadas sobre peneira de malha de 1 mm, a fim de encontrar nódulos que foram destacados das raízes por ocasião do transporte das mesmas até o laboratório. Os nódulos foram colocados em frasco contendo álcool a 70% e armazenados em refrigerador, para posterior limpeza mais refinada, contagem e secagem, para determinação do número e massa dos mesmos.

5.3.3 Avaliações

5.3.3.1 Determinações em amostras de palhada e plantas

As determinações de N e C no material vegetal foram realizadas em analisador elementar, modelo TruSpec®, marca Leco.Utilizou-se 0,100g de cada amostra, pesadas em cápsula de estanho e em balança com precisão de 0,0001g, interligada ao analisador. As amostras foram introduzidas no reator de combustão por meio de amostrador automático e queimadas a 950 ^{o}C.

Com a determinação dos teores de C e N das amostras e de posse da massa de matéria seca das mesmas, foi possível calcular a relação C/N e a quantidade

de N presente na palhada e/ou nas plantas. Com a determinação do teor de N nos grãos e da produtividade, foi calculada a exportação de N.

5.3.3.2 Perdas de N por emissão de N_2O e NH_3

Para a coleta de gases pelo método de Bowden et al. (1990) e determinação do fluxo de N-N_2O proveniente do solo, foram confeccionadas câmaras de coleta (Figura 2). As câmaras são compostas por duas partes: a base de aço galvanizado com dimensões de 0,30 m de diâmetro e 0,13 m de altura e a tampa plástica com 0,09 m de altura e 0,30 m de diâmetro. As câmaras foram instaladas (enterradas) a ± 3 cm de profundidade, no centro de cada subparcela, logo após a semeadura de cada cultura. As tampas possuem um orifício (no qual acopla-se a seringa para a retirada das amostras), e são colocadas sobre as bases somente no momento da coleta, quando são acopladas à canaleta lateral da base. A fim de evitar a perda de gás, antes de cada coleta a caneleta de cada base foi preenchida com água até a metade.

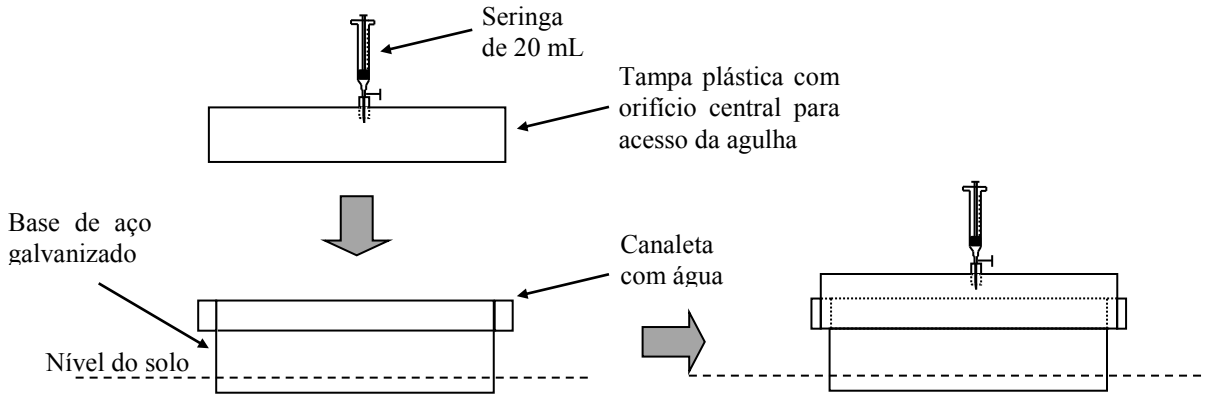

Figura 2. Esquema de montagem das câmaras de coleta de gases.

Foram realizadas avaliações nas safras de outono/inverno (2012), primavera (2012) e soja (2012/2013). As coletas na safra de outono/inverno foram realizadas aos 2, 5, 8, 15, 30 e 60 dias após a semeadura (Figura 3). Inicialmente a 1ª amostragem seria realizada no 1º dia após a semeadura, mas devido a intensa pluviosidade no dia da semeadura, o solo ficou muito encharcado e prejudicaria as coletas. O período de incubação das amostras após o fechamento das câmaras foi de 0, 5, 10 e 20 minutos. Na amostragem, o êmbolo da seringa foi acionado três vezes, a torneira foi fechada e a amostra encaminhada para o laboratório onde foi transferida para frascos de vidro, previamente submetidos a vácuo. Simultaneamente às coletas, foram monitoradas a

temperatura e umidade da superfície do solo em cada unidade experimental por meio do equipamento Procheck Soil Moisture e sensor 5TM (Decagon Devices), adjacente a base.

Figura 3. Detalhe da câmara e suporte juntamente com as seringas, no momento da coleta da amostra.

As amostragens na safra de primavera foram realizadas aos 1, 5, 8, 15, 30 e 49 dias após a semeadura. A última amostragem foi realizada aos 49 dias porque no dia seguinte as plantas de cobertura foram manejadas e foi realizada também a semeadura da soja. Na safra de soja as amostragens foram realizadas aos 1, 5, 8, 15, 30 e 60 dias após a semeadura. O período de incubação das amostras após o fechamento das câmaras foi de 0, 10, 20 e 40 minutos. Na safra de primavera e da soja as leituras no cromatógrafo foram realizadas logo após a obtenção das amostras, sem o armazenamento dos gases em frascos, pois foi verificado que este processo aumenta as chances de contaminação das mesmas.

A partir dos dados de concentração de cada período de incubação na câmara, foi calculada a inclinação da curva para cada parcela nos referidos dias de amostragem. A partir destes dados, utilizou-se a equação de Jantalia et al. (2008):

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} x \frac{v}{a} x \frac{m}{Vm}$$

onde:

ΔC e Δt correspondem ao coeficiente angular da equação de reta ajustada, ou seja, a variação da concentração do gás (N_2O) na câmara durante o tempo de incubação; *v* e *a:* volume e área da câmara, respectivamente; *m* e V*m*: a massa molar do gás e volume molar.

Desta forma, o volume e área da câmara corresponderam respectivamente a 0,012776 m^3 e 0,07065 m^2 e a massa molar do N_2O a 44,0128 g mol^{-1}.

Para o cálculo do volume molar, utilizou-se a equação do gás ideal: $f = PxV = \eta xRxT$, onde: P e V correspondem à pressão e volume respectivamente; n, R e T correspondem a mols do gás, constante universal dos gases e temperatura do ambiente, respectivamente. Para este dado, foi utilizada a temperatura obtida a 5 cm de profundidade do solo adjacente a cada parcela no dia de cada coleta.

As amostragens referentes às emissões de NH_3 foram iniciadas juntamente à coleta de gases para análise do fluxo de N_2O, uma vez que ambas são necessárias para o cálculo do balanço do N. Cada coletor de NH_3 foi composto por uma haste de ferro (com 1,5 m de comprimento e diâmetro de 3/8), uma pinça giratória para bureta e um absorvedor de espuma, adaptados de Oliveira et al. (2008). Cada absorvedor foi composto por uma espuma (com dimensão de 8 x 8 cm e densidade de 23 $kg.m^{-3}$) e uma placa de PVC transparente (com dimensão de 10 x 10 cm e 2 mm de espessura) envoltas por uma camada de fita de politetra-fluoroetileno (fita veda-rosca), que é permeável à amônia e impermeável à água. Os coletores foram instalados nas subparcelas, sendo os absorvedores colocados a 3 cm do dossel das plantas (Figura 4).

Figura 4. Esquema do coletor de N-NH_3.

Os absorvedores foram trocados a cada 10 dias. Antes de serem levadas para o campo, as espumas foram embebidas em 11 mL de solução de glicerina e ácido fosfórico 0,5 N. Uma vez recolhidas, as espumas foram lavadas com 200 mL de solução de H_2SO_4 0,0005 N. De cada amostra, duas alíquotas de 50 mL foram tomadas e

analisadas pelo método microkjeldahl. Os resultados foram obtidos em mg por espuma e extrapolados para kg ha^{-1}.

5.3.3.3 Perdas de N por lixiviação

Do mesmo modo como ocorrido para as análises de emissão de N_2O e NH_3, as determinações de lixiviação de N foram iniciadas por ocasião da semeadura das culturas de outono/inverno de 2012.

Para o cálculo do fluxo de água, foram instalados tubos de acesso (Figura 5) para realizar leituras de umidade do solo através de uma sonda de capacitância (modelo Diviner®, Sentek Pt Ltda.).

Figura 5. Detalhes da instalação dos tubos de acesso.

Os extratores de solução do solo foram adaptados de Reichardt et al. (1977). A unidade extratora constou de uma cápsula de cerâmica fixada – com cola epóxi e silicone – a um tubo de PVC de 0,5 polegadas e 7 cm de comprimento. Na outra extremidade do tubo foi colocada uma rolha de borracha a fim de promover total vedação da unidade extratora. Nessa rolha foram introduzidas duas agulhas com dimensão de 1,60 x 40 mm, uma ligada ao tubo de nylon pelo qual é aplicado o vácuo e outra com um tubo de

nylon prolongando a sua ponta até o fundo da cápsula e ligada a outro tubo de nylon, que serve para conduzir a solução do solo de dentro da cápsula para o recipiente coletor.

Foi confeccionada uma rosca na parte externa da extremidade do tubo na qual a rolha é colocada. A esta rosca foi colocada uma luva e outro tubo de PVC de igual diâmetro, com 80 cm, que serve para proteger os tubos de nylon. Na outra extremidade do tubo de nylon responsável por conduzir a solução do solo foi colocada uma agulha, que passa por uma rolha de silicone, responsável por vedar o recipiente coletor de solução. Na mesma rolha de silicone foi colocada outra agulha e uma torneira de três vias, que serviram para liberação da pressão do sistema.

O monitoramento do conteúdo de água foi feito até 0,80 m de profundidade por meio de leituras periódicas com a sonda, sendo com maior frequência após a ocorrência de chuvas e menor frequência à medida que o solo secava.

Foram instalados dois tubos de acesso próximos ao experimento a fim de calibrar a sonda (Figura 6). Foi necessário determinar a densidade do solo para posteriormente correlacionar os valores de umidade volumétrica com os dados do sensor.

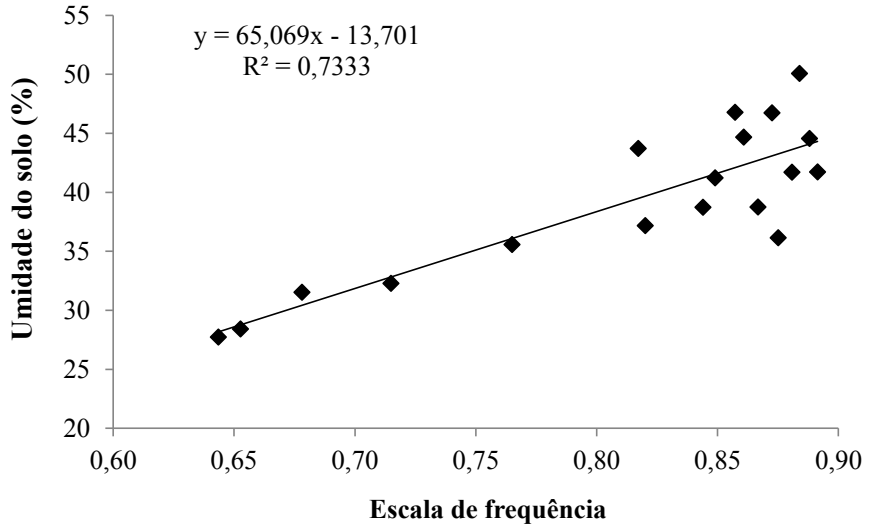

Figura 6. Equação de calibração da sonda Diviner®.

Os extratores de solução do solo foram instalados a 50 cm dos tubos de acesso e a 80 cm de profundidade. A extração da solução do solo foi realizada sempre que possível. A solução do solo foi extraída pela aplicação de vácuo de -0,6 bar no sistema. O vácuo foi aplicado com bomba manual, sendo mantido pelo fechamento do tubo

de conexão entre o extrator e a bomba de vácuo. O intervalo entre a aplicação do vácuo e o recolhimento da solução do solo foi de um dia.

As amostras de solução do solo coletadas foram armazenadas em tubos tipo falcon com capacidade para 50 mL e acondicionadas em refrigerador. A solução do solo foi filtrada em filtro quantitativo e a determinação do $N\text{-}NO_3^-$ foi efetuada por espectrofotometria de absorção ultravioleta (EATON et al., 1993). Foram realizados testes para adequação da metodologia para análise do $N\text{-}NH_4^+$ e, em todos os casos, os valores obtidos foram desprezíveis, de modo que o $N\text{-}NH_4^+$ não foi considerado no cálculo da perda de N por lixiviação.

Os cálculos de drenagem foram realizados pelo método do balanço hídrico seguindo o modelo "dual-crop FAO-56" (ALLEN et al., 1998).

Neste método, a drenagem é dada por:

$$D = P - ET - \Delta S$$

onde:

D é a drenagem de água no período (em mm), P é a precipitação no período (em mm), ΔS é variação no estoque de água no solo no período (em mm) e ET é a evapotranspiração no período (em mm).

A ET foi calculada pela fórmula:

$$ET = (K_s K_{cb} + K_e)\, ET_0$$

onde:

K_s é o coeficiente de estresse hídrico, K_{cb} é o coeficiente basal da cultura, K_e é o coeficiente para evaporação de água a partir do solo exposto e ET_0 é a evapotranspiração de referência.

A ET foi calculada diariamente, sendo somada para cada período, que foi composto pelo intervalo entre leituras de umidade do perfil do solo pela sonda de capacitância. De posse dos dados de drenagem de água e teor de nitrato, foi calculada a lixiviação de nitrato, segundo recomendações de Lord e Shepherd (1993).

Devido à ocorrência de algumas chuvas mais intensas, constatou-se a necessidade de inserir no modelo o componente de escorrimento superficial. O

escoamento superficial foi calculado pelo método do número de escoamento, ou "runoff curve number method", como sugerido pro Soltani e Sinclair (2012). Assim como textura e o relevo, o teor de água no solo é fator determinante para o escoamento superficial de água, que será maior quanto mais saturado o solo estiver. O coeficiente que determina o efeito do teor de água no solo no escoamento superficial (SWRN) (RITCHIE, 1998) está apresentado na equação abaixo:

$$SWRN = 0{,}15 * ((SWC_{sat} - SWC_{total}) / (SWC_{sat} - SWC_{wp}))$$

onde:

SWC_{sat} representa a umidade volumétrica do solo no ponto de saturação (representada pelo valor da macroporosidade), SWC_{total} representa a real umidade volumétrica do solo e SWC_{wp} representa a umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente (determinado em amostra deformada a -1500 kPa). Esse fator foi usado para a determinação do escoamento superficial (Runoff), dado em mm:

se precipitação > SWRN * *S*, Runoff = $(\text{Precipitação} - \text{SWRN} * S)^2/(\text{Precipitação} + 0.8*S)$

se precipitação < SWRN * *S*, Runoff = 0

S é o parâmetro de retenção, que se relaciona com o "curve number" (CN) do solo. O CN de um solo varia de 0, que representa a ausência de qualquer escoamento superficial, a 100. No presente estudo utilizou-se um CN de 40.

$$S = 254 * (100/CN-1)$$

5.3.3.4 Entradas de N

As entradas consideradas foram via sementes, deposições atmosféricas (água da chuva e deposições sólidas) e água utilizada nas pulverizações.

As amostras das sementes utilizadas foram secas, moídas e analisadas em analisador elementar automático (Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®) para determinação do teor de N (SWIFT, 1996). A partir do teor de N e da dose de semente utilizada em cada safra, calculou-se o aporte de N.

As coletas de água da chuva foram realizadas desde a semeadura de outono/inverno de 2012 até a colheita da soja 2012/2013. Para a coleta utilizaram-se copos plásticos, instalados ao lado do experimento. As amostras foram armazenadas em frascos plásticos e acondicionadas em geladeira a ±4 °C, até determinação do teor de N-total, pelo método microkjeldahl. O teor de N na água das pulverizações foi determinado pelo mesmo método, sendo multiplicado pelo volume de calda aplicado em cada operação.

5.3.3.5 Balanço de fluxo de N nos sistemas

O balanço de fluxo de N nos sistemas foi calculado apenas no segundo ano de condução do experimento. Foram consideradas as entradas e as saídas avaliadas de N, e o balanço se deu pela diferença entre as mesmas, conforme a equação:

Balanço N (kg ha^{-1}) = (Ns + Nd + Np) – (ExpN + N-NH_3 + N-N_2O +N-NO_3^-)

Em que:

Ns = entrada de N via sementes (kg ha^{-1})

Nd = entrada de N via deposição atmosférica (kg ha^{-1})

Np = entrada de N via água utilizada na pulverização de defensivos (kg ha^{-1})

ExpN = N exportado via grãos de girassol, triticale e soja (kg ha^{-1})

N-NH_3 = N perdido via emissão de amônia (kg ha^{-1})

N-N_2O = N perdido via emissão de óxido nitroso (kg ha^{-1})

N-NO_3^- = N perdido via lixiviação de nitrato (kg ha^{-1})

5.4. Análise estatística dos resultados

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste F, para culturas de outono/inverno, e teste t (LSD), para o manejo de primavera, a 5% de probabilidade.

Os resultados referentes à variação sazonal do fluxo de N_2O, emissão diária de N-NH_3, drenagem de água e teor de NO_3^- na solução do solo não foram submetidos a análise estatística. Estes são apresentados apenas para ajudar na compreensão das perdas totais de N.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resistência à penetração

Pôde-se observar que no manejo escarificado o solo apresentou maior resistência à penetração na camada de 2,5 a 7,5 cm, mas abaixo de 15 cm a resistência do solo à penetração foi menor, demonstrando ainda haver efeito da escarificação (Figura 7), não se realizando nova escarificação.

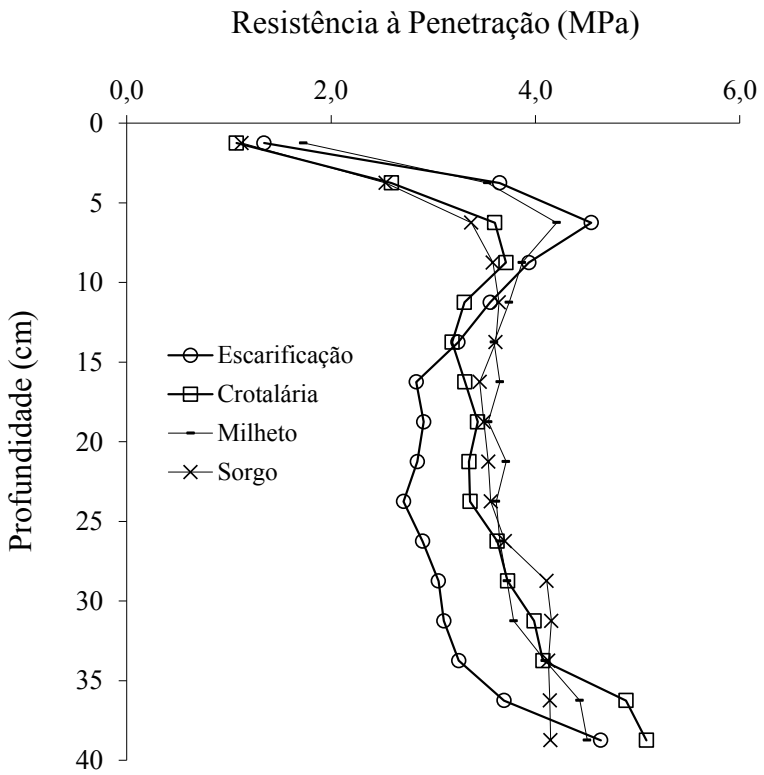

Figura 7. Resistência do solo à penetração relacionada aos manejos de primavera, em outubro de 2012.

6.2 Entradas de N

A entrada de N pela deposição atmosférica foi de 6,8 kg ha^{-1}, com precipitação acumulada de 1984 mm, desde a semeadura das culturas de outono/inverno de 2012 até a colheita da soja safra 2012/2013. A entrada de N pela água das pulverizações totalizou 0,8 kg ha^{-1}.

O aporte de N via sementes foi maior nas culturas do triticale, crotalária e soja. Apesar do teor de N do triticale ser baixo, a grande quantidade de sementes utilizada favoreceu o maior aporte, ao contrário da crotalária e da soja, que apresentaram maior aporte de N pelo alto teor de N nas sementes (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de N, quantidade de semente utilizada e aporte de N pela semeadura das culturas utilizadas na safra 2012/2013.

Cultivo	N	Semeadura	Aporte N
Outono/Inverno	g kg^{-1}	-------- kg ha^{-1} --------	
Girassol	33,0	22	0,7
Triticale	18,4	165	3,0
Primavera			
Crotalária juncea	81,1	30	2,4
Milheto	22,6	25	0,6
Sorgo forrageiro	17,9	15	0,3
Verão			
Soja	67,4	70	4,7

6.3 Massa de matéria seca, relação C/N, teor e acúmulo de N na parte aérea das plantas

6.3.1 Culturas de outono/inverno 2011

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa para nenhuma das variáveis. O girassol produziu pouca massa de matéria seca (Tabela 3) devido à baixa população estabelecida, o que foi agravado pela reduzida pluviosidade (Figura 1A). Pivetta et al. (2012) obtiveram produção de matéria seca de 7400 kg ha^{-1} deste mesmo híbrido em segunda safra no oeste do Paraná, contudo em condições de adequado suprimento hídrico e com adubação mineral. Esses resultados demonstram o alto potencial produtivo do material utilizado e denotam que o mesmo não tolera intenso déficit hídrico. Espécies que não possuem características de perfilhamento ou engalhamento, como milho e girassol, possuem plasticidade fenotípica limitada. Devido

a isso, considera-se que os efeitos de falhas no estande sejam mais prejudiciais do que em culturas como soja, trigo ou triticale. Destaca-se a resistência do triticale ao déficit hídrico, sendo uma boa opção para regiões de inverno seco e frio.

Tabela 3. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de inverno na safra 2011, na fase de pleno florescimento, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	MMS	N	Relação C/N	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}		kg ha^{-1}
Girassol	589 B	18,4 A	21,7 B	10,6 B
Triticale	2837 A	11,3 B	37,1 A	32,0 A
Manejos de Primavera				
Milheto	1923	14,5	30,3	22,6
Sorgo	1464	14,6	29,9	17,9
Crotalária	1662	15,4	28,7	21,1
Escarificação	1804	14,9	28,7	23,6
CV Out-Inv (%)	22,18	12,57	12,12	5,74
CV Prim (%)	21,70	15,26	14,90	31,44

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas para culturas outono/inverno diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

O teor de N foi superior no girassol (Tabela 3). Contudo, o acúmulo de N foi menor, devido à maior massa de matéria seca do triticale. A relação C/N foi superior no triticale, sendo quase o dobro do encontrado no girassol. Comparativamente ao observado no experimento, Giacomini et al. (2003), avaliando plantas de cobertura de inverno no Rio Grande do Sul, observaram maior acúmulo de N na ervilha comum, apesar da maior massa de matéria seca da aveia preta nos três anos estudados. Para relação C/N observou-se maior valor para a gramínea aveia preta, tal qual como observado no triticale (Tabela 3).

Considerando a média das culturas de outono/inverno, não houve diferença entre manejos de primavera, ou seja, o girassol e o triticale não se alteraram pelos manejos de primavera em anos anteriores a 2011, uma vez que o experimento foi instalado em 2003 e esses manejos podem apresentar efeito cumulativo desde então (Tabela 3).

6.3.2 Plantas de cobertura de primavera 2011

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera foi significativa para todas as variáveis. De maneira geral a massa de matéria seca das

plantas de cobertura foi baixa, devido ao curto período de condução, causado pelo atraso no início das chuvas (Tabela 4).

Tabela 4. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de primavera na safra 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera		
	Milheto	Sorgo	Crotalária
	---------- MMS, kg ha^{-1} ----------		
Girassol	1461 Aa	751 b	737 b
Triticale	800 B	689	1028
CV Out-Inv (%)	54,54	CV Prim (%)	34,48
	---------- N, g kg^{-1} ----------		
Girassol	33,4 Aa	25,9 Ab	36,1 a
Triticale	22,6 Bb	21,3 Bb	34,0 a
CV Out-Inv (%)	7,11	CV Prim (%)	6,59
	---------- Relação C/N ----------		
Girassol	12,4 Bb	16,2 Ba	11,6 b
Triticale	18,2 Aa	19,8 Aa	12,2 b
CV Out-Inv (%)	5,75	CV Prim (%)	9,34
	---------- Acúmulo de N, kg ha^{-1} ----------		
Girassol	48,3 Aa	20,2 b	26,2 b
Triticale	17,9 Bb	14,3 b	35,3 a
CV Out-Inv (%)	60,86	CV Prim (%)	32,13

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para culturas de outono/inverno e minúsculas para manejos de primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

Entre as plantas de cobertura de primavera, foi observada diferença na MMS apenas em sucessão ao girassol, sendo o milheto superior aos demais (Tabela 4). Em sucessão ao girassol, o teor de N foi maior no milheto e crotalária. Em sucessão ao triticale, a crotalária apresentou maior teor de N. Para o sorgo e o milheto, o maior teor de N foi observado em sucessão ao girassol, mas para a crotalária, o teor não dependeu da cultura de outono/inverno antecessora. A relação C/N do sorgo foi superior ao milheto e crotalária em sucessão ao girassol. Em sucessão ao triticale a crotalária apresentou menor relação C/N que o sorgo e o milheto. O efeito das culturas de outono/inverno nas plantas de cobertura de primavera só foi significativo para o sorgo e o milheto, onde a sucessão com girassol reduziu a relação C/N, devido ao maior teor de N promovido pelo girassol. Da mesma forma que o teor, a relação C/N da crotalária não se foi afetada pelas culturas de outono/inverno. Em sucessão ao girassol, o maior valor de N acumulado foi do milheto e após o triticale a crotalária produziu o maior acúmulo de N. O N acumulado apenas se

diferenciou entre as culturas de outono/inverno para o milheto, sendo maior após o girassol. O acúmulo de N demonstrou a alta capacidade de absorção e de N e acúmulo de massa pelo milheto, sendo inclusive superior à leguminosa quando em sucessão ao girassol.

6.3.3 Soja safra 2011/12

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera foi significativa apenas para o teor de N e relação C/N. A massa de matéria seca da soja não se diferenciou entre os tratamentos (Tabela 5). Contudo, o teor de N da parte aérea da soja em sucessão ao triticale foi superior com a utilização da crotalária em comparação com a escarificação/pousio (Tabela 6). Apesar da diferença no teor, o acúmulo de N não se diferenciou (Tabela 5), ao contrário da relação C/N (Tabela 6), que apresentou comportamento semelhante ao teor. Apesar de a soja apresentar associação simbiótica, a FBN não atende totalmente a necessidade da cultura, com valores oscilando entre 70 a 88% do N total acumulado (BODDEY et al., 1990; ALVES et al., 2006a), dessa forma, o maior acúmulo de N e menor relação C/N da crotalária na safra de primavera (Tabela 4) podem ter promovido maior disponibilidade de N à soja.

Tabela 5. Massa de matéria seca (MMS) e N acumulado na fase de pleno florescimento da soja, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	MMS	Acúmulo de N
	---------- kg ha^{-1} ----------	
Girassol	4817	156
Triticale	4842	157
Manejos de Primavera		
Milheto	5017	162
Sorgo	4600	152
Crotalária	4698	158
Escarificação	5003	156
CV Out-Inv (%)	18,74	19,35
CV Prim (%)	15,22	17,02

Tabela 6. Teor de nitrogênio e relação C/N da soja na fase de pleno florescimento, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera			
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação
	---------- N, g kg^{-1} ----------			
Girassol	32,2	32,8	31,4	33,6
Triticale	33,4 ab	33,3 ab	36,1 a	29,3 b
CV Out-Inv (%)	12,81	CV Prim (%)	9,02	
	---------- Relação C/N ----------			
Girassol	14,9	14,6	15,2	14,1
Triticale	14,3 b	14,4 ab	13,4 b	16,2 a
CV Out-Inv (%)	11,42	CV Prim (%)	8,78	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas para manejos de primavera, diferem entre si pelo teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

6.3.4 Cultivo de outono/inverno 2012

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa para nenhuma das variáveis. A massa de matéria seca do triticale foi superior ao girassol, devido ao triticale ser mais tolerante às temperaturas baixas do inverno (Tabela 7). Em 2012 a produção de matéria seca de ambas as culturas foi maior que em 2011 devido à maior disponibilidade hídrica (Figura 1B). Aliado a isso, a emergência do girassol em 2012 foi satisfatória, sendo que o incremento na matéria seca do girassol foi maior que do triticale. Contudo, a massa de matéria seca de ambas as culturas foi abaixo do potencial das mesmas, possivelmente pela ausência de adubação e em especial para o girassol, pela utilização de uma cultivar mais rústica (Catissol) em comparação ao híbrido utilizado em 2011 (Dow Agrosciences M734). Sodré Filho et al. (2004) testaram culturas como cobertura de solo em sucessão ao milho no Cerrado e mesmo sob intenso déficit hídrico o girassol produziu matéria seca similar ao obtido neste experimento, contudo os autores não especificam a cultivar utilizada.

A crotalária proporcionou maior crescimento das culturas de outono/inverno, possivelmente pelo maior teor de N deixado pelos restos culturais da leguminosa. Ao contrário do esperado o teor de N não se diferenciou entre os tratamentos, o que fez o acúmulo de N ser maior no triticale, entre as culturas de outono/inverno, e na crotalária, entre os manejos de primavera, devido à maior produção de matéria seca por esses tratamentos. Redin (2014) observou maior acúmulo de N no girassol (95,6 kg ha^{-1}) comparado ao triticale (18,8 kg ha^{-1}). Isso ocorreu devido à grande diferença entre a massa de matéria seca, que foi de 9200 kg ha^{-1} para girassol e 3800 kg ha^{-1} para triticale. Sob

condições ambientais favoráveis, nota-se que o girassol possui grande potencial de produção de matéria seca.

A relação C/N observada em 2012 entre as culturas de outono/inverno não apresentou diferença (Tabela 7), diferentemente do ano de 2011 onde o triticale foi superior. Redin (2014) também observou superioridade da relação C/N em triticale (95) em comparação com girassol (45).

Tabela 7. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de inverno na safra 2012, na fase de pleno florescimento, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	MMS	N	Relação C/N	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}		kg ha^{-1}
Girassol	2356 B	10,74	42,6	25,7 B
Triticale	4057 A	10,11	46,6	41,2 A
Manejos de Primavera				
Milheto	3059 b	10,43	44,2	31,8 b
Sorgo	2987 b	9,75	47,0	28,9 b
Crotalária	3679 a	11,13	42,6	40,4 a
Escarificação	3103 b	10,38	44,4	32,6 ab
CV Out-Inv (%)	11,19	20,34	19,51	29,79
CV Prim (%)	15,14	12,5	12,49	22,12

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

6.3.5 Cultivo de primavera 2012

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa apenas para o teor de N. A massa de matéria seca das plantas de cobertura de primavera não se diferenciou em sucessão ao triticale, contudo, após o girassol, a crotalária apresentou menor massa que o milheto e o sorgo (Tabela 8), o que demonstra que a imobilização de N pela palhada do triticale limitou o crescimento do sorgo e do milheto, apesar da relação C/N do girassol e do triticale na safra anterior não se diferenciarem (Tabela 7). A menor disponibilidade de N pelo triticale pode estar relacionada com a quantidade de palhada e a qualidade do C de sua palhada. Foram avaliados os teores de carboidratos estruturais nas palhadas das culturas na safra 2012/2013 e observou-se poucas diferenças entre girassol e triticale para celulose (triticale 49% e girassol 48%) e lignina (triticale 17% e girassol 21%), entretanto, a hemicelulose foi o dobro no triticale (20%) em relação o girassol (10%).

Torres et al. (2005) observaram variação na massa de matéria seca em milheto e sorgo nos dois anos estudados e não observaram variação na crotalária. O milheto e o sorgo mostraram maior potencial produtivo no ano de maior pluviosidade, acumulando 10000 kg ha^{-1} (milheto) e 7000 kg ha^{-1} (sorgo). No ano de menor pluviosidade o milheto produziu 3600 kg ha^{-1} e o sorgo produziu 4000 kg ha^{-1}. A crotalária juncea alcançou aproximadamente 3800 kg ha^{-1} nos dois anos avaliados.

Tabela 8. Massa de matéria seca (MMS), acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das culturas de primavera na safra 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera		
	Milheto	Sorgo	Crotalária
	---------- MMS, kg ha^{-1} ----------		
Girassol	1161 Aa	1165 Aa	678 b
Triticale	723 B	856 B	862
CV Out-Inv (%)	10,35	CV Prim (%)	16,14
	---------- Relação C/N ----------		
Girassol	25,6 Ba	16,1 Bb	12,5 c
Triticale	36,5 Aa	20,7 Ab	13,4 c
CV Out-Inv (%)	9,02	CV Prim (%)	21,52
	---------- Acúmulo de N, kg ha^{-1} ----------		
Girassol	19,4 Ab	31,0 Aa	23,8 ab
Triticale	8,4 Bc	17,4 Bb	28,0 a
CV Out-Inv (%)	9,02	CV Prim (%)	21,52

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

O teor de N, na média das culturas, foi superior após o girassol (Tabela 9). Entre as plantas de cobertura de primavera, o teor de N foi maior na crotalária, intermediário no sorgo e menor no milheto (Tabela 9). Torres et al. (2005) observaram maior teor de N na crotalária (30,3 g kg^{-1}), seguido do milheto (16,1 g kg^{-1}) e do sorgo (11,8 g kg^{-1}).

Devido ao maior teor de N, a relação C/N da crotalária foi a menor, seguida do sorgo e do milheto (Tabela 8). Em sucessão ao girassol, o maior acúmulo de N foi observado no sorgo (Tabela 8), devido à maior massa de matéria seca associado ao teor de N intermediário (Tabela 9). Em sucessão ao triticale a crotalária apresentou o maior acúmulo de N (Tabela 8). Torres et al. (2005) observaram maior acúmulo de N no milheto no primeiro ano (165,6 kg ha^{-1}), em virtude do maior acúmulo de matéria seca. No segundo

ano, com menor pluviosidade, a produção de matéria seca das culturas foi similar e o maior teor de N na crotalária resultou em maior acúmulo (76,4 kg ha^{-1}).

Tabela 9. Teor de N, em g kg^{-1}, da parte aérea das culturas de primavera na safra 2012, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Teor de N
Girassol	26,07 A
Triticale	21,48 B
Manejos de Primavera	
Milheto	14,16 c
Sorgo	23,35 b
Crotalária	33,82 a
CV Out-Inv (%)	5,12
CV Prim (%)	6,28

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

Vale lembrar que os menores valores de massa de matéria seca observados no presente experimento ocorreram em função do curto período de tempo disponível para o crescimento das plantas de cobertura. No ano de 2012, entre o intervalo da semeadura das plantas de cobertura de primavera e a dessecação para a semeadura da soja, passaram-se apenas 49 dias.

6.3.6 Soja safra 2012/13

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa para nenhuma das variáveis. A massa de matéria seca da soja no pleno florescimento foi superior em sucessão à crotalária, entre os manejos de primavera, não se diferenciando entre as culturas de outono/inverno (Tabela 10).

O teor de N não foi afetado pelos tratamentos, dessa forma o acúmulo de N seguiu comportamento similar à massa de matéria seca. A relação C/N também não se diferenciou entre os tratamentos. O maior crescimento da soja após a crotalária não pode ser devido à FBN do adubo verde, uma vez que a soja não necessita deste N para o seu desenvolvimento. Pivetta et al. (2011a) observaram inclusive maior crescimento radicular da soja em várias profundidades e distâncias da linha de semeadura após o sorgo e o milheto em comparação com a crotalária e a escarificação, neste mesmo experimento. Dessa forma a crotalária deve estar favorecendo a soja por outros fatores,

como o aumento do teor de carbono orgânico total, carbono particulado e carbono associado à minerais, até a camada de 0,20 m (RAPHAEL, 2014).

Tabela 10. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea da soja na fase de pleno florescimento, safra 2012/2013, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	MMS	N	Relação C/N	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}		kg ha^{-1}
Girassol	5008	33,47	13,8	167
Triticale	4936	34,25	13,8	170
Manejos de Primavera				
Milheto	5135 ab	35,49	13,0	182 a
Sorgo	4663 b	33,12	13,9	154 b
Crotalária	5465 a	35,25	13,1	194 a
Escarificação	4625 b	31,57	15,1	145 b
CV Out-Inv (%)	8,9	11,31	10,14	19,72
CV Prim (%)	12,35	13,16	13,74	14,01

Médias seguidas de letras minúsculas distintas para primavera diferem entre si pelo teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

6.4 Massa de matéria seca, relação C/N, teor e acúmulo de N na palhada

6.4.1 Cultivo de outono/inverno 2011

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera foi significativa apenas para o teor de N na palhada. A massa de matéria seca de palhada restante do triticale foi maior que do girassol (Tabela 11). Não houve efeito dos manejos de primavera sobre a massa de matéria seca da palhada.

Tabela 11. Massa de matéria seca (MMS), acúmulo de N e relação C/N da palhada após a colheita das culturas de outono/inverno, safra 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	MMS	Relação C/N	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}		kg ha^{-1}
Girassol	1793 B	49 B	13,5 B
Triticale	2931 A	61 A	18,6 A
Manejos de Primavera			
Milheto	2324	54	16,4
Sorgo	2205	54	15,1
Crotalária	2506	56	17,1
Escarificação	2412	57	15,7
CV Out-Inv (%)	23,41	7,27	23,13
CV Prim (%)	19,47	9,44	19,98

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas para outono/inverno diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

O teor de N da palhada foi superior após o girassol, exceto quando em sucessão à crotalária (Tabela 12). O teor de N da palhada do girassol foi maior em sucessão ao milheto e sorgo em relação à crotalária, contrariamente ao esperado de maior teor de N em sucessão à crotalária, por esta leguminosa aportar N no sistema. O teor de N na parte aérea das culturas de outono/inverno foi pouco maior em sucessão à crotalária (Tabela 3), apesar de não haver diferença estatística, mas a exportação de N pelos grãos também foi maior (Tabela 23), compensando o maior teor de N na parte aérea.

Tabela 12. Teor de N da palhada após a colheita das culturas de outono/inverno, safra 2011, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera			
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação
	---------- N, g kg^{-1} ----------			
Girassol	8,3 Aa	7,5 Ab	7,2 b	7,6 Aab
Triticale	6,3 B	6,6 B	6,6	6,0 B
CV Out-Inv (%)	9,04	CV Prim (%)	7,50	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

A relação C/N da palhada não se diferenciou entre os manejos de primavera, mas entre as culturas de outono/inverno foi superior no triticale (Tabela 11), condizendo com o encontrado na parte aérea das culturas (Tabela 3). O N acumulado foi superior no triticale devido à maior massa de matéria seca da palhada (Tabela 11), apesar de apresentar menor teor de N (Tabela 12).

6.4.2 Cultivo de primavera 2011

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa apenas para o acúmulo de N na palhada. A massa de matéria seca da palhada da crotalária e da escarificação em sucessão ao triticale foi maior que em sucessão ao girassol, devido ao triticale ter acumulado maior massa de matéria seca no outono/inverno (Tabela 13). Observa-se que mesmo com o cultivo das plantas de cobertura, estas não conseguiram produzir maior massa de matéria seca que as plantas espontâneas do pousio no solo escarificado. O teor de N da palhada foi superior após o girassol, entre as culturas de outono/inverno, e após o milheto e a crotalária, entre os manejos de primavera. A relação C/N, de maneira geral, foi superior após o cultivo do triticale entre as culturas de outono/inverno, e no sorgo e escarificação entre os manejos de

primavera. O N acumulado foi mais influenciado pelas diferenças nos teores de N, uma vez que a massa de matéria seca foi menos afetada, sendo superior no girassol entre as culturas de outono/inverno e na crotalária e milheto entre os manejos de primavera (Tabela 14).

Tabela 13. Massa de matéria seca (MMS), teor de N e relação C/N da palhada após a safra de primavera de 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera			
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação
	---------- MMS, kg ha^{-1} ----------			
Girassol	1192	954	842 B	908 B
Triticale	1178 ab	890 b	1546 Aa	1666 Aa
CV Out-Inv (%)	10,36	CV Prim (%)	31,18	
	---------- N, g kg^{-1} ----------			
Girassol	27,1 Aa	20,6 Ab	28,9 Aa	22,1 Ab
Triticale	20,5 Ba	15,3 Bb	18,3 Bab	10,2 Bc
CV Out-Inv (%)	18,05	CV Prim (%)	13,21	
	---------- Relação C/N ----------			
Girassol	14,9 ab	19,3 Ba	14,0 Bb	18,4 Bab
Triticale	19,3 c	26,4 Ab	22,0 Abc	38,2 Aa
CV Out-Inv (%)	19,18	CV Prim (%)	16,42	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 14. Acúmulo de N da palhada após a safra de primavera de 2011, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}
Girassol	24,0 A
Triticale	20,6 B
Manejos de Primavera	
Milheto	28,2 a
Sorgo	16,3 b
Crotalária	26,5 a
Escarificação	18,3 b
CV Out-Inv (%)	12,84
CV Prim (%)	32,29

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

6.4.3 Soja safra 2011/12

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa para nenhuma das variáveis. A massa de matéria seca da palhada não se diferenciou entre os tratamentos (Tabela 15), devido ao acúmulo de matéria seca no

florescimento da soja também não ter se diferenciado (Tabela 5). O teor de N da palhada foi superior em sucessão ao girassol, entre as culturas de outono/inverno, e à crotalária, entre os manejos de primavera, o que pode estar relacionado com o maior teor de N dessas culturas. A relação C/N apresentou comportamento inverso ao teor de N, sendo que o triticale promoveu maior relação C/N entre as culturas de outono/inverno e o milheto entre os manejos de primavera. O acúmulo de N foi superior em sucessão à crotalária, reflexo do maior teor de N, uma vez que a massa de matéria seca da palhada não se diferenciou entre os tratamentos.

Tabela 15. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N e relação C/N da palhada após a soja, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	MMS	N	Relação C/N	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}		kg ha^{-1}
Girassol	4291	11,2 A	37,5 B	47,5
Triticale	4630	10,1 B	44,0 A	47,1
Manejos de Primavera				
Milheto	4533	8,6 c	47,9 a	38,8 b
Sorgo	4224	9,9 bc	40,0 b	41,3 b
Crotalária	5057	12,6 a	34,3 b	64,4 a
Escarificação	4026	11,6 ab	40,9 b	44,7 b
CV Out-Inv (%)	22,40	7,51	8,76	32,46
CV Prim (%)	22,08	19,84	15,68	32,00

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

6.4.4 Cultivo de outono/inverno 2012

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera foi significativa apenas para a massa de matéria seca, sendo que o acúmulo de palhada foi superior no triticale em rotação com os manejos de primavera milheto e escarificação, e superior no girassol em sucessão à crotalária (Tabela 16).

A diferença entre o triticale e o girassol foi reduzida em comparação com o ano anterior, pois em 2011 houve maior déficit hídrico, o que prejudicou mais o crescimento do girassol. O teor e o acúmulo de N e a relação C/N da palhada após o cultivo de outono/inverno não se diferenciaram entre os tratamentos (Tabela 17). De maneira geral pôde-se observar que o teor de N foi inferior em 2012,

possivelmente pelo maior crescimento e efeito de diluição, o que conferiu maior relação C/N que em 2011.

Tabela 16. Massa de matéria seca (MMS), em kg ha^{-1}, da palhada após as culturas de outono/inverno, safra 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera			
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação
Girassol	2448 Bb	2864 b	3936 Aa	2765 Bb
Triticale	3399 A	3044	2913 B	3602 A
CV Out-Inv (%)	26,32	CV Prim (%)	15,89	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 17. Teor e acúmulo de N e relação C/N da palhada após as culturas de outono/inverno, safra 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	N	Relação C/N	Acúmulo de N
	g kg^{-1}		kg ha^{-1}
Girassol	5,89	79,8	17,3
Triticale	5,45	90,9	18,6
Manejos de Primavera			
Milheto	6,16	81,5	18,7
Sorgo	6,07	78,2	20,2
Crotalária	5,34	90,8	17,9
Escarificação	5,10	90,7	14,9
CV Out-Inv (%)	22,37	20,00	63,03
CV Prim (%)	21,05	22,54	31,90

6.4.5 Cultivo de primavera 2012

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera foi significativa apenas para a relação C/N. Após o cultivo de primavera, a massa de matéria seca da palhada foi superior em sucessão ao triticale, entre as culturas de outono/inverno, e na escarificação, entre os manejos de primavera (Tabela 18). Apesar do maior crescimento das plantas de cobertura de primavera em sucessão ao girassol (Tabela 8), a maior quantidade e persistência da palhada do triticale ajudaram a manter maior quantidade de palhada após a safra de primavera. O teor de N da palhada foi superior em sucessão ao girassol, entre as culturas de outono/inverno, e na crotalária, entre os manejos de primavera (Tabela 18). O maior teor de N após a crotalária proporcionou também o maior acúmulo de N, o que não ocorreu na rotação com o girassol.

A relação C/N da palhada após o cultivo de primavera foi superior no milheto e na escarificação (Tabela 19). Nestes manejos de primavera, a relação C/N foi superior em sucessão ao triticale, sendo que no sorgo e na crotalária as culturas de outono/inverno não se diferenciaram.

Tabela 18. Massa de matéria seca (MMS), teor e acúmulo de N da palhada da safra de primavera de 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	MMS	N	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}
Girassol	1295 B	20,38 A	27,3
Triticale	1697 A	15,62 B	25,3
Manejos de Primavera			
Milheto	1196 b	13,23 c	14,8 b
Sorgo	1310 b	19,75 b	25,5 ab
Crotalária	1423 ab	24,74 a	35,4 a
Escarificação	2054 a	14,27 c	29,5 ab
CV Out-Inv (%)	5,79	2,74	10,30
CV Prim (%)	35,11	11,18	49,43

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 19. Relação C/N da palhada a safra de primavera de 2012, relacionada a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera			
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação
Girassol	29,5 Ba	20,8 b	19,5 b	26,8 Bab
Triticale	41,5 Aa	26,5 b	20,9 b	44,9 Aa
CV Out-Inv (%)	12,79	CV Prim (%)	15,00	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

6.4.6 Soja safra 2012/13

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa para todas as variáveis. Todos os parâmetros avaliados na palhada após a colheita da soja não apresentaram diferença entre os tratamentos (Tabela 20), diferentemente do que ocorreu na safra anterior (Tabela 15), possivelmente pela maior variabilidade na segunda safra, evidenciado pelo maior coeficiente de variação, apesar das diferenças nas médias entre os tratamentos.

Tabela 20. Massa de matéria seca, teor e acúmulo de N e relação C/N da palhada após a soja, safra 2012/2013, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	MMS	N	Relação C/N	Acúmulo de N
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}		kg ha^{-1}
Girassol	4940	10,42	42,9	51,9
Triticale	5377	11,18	39,6	60,1
Manejos de Primavera				
Milheto	5289	11,41	38,3	60,6
Sorgo	5175	10,23	43,4	52,7
Crotalária	5186	11,20	38,5	58,7
Escarificação	4984	10,36	44,9	52,0
CV Out-Inv (%)	21,14	24,87	28,92	34,75
CV Prim (%)	11,48	16,47	21,46	19,41

6.5 Massa de matéria seca acumulada da parte aérea e palhada

Considerando a produção cumulativa de massa de matéria seca da parte aérea dos dois anos, pode-se observar que o triticale (6,86 Mg ha^{-1}) produziu maior massa que o girassol (2,95 Mg ha^{-1}), contudo, a MMS das culturas nas safras de primavera e verão não se diferenciou entre as culturas de outono/inverno, o que demonstra o crescimento das culturas de primavera e da soja foi independente do que se cultivou no outono/inverno (Tabela 21). Devido ao maior crescimento e à maior recalcitrância do triticale, a quantidade de palhada acumulada, tanto após a safra de outono/inverno (girassol 4,80 Mg ha^{-1}, triticale 6,22 Mg ha^{-1}) como após as safras seguintes (girassol 11,50 Mg ha^{-1}, triticale 13,24 Mg ha^{-1}), sempre foi superior no triticale em relação ao girassol.

Em relação às culturas utilizadas nos manejos de primavera o milheto (2,07 Mg ha^{-1}) apresentou crescimento de parte aérea superior à crotalária (1,65 Mg ha^{-1}), sendo que o sorgo foi similar a ambos (Tabela 21). Contudo, considerando o crescimento das culturas de outono/inverno e da soja em função dos manejos de primavera, o milheto (15,14 Mg ha^{-1}) e a crotalária (15,50 Mg ha^{-1}) promoveram maior crescimento, o que pode estar relacionado à melhorias nas propriedades do solo devido ao maior aporte de C pelo milheto e pelo maior aporte de N pela crotalária. Apesar de apresentar diferenças no crescimento da parte aérea, a palhada não se diferenciou entre os manejos de primavera.

Tabela 21. Massa de matéria seca acumulada de parte aérea e palhada nos dois anos agrícolas, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	MMS de parte aérea (Mg ha^{-1})	
	Culturas de outono/inverno[1]	Após culturas de outono/inverno[2]
Girassol	2,95 B	11,01
Triticale	6,86 A	11,31
CV Out-Inv (%)	11,73	14,12
	MMS de palhada (Mg ha^{-1})	
Girassol	4,80 B	11,50 B
Triticale	6,22 A	13,24 A
CV Out-Inv (%)	24,29	9,84

Manejos de Primavera	MMS de parte aérea (Mg ha^{-1})	
	Manejos de primavera[3]	Após manejos de primavera[4]
Milheto	2,07 a	15,14 a
Sorgo	1,73 ab	13,63 b
Crotalária	1,65 b	15,50 a
Escarificação	-	14,54 ab
CV Prim (%)	20,37	8,01
	MMS de palhada (Mg ha^{-1})	
Milheto	2,38	15,07
Sorgo	2,55	14,78
Crotalária	2,62	16,17
Escarificação	3,34	14,61
CV Prim (%)	25,49	10,49

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente. [1]MMS das culturas e palhada da safra de outono/inverno. [2]MMS das culturas e palhada das safras de primavera e de verão em rotação com as culturas de outono/inverno. [3]MMS das culturas e palhada na safra de primavera. [4]MMS das culturas e palhadas safras de outono/inverno e verão em rotação com os manejos de primavera.

6.6 Produtividade e teor de N nos grãos de culturas de outono/inverno e da soja e nodulação da soja

6.6.1 Culturas de outono/inverno 2011

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera foi significativa para a produtividade e teor de N nos grãos. A produtividade do girassol foi muito baixa, sempre menor que o triticale, independente do manejo de primavera, principalmente pelo baixo estande e déficit hídrico (Tabela 22), assim como discutido com relação ao crescimento da parte aérea.

A produtividade do triticale foi superior em sucessão à crotalária em comparação com o milheto e o sorgo, o que pode estar relacionado com a menor

disponibilidade de N nessas rotações, apesar de as culturas de outono/inverno serem cultivadas após a soja, o que reduziria o efeito da imobilização do N da palhada do sorgo e do milheto (Tabela 22). Contudo, os valores de relação C/N, teor e acúmulo de N da palhada após a safra de soja 2010/2011 não se diferenciaram entre os tratamentos (dados não apresentados).

Tabela 22. Produtividade e teor de N dos grãos das culturas de outono/inverno, safra de 2011, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera			
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação
	---------- Produtividade, kg ha^{-1} ----------			
Girassol	36 B	99 B	115 B	83 B
Triticale	1081 Ab	1116 Ab	1295 Aa	1229 Aab
CV Out-Inv (%)	30,5	CV Prim (%)	16,79	
	---------- N, g kg^{-1} ----------			
Girassol	42,9 Aa	39,4 Ab	41,6 Aa	42,9 Aa
Triticale	17,8 B	17,4 B	17,3 B	17,9 B
CV Out-Inv (%)	9,23	CV Prim (%)	3,68	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

A produtividade de ambas as culturas foram inferiores à média nacional, que foi de 1255 e 2450 kg ha^{-1} para o girassol e o triticale, respectivamente (CONAB, 2011) (Tabela 22). Além do déficit hídrico, a ausência de fertilização também contribuiu para a baixa produtividade.

O teor de N foi superior nos grãos de girassol, para todos os manejos de primavera (Tabela 22). O teor de N no girassol em sucessão ao sorgo foi menor que nos demais manejos de primavera. Mesmo com o menor teor, o N foi mais exportado pelo triticale, devido a maior produtividade de grãos (Tabela 23). Entre os manejos de primavera, a menor exportação de N ocorreu no milheto, principalmente pela menor produtividade de ambas culturas de outono/inverno em rotação com esta planta de cobertura (Tabela 22).

Tabela 23. N exportado pelos grãos das culturas de outono/inverno, safra de 2011, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	N exportado
	kg ha^{-1}
Girassol	3,1 B
Triticale	18,4 A
Manejos de Primavera	
Milheto	9,2 b
Sorgo	10,4 ab
Crotalária	12,0 a
Escarificação	11,4 ab
CV Out-Inv (%)	35,18
CV Prim (%)	17,78

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

6.6.2 Soja safra 2011/2012

A interação de culturas de outono/inverno e manejo de primavera não foi significativa para todas as variáveis. A produtividade foi maior na escarificação, em comparação com o milheto e o sorgo, não se diferenciando da crotalária (Tabela 24). Na safra anterior a produtividade havia sido superior após a crotalária e inferior na escarificação, com sorgo e milheto como intermediários (dados não apresentados). Não se esperava maior produtividade da soja em sucessão à escarificação, devido ao solo neste manejo já apresentar aumento na compactação na camada de 0,05 a 0,10 m e ser deixado em pousio durante a primavera nos anos após a escarificação em 2009. A menor compactação observada na camada de 0,15 a 0,35 pode ter promovido maior crescimento radicular da soja em profundidade. Entretanto, neste mesmo experimento em 2009/2010, Pivetta et al. (2011a) observaram maior crescimento radicular da soja em sucessão ao milheto e sorgo, apesar da escarificação recente apresentar menor resistência à penetração e maiores teores de Ca (PIVETTA et al., 2011b). Mesmo com as diferenças levantadas, Pivetta et al. (2011a) não observaram diferença na produtividade entre os manejos de primavera. De maneira geral a produtividade do experimento ficou acima da média nacional, que foi de 2651 kg ha^{-1} (CONAB, 2011).

Como o teor de N nos grãos não se diferenciou entre os tratamentos, a exportação de N seguiu o mesmo padrão da produtividade, com maior valor para a escarificação (Tabela 24). O balanço entre o N acumulado na parte aérea (Tabela 5), e o N exportado foi de -6 (girassol), +2 (triticale), +14 (milheto), +8 (sorgo), -8 (crotalária)

e -21 (escarificação) kg ha^{-1} de N. Vale destacar que há N acumulado nas raízes, mas é difícil estimar esse valor, contudo pode-se considerar que o balanço do N acima tenha valores mais positivos que os apresentados. O número de nódulos não se diferenciou entre os tratamentos, mas a massa média dos nódulos foi superior no sorgo, apesar de não se correlacionar com a produtividade.

Tabela 24. Produtividade, teor e exportação de N dos grãos da soja e número e massa média dos nódulos da soja, safra 2011/2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	Produtividade	Teor de N grãos	N exportado	Nº de nódulos	Massa média dos nódulos
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	nº/planta	mg/nódulo
Girassol	2818	63	162	146	1,9
Triticale	2903	62	155	131	2,1
Manejos de Primavera					
Milheto	2738 bc	61	148 b	144	1,9 b
Sorgo	2684 c	61	144 b	141	2,2 a
Crotalária	2982 ab	63	166 ab	146	1,8 b
Escarificação	3039 a	66	177 a	123	2,1 ab
CV (Out-Inv)	18,08	10,60	12,64	33,31	18,52
CV (Prim)	9,53	10,87	14,76	30,44	13,17

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos teste F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

O número de nódulos foi alto comparado com valores encontrados na literatura, tanto em campo (BRANDELERO et al., 2009; VIEIRA NETO et al., 2010) como em casa de vegetação (TOLEDO et al., 2010). A ausência de resposta quanto ao número de nódulos pode estar relacionada com a alta variabilidade, fato comum quando avaliado em campo. Brandelero et al. (2009) compararam 9 cultivares de soja e observaram maiores produtividades em algumas cultivares com baixa massa de nódulos por planta, semelhante ao ocorrido no presente experimento.

6.6.3 Culturas de outono/invernos 2012

A interação de culturas de outono/inverno e manejos de primavera não foi significativa para todas as variáveis. Assim como em 2011, a produtividade de grãos do triticale foi superior, o teor de N foi maior no girassol e a exportação de N foi

superior no triticale (Tabela 25). Contudo, ao contrário da safra de 2011, os manejos de primavera não afetaram a produção das culturas de outono/inverno.

Novamente a produtividade de ambas as culturas foi inferior à média nacional, de 1565 e 2392 kg ha^{-1} para triticale e girassol, respectivamente (CONAB, 2012).

Tabela 25. Produtividade, teor e exportação de N dos grãos das culturas de outono/inverno, safra de 2012, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	Produtividade kg ha^{-1}	N grãos g kg^{-1}	N exportado kg ha^{-1}
Girassol	195 B	30,2 A	5,2 B
Triticale	1632 A	13,6 B	19,7 A
Manejos de Primavera			
Milheto	867	22,1	12,0
Sorgo	907	21,1	11,3
Crotalária	938	22,4	13,2
Escarificação	941	22,0	13,3
CV (Out-Inv)	14,95	1,97	28,55
CV (Prim)	11,48	10,04	19,16

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

6.6.4 Soja safra 2012/2013

A interação de culturas de outono/inverno e manejos de primavera não foi significativa para todas as variáveis. A produtividade de grãos da soja não se diferenciou entre as culturas de outono/inverno, mas entre os manejos de primavera o milheto foi inferior aos demais (Tabela 26). Não foi possível correlacionar a menor produtividade da soja após o milheto com nenhuma das outras variáveis. Contudo, nas observações de campo foi constatado que as plantas nas parcelas em sucessão ao milheto foram mais atacadas por percevejos, apesar do controle fitossanitário ter sido realizado com maior frequência para reduzir esta infestação (quatro aplicações). O teor de N nos grãos foi superior em rotação com o milheto, apesar de a diferença ser muito pequena, sendo esta significativa devido ao baixo coeficiente de variação. A exportação de N pela soja foi inferior em rotação com o milheto, devido à menor produtividade. O balanço entre o N acumulado na parte aérea (Tabela 5), e o N exportado foi de -2 (girassol), 0 (triticale), +22 (milheto), -17 (sorgo), +20 (crotalária) e -28 (escarificação) kg ha^{-1} de N. Dentre estes valores, destaca-se o balanço mais negativo da escarificação, repetindo o resultado da safra anterior.

Assim como no ano anterior, o número de nódulos não se diferenciou entre os tratamentos e a massa média dos nódulos foi superior no sorgo, não se correlacionando com a produtividade (Tabela 25). Os resultados demonstram que o sorgo favorece a formação de nódulos de maior massa, o que ocorreu nos dois anos avaliados. Como a produtividade não se correlacionou com a massa média de nódulos, isso pode ser alguma resposta da soja ao fator alelopático do sorgo (OLIBONE et al., 2006). Igualmente ao ano anterior, a média de produtividade do experimento (3116 kg ha^{-1}) foi superior à média nacional (2938 kg ha^{-1}) (CONAB, 2013).

Tabela 26. Produtividade, teor e exportação de N dos grãos da soja e número e massa média de nódulos da soja, safra 2012/2013, relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	Produtividade	N nos grãos	N exportado	Nº de nódulos	Massa média dos nódulos
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	nº planta	mg/nódulo
Girassol	3106	61,6	169	117	3,2
Triticale	3125	61,5	170	115	3,1
Manejos de Primavera					
Milheto	2910 b	62,4 a	160 b	133	3,1 b
Sorgo	3162 a	61,3 b	171 a	110	3,9 a
Crotalária	3203 a	61,0 b	173 a	108	2,8 b
Escarificação	3187 a	61,5 ab	173 a	112	2,8 b
CV (Out-Inv)	4,28	2,90	4,90	27,54	27,01
CV (Prim)	3,57	1,38	4,25	26,92	16,98

Médias seguidas de letras minúsculas distintas para primavera diferem entre si pelo teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

6.7 Perdas de nitrogênio via lixiviação de nitrato

Não houve interação significativa de culturas de outono/inverno e manejos de primavera, tanto para a lixiviação de nitrato como para a drenagem de água. A drenagem durante o período experimental teve média geral de 704 mm (Tabela 27). Considerando que a precipitação acumulada no período foi de 1906 mm, a drenagem média foi de 37%. Fernandes e Libardi (2009) observaram durante a safra de milho em Piracicaba-SP num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, drenagens de 54 a 81% do total da precipitação. O solo escarificado apresentou drenagem acumulada de 44 a 62 mm superior aos demais manejos, devido à menor evapotranspiração considerada no modelo para as plantas espontâneas (Tabela 27). Considerando a drenagem no decorrer do ano (Figuras 8 e 9) as diferenças ficam menos evidentes entre os manejos de primavera (Figura 9).

Tabela 27. Lixiviação de NO_3 e drenagem de água no solo total acumulada calculada pelo método do balanço hídrico (FAO-56), relacionados a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Lixiviação de N-NO_3	Drenagem
	kg ha^{-1}	mm
Girassol	36,9	704
Triticale	22,4	705
Manejos de Primavera		
Milheto	19,6 c	699 b
Sorgo	23,4 bc	681 b
Crotalária	44,8 a	694 b
Escarificação	30,7 b	743 a
CV Out-Inv (%)	47,26	0,94
CV Prim (%)	21,30	0,85

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos testes F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

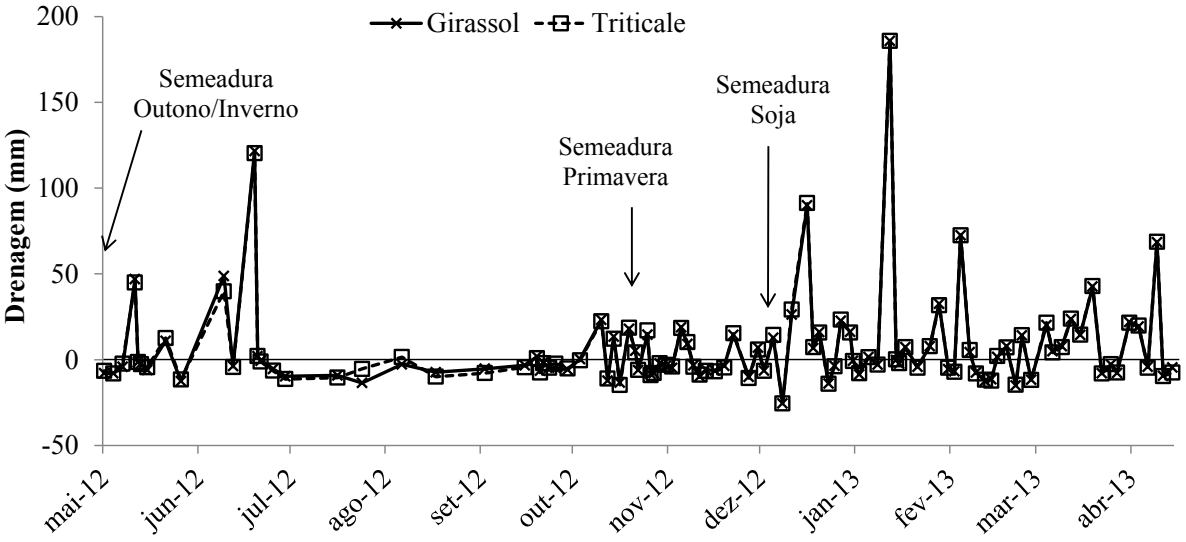

Figura 8. Drenagem de água abaixo da camada de 0,80 m de profundidade relacionada a culturas de outono/inverno.

Entre as culturas de outono/inverno não houve diferença significativa. Contudo, o girassol apresentou maiores teores de nitrato na solução do solo (Figura 10), mas drenagem foi muito similar entre as culturas (Tabela 27 e Figura 8). Um fato interessante é o de que o triticale reduziu o teor de nitrato na solução com apenas um mês após a semeadura, mantendo teores reduzidos por todo outono/inverno e primavera, sendo que os valores voltaram a se equilibrar com o girassol alguns dias após a semeadura da soja. O triticale aparentemente reduz o teor de nitrato por dois motivos; o primeiro pela intensa absorção de N, evidenciado pela rápida redução no teor de nitrato no início da safra

de outono/inverno; e segundo, pela imobilização do N pela palhada devido à maior relação C/N, evidenciado pela manutenção dos teores baixos de nitrato até o início da safra da soja.

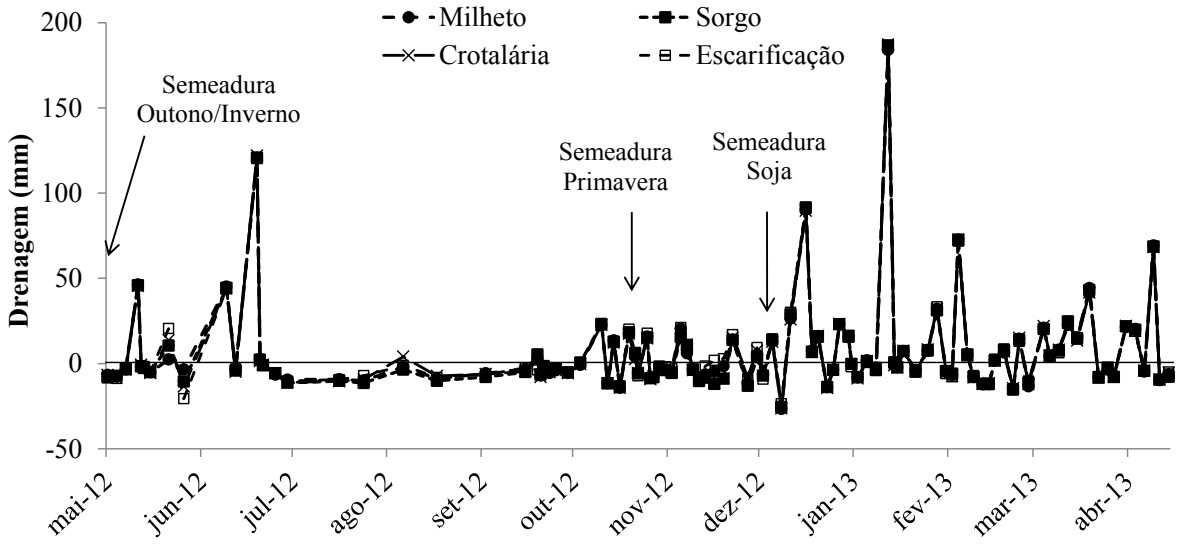

Figura 9. Drenagem de água abaixo da camada de 0,80 m de profundidade relacionada a manejos de primavera.

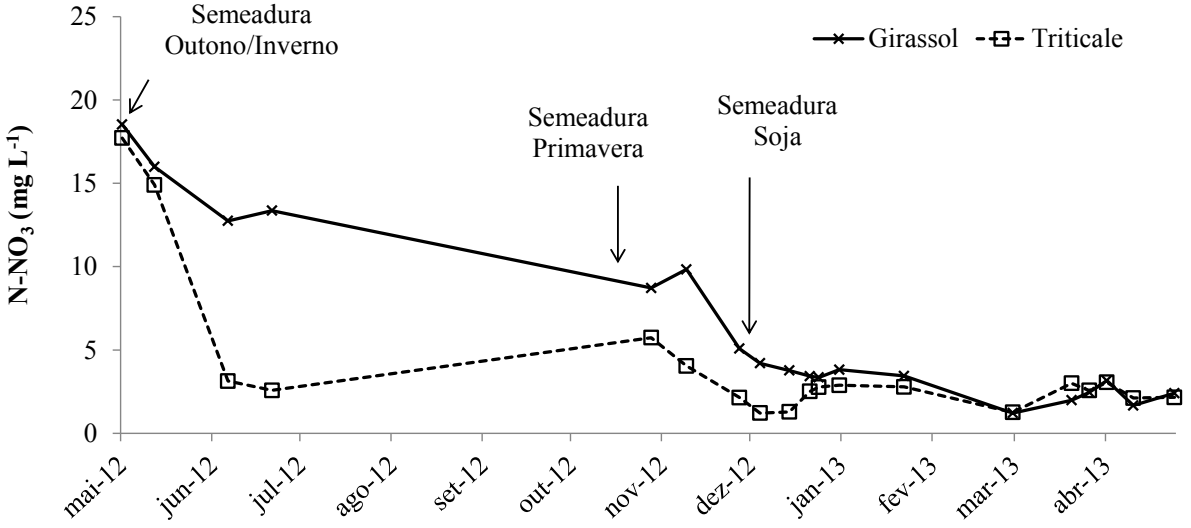

Figura 10. Teor de N-NO_3 na solução do solo a 0,8 m de profundidade relacionada a culturas de outono/inverno.

Entre os manejos de primavera a maior lixiviação acumulada de N-NO_3 foi observada com a utilização da crotalária. Esse resultado se deve principalmente ao maior teor de nitrato na solução do solo, uma vez que a drenagem apresentou pequena variação entre os tratamentos. Apesar de haver maiores diferenças no teor de N-NO_3 (Figura 8) durante o cultivo de outono/inverno, a lixiviação acumulada não apresentou

grandes diferenças, principalmente pelo fato da maior parte das precipitações ter ocorrido durante a safra de soja (1225 mm de 1906 mm), quando as diferenças entre os tratamentos foram menores.

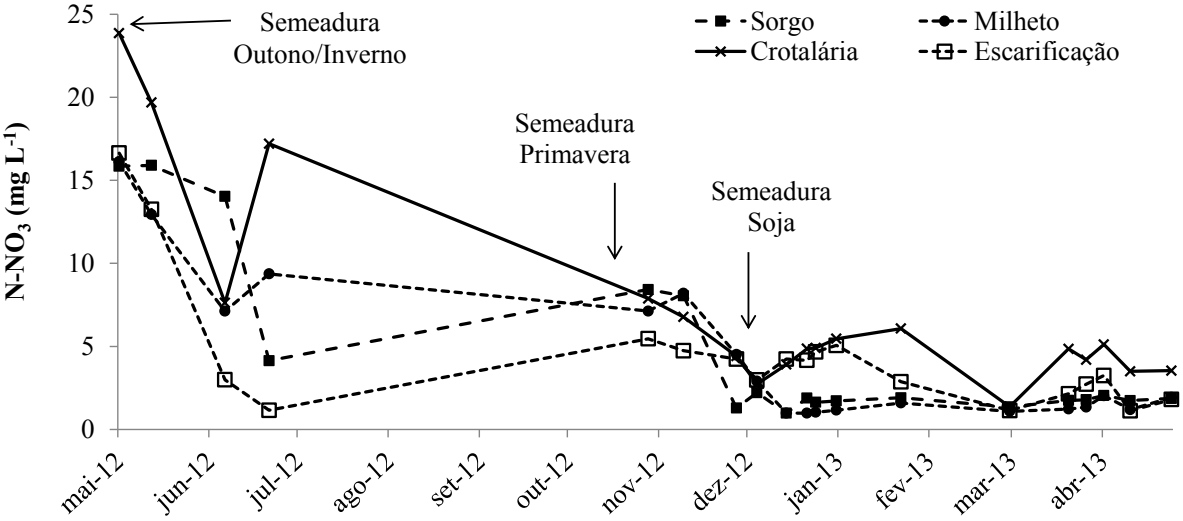

Figura 11. Teor de N-NO_3 na solução do solo a 0,8 m de profundidade relacionada a culturas de outono/inverno.

Um exemplo deste fato é o manejo escarificado, que mesmo apresentando o menor teor de N-NO_3 até a semeadura da soja, apresentou a segunda maior lixiviação acumulada, pois durante a safra de soja este manejo apresentou teores de N-NO_3 maiores que do manejo em rotação com sorgo e milheto. A maior perda de N-NO_3 pela crotalária era esperada pelo maior aporte de N com essa espécie, demonstrada pelo maior acúmulo de N (Tabela 18) e menor relação C/N (Tabela 19) na palhada após o manejo das plantas de cobertura de primavera. Considerando que a maior parte do N da crotalária é proveniente da FBN, de 57% (PERIN et al., 2004) a 65% (PAULINO et al., 2009), a maior perda de N é compensada pela maior entrada de N no sistema. Dessa forma, o manejo escarificado/pousio promove maiores perdas de N via lixiviação de nitrato dentre os manejos que não apresentam representativas entradas de N via FBN.

Vale destacar que o solo no manejo escarificado foi revolvido apenas em 2003 e 2009, permanecendo em pousio nos demais anos. Mesmo sendo considerado um manejo conservacionista, as perdas de N possivelmente seriam maiores se a avaliação ocorresse logo após o preparo do solo, pela maior mineralização da matéria orgânica. Na média de quatro anos da rotação milho-soja, com aplicação de 168 kg ha^{-1} de N na forma de dejetos suínos, as perdas de N-NO_3 por lixiviação na escarificação e

semeadura direta foram de 18,2 e 10,4 kg ha^{-1}, respectivamente (REKHA et al., 2011). Paul e Clark (1989) sugeriram que no sistema de semeadura direta ocorrem maiores perdas de N por lixiviação devido à formação de bioporos contínuos no solo, o que acarretaria em maior fluxo de água no solo, o que não foi verificado no presente experimento.

A menor lixiviação de $N\text{-}NO_3$ com a utilização do milheto e do sorgo forrageiro demonstra a importância de se intensificar os sistemas de cultivo, pois é comum os agricultores deixarem as áreas em pousio no intervalo entre as safras de inverno e verão. Destaca-se ainda que a redução da lixiviação do N ocorreu mesmo com crescimento menor do que o potencial para essas plantas de cobertura.

6.8 Perdas de nitrogênio via emissão de amônia

Houve interação significativa de culturas de outono/inverno e manejos de primavera para a emissão acumulada de $N\text{-}NH_3$. Os dados acumulados demonstraram maior emissão de amônia no manejo com milheto em relação ao sorgo, em sucessão ao girassol (Tabela 28). Os manejos de primavera não se diferenciaram em sucessão ao triticale. Entre as culturas de outono/inverno, estas apenas se diferenciaram em rotação com o milheto, onde o girassol apresentou maior emissão de $N\text{-}NH_3$. Apesar de significativas, em valores absolutos estas diferenças são pequenas e pouco afetam o balanço final do nitrogênio no sistema, pois as variações no estoque de N no solo (Tabela 32) e nas perdas por lixiviação (Tabela 27) foram muito maiores. Dessa forma, a volatilização $N\text{-}NH_3$ não demonstrou ser limitante na escolha da espécie a ser utilizada no sistema de rotação.

Tabela 28. Perda acumulada de N por volatilização de NH_3, relacionada a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Manejos de Primavera			
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação
	kg ha^{-1} de N			
Girassol	8,94 Aa	8,17 b	8,71 ab	8,20 ab
Triticale	8,15 B	8,73	8,36	8,36
CV Out-Inv (%)	4,75	CV Prim (%)	5,97	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelos teste F e t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

A maior emissão de $N\text{-}NH_3$ pelo girassol e crotalária pode estar relacionada com o maior teor de N por essas culturas. Na safra avaliada o girassol não

apresentou teor de N significativamente superior ao triticale (Tabela 7), contudo na safra anterior isso ocorreu (Tabela 3).

A crotalária apresentou maior teor de N que as demais plantas de cobertura em ambos os anos (Tabelas 4 e 9). Contudo, é interessante observar que entre as culturas de outono/inverno o triticale apresentou em ambos os anos maior acúmulo de N, apesar do teor de N ser menor, o que poderia ser associado com maior substrato para decomposição e emissão de amônia, o que não ocorreu. Dessa forma pode-se considerar que a qualidade do material vegetal aportado afeta mais as emissões de amônia do que o acúmulo de N no material.

Janzen e McGinn (1991) relacionaram a maior volatilização de N-NH_3 por lentilhas produzidas à campo, em comparação com a produção em sistema hidropônico, ao maior teor de N orgânico solúvel. A volatilização de NH_3 a partir de resíduos de azevém perene atingiu 10% do N acumulado quando o teor de N na parte aérea foi 29,8 g kg^{-1}, enquanto que plantas com teor de 9,2 g kg^{-1} de N apresentaram emissão praticamente nula (WHITEHEAD; LOCKYCR, 1989).

Nas Figuras 12 e 13 estão apresentadas as variações sazonais da taxa de emissão diária de N-NH_3, das culturas de outono/inverno e manejos de primavera, respectivamente. Em ambos os fatores as emissões de amônia foram muito similares, à exceção da segunda coleta após a semeadura da soja para as culturas de outono/inverno (Figura 12) e antes da colheita das culturas de outono/inverno e após a semeadura da soja para os manejos de primavera (Figura 13).

Independentemente dos tratamentos, as emissões apresentaram dois picos, o primeiro próximo à colheita das culturas de outono/inverno, possivelmente devido ao processo de colheita e ao aumento da temperatura e o segundo após a semeadura da safra de primavera até meados de dezembro, devido ao aumento das precipitações e da temperatura, favorecendo a decomposição dos resíduos das culturas de outono/inverno, aliado à maior emissão pela dessecação das plantas de cobertura de primavera (Figuras 12 e 13).

A pequena diferença entre os tratamentos demonstra que a emissão de amônia é muito mais afetada pelas condições ambientais que pela cultura em si. A emissão de N-NH_3 a partir do solo é maior quanto maior for a temperatura do ar e o fotoperíodo e quanto menor for a precipitação (NELSON, 1982). Dias nublados ou

chuvosos provocam redução na emissão de N-NH_3 pela palhada em decomposição (RANA; MASTRORILLI, 1998).

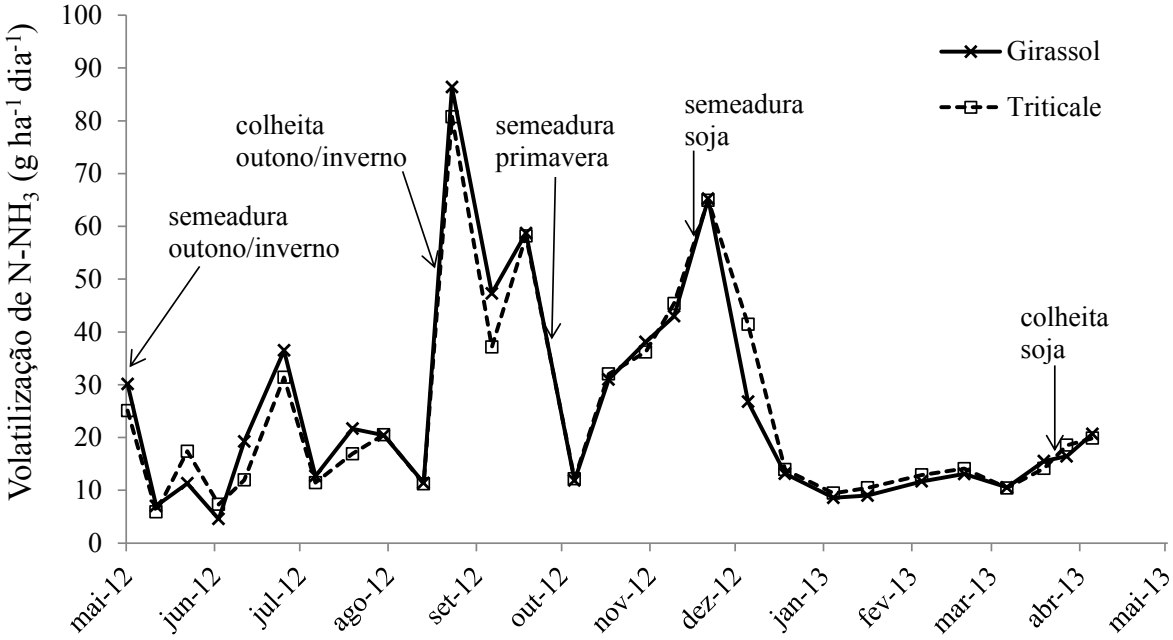

Figura 12. Perda de N por volatilização de NH_3, relacionada a culturas de outono/inverno.

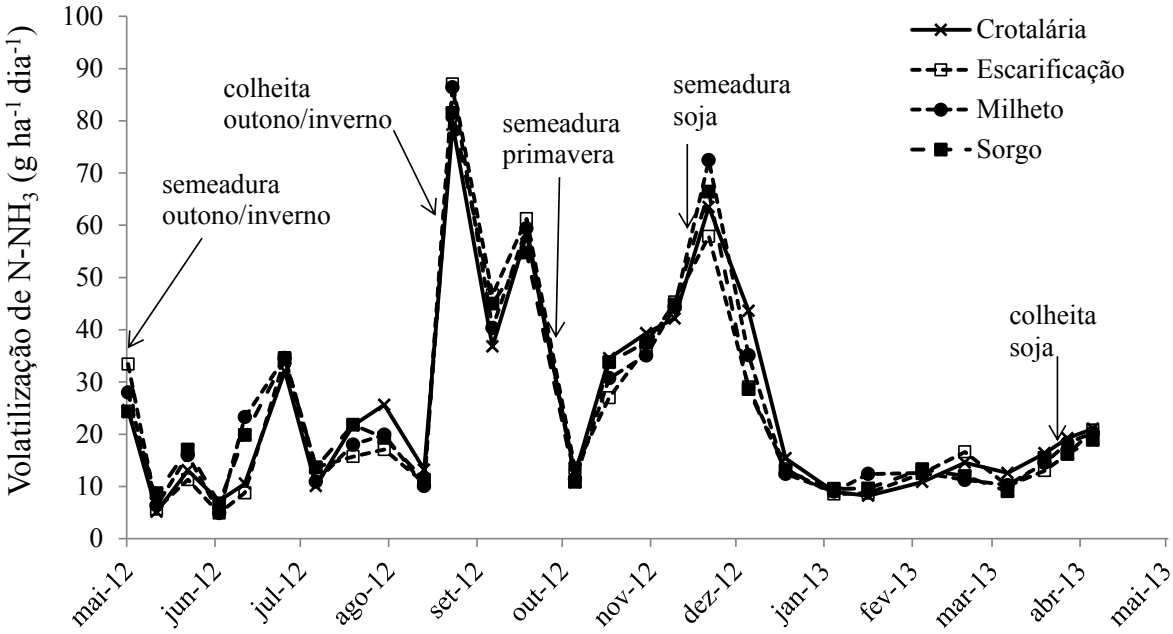

Figura 13. Perda de N por volatilização de NH_3, relacionada a manejos de primavera.

Logicamente o estádio fenológico da cultura é determinante, pois em condições de senescência a emissão é maior (RANA; MASTRORILLI, 1998), contudo, como as culturas em estudo ou apresentavam ciclo similar ou foram dessecadas

concomitantemente, esse fator não foi determinante para mostrar diferença entre os tratamentos.

Considerando o pico após a dessecação das espécies de primavera, este também está relacionado com a ação do herbicida glyphosate, que além do efeito indireto em induzir a senescência possui efeito direto do seu mecanismo de ação, o qual promove aumento do teor de NH_4^+ a níveis tóxicos na planta (DUKE; HOAGLAND,1985), promovendo maior emissão de N-NH_3 pela parte aérea (MOHR et al., 1998).

Outro aspecto que corrobora a afirmação de que as condições ambientais são mais determinantes na volatilização de N-NH_3 é que após a colheita das culturas de outono/inverno a volatilização de amônia se manteve alta, sendo que a palhada apresentou menor teor e acúmulo de N e maior relação C/N (Tabela 17) quando comparada com as palhadas da soja safra 2011/2012 (Tabela 15) e primavera 2012 (Tabelas 18 e 19).No intuito de reforçar esta afirmação foram calculadas correlações de Pearson da emissão de amônia com algumas variáveis ambientais e da palhada presente no início de cada safra. O coeficiente de correlação da volatilização de amônia com a temperatura média foi de 0,34 (p = 0,07), com a precipitação acumulada foi de -0,27 (p = 0,17) e com a umidade do solo a 0,10 m de profundidade foi de -0,35 (p = 0,07). Nas correlações com a palhada foram considerados o teor de N e a relação C/N da palhada da cultura antecessora e a volatilização de amônia da safra seguinte. Na safra de outono/inverno a correlação com o teor de N foi de -0,34 (p=0,11) e com a relação C/N de 0,11 (p=0,62). Na safra de primavera a correlação com o teor de N foi de 0,35 (p=0,19) e com a relação C/N de -0,42 (p=0,10). Na safra de soja a correlação com o teor de N foi de 0,04 (p=0,84) e com a relação C/N de -0,05 (p=0,82). Apesar de nenhum coeficiente de correlação ter sido alto, estes foram mais significativos com os parâmetros ambientais. Isso também pode ter ocorrido pelo experimento ser conduzido em campo, onde os efeitos ambientais e edáficos se interagem.

Utilizando câmaras de volatilização, De Ruijter et al. (2010) avaliaram as perdas pelos restos culturais de brócolis, alho-poró, beterraba açucareira, pastagem, nabo forrageiro e mostarda e encontraram uma relação exponencial ($y = 336{,}06x^{-1{,}63}$; $R^2 = 0{,}48$) da porcentagem de N perdido por volatilização em função da relação C/N. A mesma variável em função do teor de N no material vegetal apresentou função linear ($y = 0{,}38x - 5{,}44$; $R^2 = 0{,}72$). Vale salientar que as condições ambientais

controladas dentro das câmaras possibilitam a melhor visualização das relações da qualidade do material vegetal com a volatilização de amônia, diferente do presente experimento.

6.9 Perdas de nitrogênio via emissão de óxido nitroso

Os resultados referentes à emissão de óxido nitroso são parte de trabalho de dissertação conduzido por Rigon (2013) na mesma área experimental. As variações temporais do fluxo N-N_2O durante o período experimental estão apresentadas nas Figuras 14 e 15.

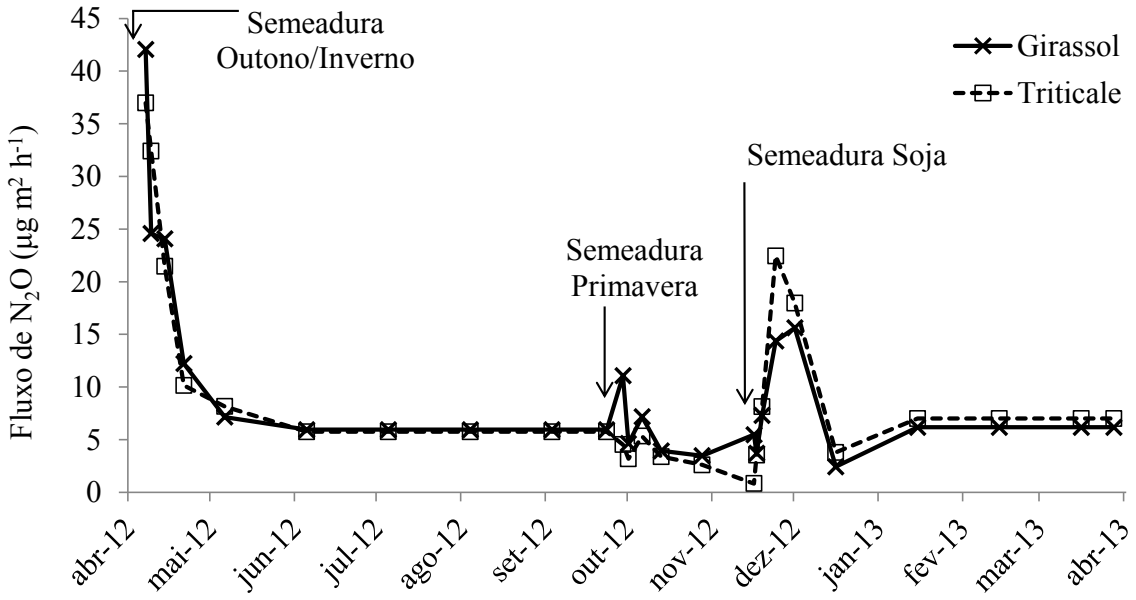

Figura 14. Fluxo de N_2O a partir do solo relacionado a culturas de outono/inverno.

O fluxo de N-N_2O apresentou pequenas diferenças entre as culturas de outono/inverno, com valores pouco maiores na rotação com girassol próximo da semeadura de outono/inverno, semeadura e manejo das plantas de primavera (Figura 14). Já o triticale apresentou fluxo pouco superior após a semeadura da soja.

Entre os manejos de primavera, a crotalária apresentou maiores picos de emissão na semeadura das culturas de outono/inverno e após o manejo das plantas de cobertura de primavera e subsequente semeadura da soja, possivelmente pelo maior teor e acúmulo de N na biomassa nesta planta de cobertura, associado à alta umidade do solo e porosidade preenchida com água (RIGON, 2013), o que favoreceu a taxa de mineralização do N, aumentando o substrato para a ocorrência da emissão de N-N_2O (Figura 15). Zhong

et al. (2011) encontraram forte correlação entre os ciclos de umedecimento e secagem do solo com a emissão de N-N_2O.

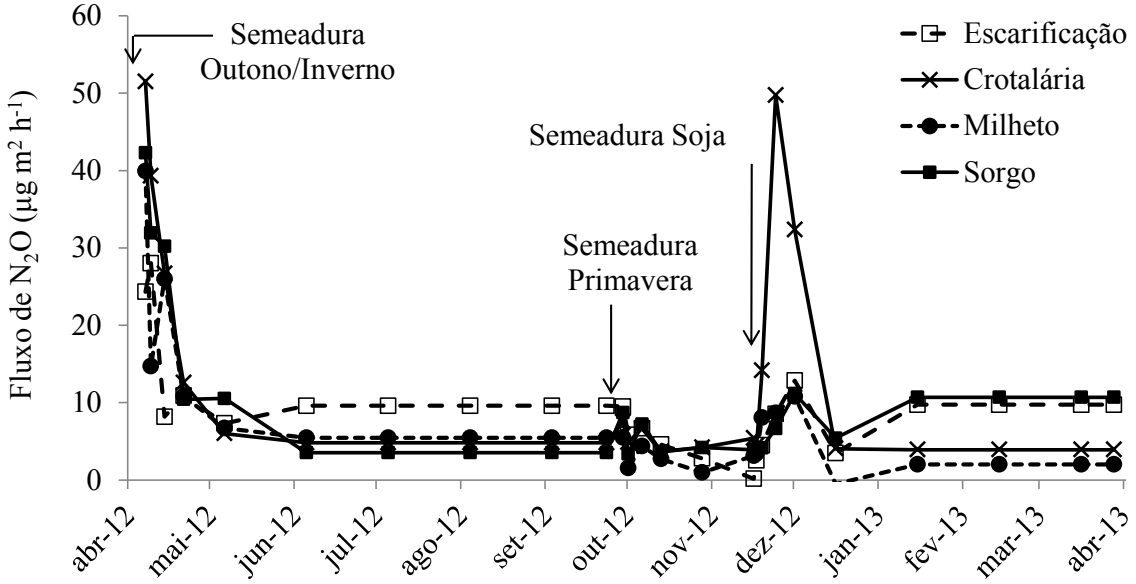

Figura 15. Fluxo de N_2O a partir do solo relacionado a manejos de primavera.

Apesar das diferenças pontuais observadas no fluxo de emissão de N-N_2O, as perdas acumuladas não se diferenciaram entre os tratamentos, além de apresentarem valores absolutos baixos, representando que independente do sistema de manejo adotado, o solo apresentou baixa capacidade de emissão de N-N_2O (Tabela 29).

Tabela 29. Perda acumulada de N via emissão de óxido nitroso (N_2O), relacionada a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Emissão Total de N-N_2O
	kg ha^{-1}
Girassol	2,3
Triticale	2,4
Manejos de Primavera	
Milheto	1,6
Sorgo	2,5
Crotalária	2,5
Escarificação	2,9
CV Out-Inv (%)	38,18
CV Prim (%)	53,45

Zhong et al. (2011) observaram maior emissão de N-N_2O em trigo, ervilha e lentilha com fertilização mineral do que em ervilha e lentilha sem fertilização e

inoculadas com *Rhizobium leguminosarum* e o solo em pousio. Os autores relacionaram a maior emissão nas culturas fertilizadas com o aumento no teor de NO_3 no solo. Como nenhuma das culturas utilizadas no presente experimento receberam fertilização nitrogenada, esses dados corroboram os resultados encontrados por Zhong et al. (2011), onde mesmo com a utilização de leguminosas não ocorreram diferenças para o solo em pousio.

Além da falta de oxigênio, em solos sem a adição de fertilizantes nitrogenados as emissões de N_2O são maiores quando os resíduos culturais apresentam baixas relações C/N e lignina/N e alto teor de N (HUANG et al., 2011; GOMES et al., 2011), características comuns às leguminosas. Geralmente a maior emissão também ocorre logo após o manejo das culturas (MILLAR et al., 2004; GOMES et al., 2009). Esses fatores podem ser comprovados no pico de emissão apresentado pela crotalária após a dessecação das plantas de primavera (Figura 15).

Contudo, a ausência de diferença entre os tratamentos nas perdas acumuladas de N-N_2O pode ter ocorrido pelo baixo teor de NO_3 no solo considerando todo o período experimental, e não apenas após o manejo das culturas. Em condições de baixo teor de NO_3, a perda de N por desnitrificação ocorre predominantemente na forma de óxido nítrico (NO), gás este que não foi determinado no presente experimento. Cruvinel et al. (2011) estudaram a emissão de N_2O e NOx em duas áreas do Cerrado e obtiveram valores de até 0,8 kg ha^{-1} de N-NO na safra de algodão, e até 0,2 kg ha^{-1} de N-N_2O na safra de feijão irrigado e de milho. Na média dos quatro cultivos a emissão de NO foi 2,7 vezes maior que a emissão de N_2O, fato atribuído ao baixo teor de NO_3. Apesar das poucas correlações significativas encontradas, os autores observaram maiores emissões após as fertilizações nitrogenadas, após as irrigações e após a senescência das raízes e nódulos da soja. Entretanto, em várias ocasiões as emissões de N_2O foram negativas, inclusive no cerrado nativo o balanço final das emissões de N-N_2O foi negativo.

Como a emissão de N-N_2O em solos não alagados ocorre em basicamente em microagregados, esta variável apresenta geralmente alta variabilidade espacial e temporal (VELDKAMP et al., 1999; CRUVINEL et al.; 2011), o que reduz as diferenças significativas entre os tratamentos.

O Painel Internacional de Mudanças do Clima (IPCC, 1997) considera como fator de emissão 1,25 % do N aplicado via fertilizantes, segundo estudo conduzido por Bouwman (1996). Como neste experimento não houve entrada de N via

fertilizantes, emissão de N-N_2O ocorre principalmente pela mineralização da MOS e dos resíduos culturais depositados sobre o mesmo. Dessa forma, considerando como aporte o N acumulado nas palhadas antes de cada semeadura, os fatores de emissão foram de 1,62% para o girassol, 1,60% para o triticale, 1,23% para o milheto, 1,79% para o sorgo, 1,42% para a crotalária e 2,02% para a escarificação. Entretanto, ao considerar o N acumulado nas palhadas mais o estoque de N no solo da camada de 0,0 a 0,1 m anterior à avaliação de N_2O, os fatores de emissão seriam de 0,09% para o girassol, 0,08% para o triticale, 0,06% para o milheto, 0,09% para o sorgo, 0,09% para a crotalária e 0,11% para a escarificação. Como a emissão de N2O ocorre pela mineralização da MOS, é mais plausível calcular o fator de emissão considerando o estoque de N no solo.

Como discutido anteriormente, a perda de N por emissão de NO pode superar a perda por N-N_2O, devido ao baixo teor de NO_3 no solo. Outra possibilidade é de que parte do N_2O formado no solo pode diluir-se na solução e ser drenado, sendo que o N_2O não foi determinado na solução do solo. A solubilidade do N_2O na água é alta, sendo reduzida com o aumento do pH, da salinidade e da temperatura (HEINCKE e KAUPENJOHANN, 1999). Apesar das possibilidades de a desnitrificação ser maior do que foi avaliado, o fator de emissão ainda seria abaixo do 1,25%, o que demonstra que os valores utilizados pelo IPCC poderiam ser readequados para condições mais específicas.

Esperava-se maior diferenciação nas parcelas com manejo escarificado, pois o preparo de solo altera muito a mineralização da matéria orgânica, e consequentemente, a emissão de N-N_2O. Contudo, como a última escarificação foi realizada três anos antes das avaliações não houve grande efeito deste manejo sobre a dinâmica do N, apesar de ainda haver diferenças na resistência à penetração do solo (Figura 7).

Comparações entre o sistema de semeadura direta e convencional têm mostrado resultados controversos. Alguns estudos apresentam maior emissão de N_2O com o plantio convencional (MALHI et al., 2006; USSIRI et al., 2009) e outros na semeadura direta (BAGGS et al., 2003; MKHBELA et al., 2008). Em uma revisão, Six et al. (2004) demonstraram que até 10 anos de condução do sistema de produção, a emissão de N_2O é maior na semeadura direta que no manejo convencional, se invertendo apenas a partir de 20 anos. Contudo, considerando os dados cumulativos após 20 anos a emissão ainda é superior na semeadura direta.

6.10 Estoque e incremento anual de nitrogênio no solo

Não houve interação significativa de culturas de outono/inverno e manejos de primavera para o estoque de N no solo em nenhuma das camadas e anos avaliados. Também não houve diferença significativa entre os tratamentos em ambas as épocas avaliadas em nenhuma das profundidades (Tabelas 30 e 31).

Tabela 30. Estoque de N no solo (Mg ha^{-1}), após a colheita da soja safra 2011/2012, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Camadas (m)					Total
	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	
Girassol	2,51	2,15	3,42	2,76	2,44	13,28
Triticale	2,78	2,35	3,66	2,77	2,58	14,14
Manejos de Primavera						
Milheto	2,67	2,19	3,51	2,72	2,68	13,78
Sorgo	2,69	2,29	3,50	2,81	2,45	13,73
Crotalária	2,64	2,25	3,61	2,60	2,41	13,52
Escarificação	2,58	2,26	3,55	2,91	2,50	13,80
CV Out-Inv (%)	8,88	8,23	12,99	13,03	17,52	10,08
CV Prim (%)	9,13	9,06	8,68	8,28	11,35	6,96

Tabela 31. Estoque de N no solo (Mg ha^{-1}), após a colheita da soja safra 2012/2013, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/Inverno	Camadas (m)					Total
	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	
Girassol	2,56	2,12	3,45	2,68	2,35	13,16
Triticale	2,72	2,27	3,59	2,77	2,59	13,95
Manejos de Primavera						
Milheto	2,70	2,12	3,43	2,73	2,54	13,52
Sorgo	2,62	2,15	3,50	2,66	2,37	13,30
Crotalária	2,68	2,28	3,55	2,77	2,55	13,83
Escarificação	2,57	2,23	3,59	2,74	2,44	13,57
CV Out-Inv (%)	5,70	13,68	13,95	15,07	15,78	10,94
CV Prim (%)	10,79	10,67	10,34	11,01	10,81	7,41

De maneira geral, a quantidade de N estocada no solo pode ser considerada alta, o que é atribuído ao alto conteúdo de argila (655 g kg^{-1} na camada de 0,0 a 0,2 m) e ao fato do solo estar sendo conduzido em semeadura direta há pelo menos 16 anos (7 anos antes da instalação do experimento e 9 anos de condução do experimento), à

exceção do manejo escarificado, que foi realizado apenas duas vezes. A média do estoque de N na camada de 0,0 a 0,2 m foi de 4,90 Mg ha^{-1} na safra de soja 2011/2012 e de 4,84 Mg ha^{-1} na safra de soja 2012/2013.

Weber e Mielniczuk (2009) observaram que mesmo com conteúdo de argila de aproximadamente 250 g kg^{-1} na camada de 0,0 a 0,20 m, o cultivo de feijão guandu e milho por 22 anos, sem adição de fertilizante nitrogenado, promoveu incremento do estoque de N no solo de 1,27 Mg ha^{-1}, atingindo 4,3 Mg ha^{-1}. Neste mesmo trabalho, os autores observaram que dentre as rotações de culturas utilizadas sem adição de fertilizante nitrogenado, as únicas que reduziram o estoque de N no solo foram aveia/milho, pousio/milho e pousio. Em solo com conteúdo de argila de 340 a 425 g kg^{-1}, D'Andrea et al. (2004) observaram estoques de N de 4,01 a 5,02 Mg ha^{-1} na camada de 0,0 a 0,2 m.

O incremento anual do estoque de N no solo apresentou diferença apenas entre os manejos de primavera, sendo que a crotalária promoveu incremento positivo de nitrogênio no solo, superior ao sorgo forrageiro e não se diferenciando da escarificação e do milheto (Tabela 32). Os demais sistemas de rotação e manejo, tanto de outono/inverno como de primavera, apresentaram redução no estoque de N, demonstrando haver menor sustentabilidade nesses sistemas.

Tabela 32. Incremento anual de N no solo (de 2012 a 2013), em Mg ha^{-1}, até 80 cm, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	Manejos de Primavera				Média
	Milheto	Sorgo	Crotalária	Escarificação	
Girassol	-0,17 (±0,59)	-0,24 (±0,33)	0,39 (±0,99)	-0,47 (±0,74)	-0,12 (±0,71)
Triticale	-0,35 (±0,73)	-0,64 (±0,69)	0,21 (±0,95)	0,00 (±0,32)	-0,19 (±0,72)
Média	-0,26 ab (±0,62)	-0,44 b (±0,54)	0,30 a (±0,96)	-0,24 ab (±0,58)	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas para primavera, diferem entre si pelo t (DMS), a 5% de probabilidade. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão da média.

Observou-se também que os dados apresentaram alta variabilidade, demonstrada pelos valores de desvio padrão, que chegam a ser maiores que a própria média (Tabela 32). No manejo com crotalária o desvio padrão chegou a quase uma tonelada. Apesar da alta variabilidade, os dados apresentaram normalidade (Shapiro-Wilk, p=0,69), curtose (b=0,09; ideal=0) e simetria (b=2,4; ideal=3). Apenas a homocedasticidade ficou próxima de não ser atendida (p=0,13, teste de Levene). A alta

variabilidade ocorreu devido ao relativo curto espaço de tempo entre as amostragens e a heterogeneidade natural do solo. Esse comportamento também foi observado por outros autores. Sainju et al. (2002) observaram que com a utilização de ervilhaca em rotação com tomate houve acúmulo de 430 kg ha^{-1} de N apenas na camada de 0,0 a 0,2 m, após três anos, enquanto que na ausência da ervilhaca houve redução de 250 kg ha^{-1} de N. Contudo, o incremento anual no estoque de N oscilou de -130 a +430 kg ha^{-1} para a ervilhaca e de -590 a +360 kg ha^{-1} para o sistema sem a leguminosa.

De maneira geral, na maioria das publicações as variações no estoque de N no solo são de menor magnitude que no presente experimento, principalmente nos sistemas sem adubação nitrogenada. Em experimento com rotações de culturas no Rio Grande do Sul durante 22 anos, as rotações com leguminosas de verão pousio/lab-lab+milho, guandu/guandu+lab-lab e guandu/guandu+milho apresentaram incremento de 35, 40 e 58 kg ha^{-1} ano^{-1} de N, respectivamente (WEBER e MIELNICZUK, 2009). No mesmo experimento, as rotações com leguminosas de inverno apresentaram incremento de apenas 9 kg $ha^{-1}ano^{-1}$de N, enquanto que os sistemas pousio/milho e aveia/milho apresentaram redução média de 11 kg ha^{-1} ano^{-1} de N. Vale destacar que nos sistemas que apresentaram redução do estoque de N, quando houve adubação nitrogenada houve incremento de 60 kg ha^{-1} ano^{-1} de N, demonstrando que deve haver entrada de N no sistema para a manutenção de sua sustentabilidade, seja pela adubação nitrogenada ou pela FBN. O solo mantido descoberto apresentou redução de 21 kg ha^{-1} ano^{-1} de N.

Após nove anos de condução da integração lavoura-pecuária, Assmann et al. (2014) observaram que na maior intensidade de pastejo (altura de saída 10 cm) houve redução do estoque de N no solo na taxa de 100 kg ha^{-1} ano^{-1}, devido a baixa quantidade de resíduos deixados sobre o solo.

Salienta-se que nos resultados de incremento anual de N relatados acima foram considerados apenas os estoques na camada de 0,0 a 0,2 m, camada na qual a maior parte da literatura aborda. Entretanto, variações consideráveis no estoque de N ocorreram nas camadas mais profundas (Tabelas 30 e 31), o que não era esperado, uma vez que não houve revolvimento do solo em nenhum dos sistemas avaliados.

Em um Latossolo com 63 g kg^{-1} de argila no Rio Grande do Sul, a diferença no estoque de N na camada de 0,3 a 1,0 m constituiu 75 e 31% da diferença total (0,0 a 1,0 m) entre semeadura direta e convencional para as rotações trigo/soja/ervilhaca/milho e trigo/soja/aveia/soja/ervilhaca/milho, respectivamente, após 13

anos de condução dos sistemas (SISTI et al., 2004). Considerando o perfil até 1,0 m, a inserção de ervilhaca na rotação, seja em rotação a cada dois anos (trigo/soja/ervilhaca/milho) ou a cada três anos (trigo/soja/aveia/soja/ervilhaca/milho), promoveu aumento dos estoques de N e C no solo em relação ao sistema trigo/soja. Contudo esse efeito só ocorreu em semeadura direta, pois no manejo convencional a mineralização da MOS estimula as perdas de N, reduzindo as vantagens da utilização da leguminosa no sistema. Isso demonstra que não se pode dissociar a prática da semeadura direta com o uso de plantas de cobertura, principalmente de leguminosas, pois estas são essenciais na manutenção e aumento do estoque de N e C no solo, e consequentemente, na sustentabilidade do sistema de produção.

Apesar de grande parte da variação do estoque ter ocorrido nas camadas mais profundas, analisando-se o incremento de N apenas na camada de 0,0 a 0,2 m, observou-se a mesma diferença estatística entre os manejos de primavera, com valores de -204 kg ha^{-1} para o sorgo, -48 kg ha^{-1} para a escarificação, -46 kg ha^{-1} para o milheto e +58 kg ha^{-1} para a crotalária.

6.11 Balanço de fluxo de nitrogênio no sistema solo-planta

Independente do tratamento, o balanço de fluxo foi negativo (Tabela 33), ou seja, as saídas de N foram maiores que as entradas. Salienta-se que as entradas e saídas consideradas no cálculo foram apenas as medidas no presente estudo, pois sabe-se que a FBN contribui muito como entrada de N, além de outras formas de saída, como a emissão de N_2 e óxido nítrico (NO) pelo solo (LIU et al., 2007; CRUVINEL et al., 2011) e a lixiviação de formas dissolvidas de N orgânico (QUALLS et al., 1991; CURRIE et al., 1996) e N_2O (CLOUGH et al., 2005). As menores perdas de N foram observadas nos sistemas com milheto, o que está relacionado com a menor lixiviação de nitrato (Tabela 27) e produtividade da soja (Tabela 26), o que reduziu a exportação de N por essa cultura.

Os valores negativos do balanço de fluxos se devem principalmente a dois fatores, a alta exportação de N pela soja e pelo baixo aporte de N. Geralmente sistemas de produção que apresentam balanço de fluxo positivo possuem maior aporte de N via fertilização, tanto orgânica como mineral. Em estimativas aponta-se que países do norte da Europa, como Holanda e Bélgica, e China, os aportes de N superem as saídas em mais de 160 kg ha^{-1} ano^{-1}, tendo em comum nessas regiões a agricultura intensiva e o uso

intensivo de fertilizantes (BOUWMAN et al., 2005). Áreas em condição de peri-urbanização na China possuem excedentes de mais de 1000 kg ha^{-1} ano^{-1} (CAO et al., 2007), podendo chegar até 1575 kg ha^{-1} ano^{-1} (HOU et al., 2012), geralmente associados com produção de hortaliças e intenso uso de fertilizantes orgânicos. Na Holanda, estimativas de 1998 apontavam excedentes variando de 100 a 489 kg ha^{-1} ano^{-1} (DE WALLE e SEVENSTER, 1998) e ainda em 2011 os dados foram estimados em mais de 250 kg ha^{-1} ano^{-1} (LEIP et al., 2011). No Brasil, estima-se balanço de N na agricultura varie de 0 a 80 kg ha^{-1} ano^{-1} (BOUWMAN et al., 2005).

Tabela 33. Balanço de fluxo de nitrogênio do experimento entre maio de 2012 a abril de 2013, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	Manejos de Primavera	Entradas de N[1]	Saídas de N dos sistemas					Balanço de fluxo de N
			Exp Out/Inv	Exp Soja	N-N_2O	N-NH_3	N-NO_3^-	
		---------- kg ha^{-1} ano^{-1} ----------						
Girassol	Milheto	13,6	5,2	159,9	1,2	8,9	25,2	-186,8
Girassol	Sorgo	13,3	4,7	170,3	3,3	8,2	34,7	-207,9
Girassol	Crotalária	15,5	6,0	172,3	2,2	8,7	50,4	-224,1
Girassol	Escarificação	13,1	4,9	174,3	2,7	8,2	37,2	-214,2
Triticale	Milheto	16,0	18,8	161,4	2,1	8,2	13,9	-188,4
Triticale	Sorgo	15,7	17,9	172,6	1,7	8,7	12,2	-197,4
Triticale	Crotalária	17,8	20,3	173,6	2,8	8,4	39,2	-226,5
Triticale	Escarificação	15,4	21,8	172,6	3,1	8,4	24,2	-214,7

[1] Somatório do aporte de N pelas sementes utilizadas na semeadura, água da chuva e água de pulverização.

Como no Brasil a taxa de FBN na soja corresponde de 109 a 250 kg ha^{-1} de N (BODDEY et al., 1990; HUNGRIA et al., 2006), pode-se assumir que a entrada de N via FBN pela soja é equivalente à exportação de N pela cultura. Alves et al. (2006) observaram balanços entre a exportação de N pela soja e a FBN de -7,7 e 10,0 em dois anos consecutivos. Alves et al. (2002) observaram que acima de 80% do N da soja é derivado da FBN, sendo que a exportação de N é muito próximo desse valor, ou seja, o balanço na cultura é praticamente zero.

Descontando a exportação de N pela soja, o balanço de fluxo passa a ter valores entre -25 e -53 kg ha^{-1} de N (Tabela 34), sendo que a maior porcentagem de perdas ocorre devido à lixiviação de N-NO_3. Considerando apenas as saídas de N, a lixiviação representa de 30 a 75%. A partir desse resultado é possível melhor direcionar

estratégias de mitigação das perdas de N no sistema, ou seja, tentar controlar da melhor forma a perda de N via lixiviação.

Considerando-se o balanço de fluxo de N sem a exportação pela soja, o incremento anual de N no solo e o balanço de N na palhada, estima-se melhor o balanço de N no sistema solo-planta (Tabela 34). Com esse cálculo pode-se observar que apesar das rotações com crotalária apresentarem balanços de fluxo de N mais negativos, principalmente pela maior perda por lixiviação, o incremento do estoque de N no solo é superior à essas perdas, tornando as rotações com crotalária os únicos sistemas com balanço positivo no sistema solo-planta. Isso ocorre devido à FBN promovida pela leguminosa e da manutenção dos restos culturais sobre o solo. A contribuição da FBN no N total da crotalária pode variar entre 60% e 81% (RESENDE et al., 2003), dependendo da espécie utilizada como referência na determinação. A cultura antecessora à crotalária também afeta a contribuição da FBN, que apresentou valores de 79,1% após vegetação espontânea, 57,3% após milheto e apenas 20,8% após crotalária (CASTRO et al., 2004).

Tabela 34. Estimativa do balanço de nitrogênio no sistema solo-planta, relacionado a culturas de outono/inverno e manejos de primavera.

Culturas de Outono/ Inverno	Manejos de Primavera	Balanço de fluxo de N[1]	IAN Solo[2]	Balanço de N Palhada[3]	Balanço de N Sistema solo-planta
		---------- kg ha^{-1} ano^{-1} ----------			
Girassol	Milheto	-26,9	-171,5	17,8	-180,6
Girassol	Sorgo	-37,5	-235,9	16,6	-256,8
Girassol	Crotalária	-51,8	389,4	-11,2	326,4
Girassol	Escarificação	-39,9	-467,9	-5,6	-513,4
Triticale	Milheto	-27,0	-346,8	25,8	-348,0
Triticale	Sorgo	-24,9	-635,0	6,1	-653,8
Triticale	Crotalária	-52,9	212,6	-0,2	159,5
Triticale	Escarificação	-42,0	-4,5	20,3	-26,2

[1] Balanço de fluxo de N, desconsiderando-se como via de saída a exportação de N pela soja
[2] Incremento anual de N no solo, considerando-se a camada de 0,0-0,8 m
[3] N acumulado na palhada após a colheita da soja 2012/13 – N acumulado na palhada após a colheita da soja 2011/12

Considerando o acúmulo médio de N na parte aérea da crotalária na safra de 2012 em 25,9 kg ha^{-1} e a contribuição da FBN em 70%, a entrada de N nos sistemas com crotalária foi de 18,1 kg ha^{-1}, valor não contabilizado como entrada no cálculo de balanço de fluxo (Tabela 33). Entretanto, sabe-se que o sistema radicular também contribui no aporte de N e este não foi considerado na estimativa acima. Em um

experimento em vasos, a quantidade de N presente nas raízes de mucuna preta e feijão de porco foi de 33 a 43% da planta inteira (RAMOS et al., 2001). Os autores concluíram que se extrapolados para condições de campo, a não contabilização das raízes e nódulos na FBN representaria subestimação de 39 a 49% na entrada de N no sistema. Dessa forma pode-se inferir que a contribuição da crotalária é maior que 18,1 kg ha^{-1} de N.

Mesmo considerando a FBN da crotalária no balanço de fluxo, os valores estimados são pequenos para explicar o incremento médio de 300 kg ha^{-1} de N no solo (Tabela 32). Isso pode estar relacionado à alta variabilidade dos dados. Outra evidência disso é que em outros sistemas de manejo ocorreram reduções no estoque de N no solo maiores que 200 kg ha^{-1}. Apesar dos dados absolutos não estarem coerentes, o comportamento de aumento do estoque de N com a crotalária e a redução com os demais sistemas é evidente.

Outro ponto a se destacar a respeito da crotalária é que no balanço de N da palhada esta cultura apresenta balanço mais negativo (Tabela 34), ou seja, há maior degradação do que acúmulo de material vegetal em superfície, o que traz alguns prejuízos em relação à cobertura e proteção do solo. Apesar disso, o maior aporte de N pela crotalária foi responsável pelo aumento no conteúdo de carbono orgânico total e nas frações particulada e associada a minerais, avaliados neste mesmo experimento por Raphael (2014).

Pereira et al. (2010) compararam o milheto e a crotalária em rotação com milho e soja, sendo que ambas as culturas comerciais receberam adubação nitrogenada, de 152 e 8 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Os autores observaram maior estoque de C na camada de 0,0 a 0,2 m no sistema com milheto, na média, o que indica que o aporte de N por fertilizante favorece o acúmulo de C pela gramínea.

De Maria et al. (1999) observaram que apesar do milho deixar em superfície quantidade de palhada muito superior à soja, o excedente da adubação nitrogenada em relação à exportação do milho foi baixo, fazendo com que não houvesse acúmulo de C no solo, mesmo após nove anos de condução do experimento.

Como o milheto e o sorgo foram mais efetivos em reduzir as saídas de N, principalmente por lixiviação, e a crotalária apresentou maior acúmulo de N no solo, o consórcio de uma das gramíneas com a crotalária poderia aliar os benefícios de ambas as culturas. Considerando que o período disponível entre o início das chuvas e a semeadura

da soja é curto, o consórcio também pode ajudar nesse aspecto, pois possibilita maior aporte total de massa devido à maior diversidade.

Outro resultado interessante foi o de que o sistema triticale/escarificação apresentou baixas perdas de N, tanto pela baixa redução do estoque de N no solo como pelo balanço positivo do N na palhada (Tabela 34). Isso demonstrou que apesar do solo ser deixado em pousio, a palhada deixada pelo triticale protege o solo de grandes perdas de N. Contudo, com esse mesmo raciocínio os demais sistemas em sucessão ao triticale deveriam apresentar o mesmo comportamento, sendo difícil identificar os motivos para que isso não tenha ocorrido.

7 CONCLUSÕES

As perdas por emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia são pouco afetadas pelos sistemas de manejo estudados.

As culturas de outono/inverno pouco se diferenciam na ciclagem de N no sistema solo-planta, pois a menor lixiviação de N pelo triticale é compensada pela maior exportação pelos grãos.

Dentre os manejos de primavera sem aporte de N (excluindo-se a crotalária), a escarificação mantém maiores perdas de N por lixiviação, mesmo após 3 anos de realizado o preparo do solo, o que reduz o estoque de N no solo.

O maior aporte de N pela crotalária promove incremento no estoque deste nutriente no solo, apesar de causar maiores perdas de N por lixiviação.

O milheto e o sorgo, por possuírem sistema radicular mais desenvolvido, reduzem as saídas de N do sistema, mas devido ao baixo aporte de N o estoque no solo é reduzido.

8 REFERÊNCIAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: UFSM/Depto de Solos, p.76-111, 1997.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ALLEN, A. G.; MACHADO, C. M. D; CARDOSO, A. A. Measurements and modeling of reactive nitrogen deposition in southeast Brazil. **Environmental Pollution**. v. 159, n. 5, p. 1190-1197, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage. Paper no. 56. Rome: FAO, 1998. 396 p.

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Soybean benefit to a subsequent wheat cropping system under zero tillage. In: **Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrient, Water Soil Management**, IAEA, Viena, Austria, 2002, pp. 83-93.

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; HECKLER, J. C.; MACEDO, R. A. T.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.449-456, 2006.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEVSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n. 4, p.857-865, 2000.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em Sistema Plantio Direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 15, p.873-928.

ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A.; CECAGNO, D.; CARLOS, F. S.; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-termintegrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, n. 1, p. 52–59, 2014.

BAGGS, E. M.; STEVENSON, M.; PIHLATIE, M.; REGAR, A.; COOK, H.; CADISCH, G. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, v. 254, n. 2, p. 361-370, 2003.

BHANDRAL, R.; SAGGAR, S.; BOLAN, N. S.; HEDLEY, M. J. Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction. **Soil and Tillage Research**, v.94, n. 2, p.482-492, 2007.

BODDEY, R. M.; HUNGRIA, M. Phenotypic grouping of Brazilian *Bradyrhizobium* strains which nodulate soybean. **Biology and Fertility of Soils**, v. 25, n. 4, p. 407-415, 1997.

BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; PERES, J. R.; SUHET, A. R.; NEVES, M. C. P. Quantification of the contribution of N_2 fixation to field-grown legumes: a strategy for the practical application of the ^{15}N isotope dilution technique. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 2, p. 649-655, 1990.

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 46, n. 1, p. 53-70, 1996.

BOUWMAN, A. F.; VAN DRECHT, G.; VAN DER HOEK, K. W. Global and regional surface nitrogen balances in intensive agricultural production systems for the period 1970–2030. **Pedosphere**, v. 15, n. 2, p. 137-155, 2005.

BOWDEN, R. D.; STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the northeastern United State. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 95, n. 9, p. 13997-14005, 1990.

BRANDELERO, E. M.; PEIXOTO, C. P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 3, p. 581-588, 2009.

BREMNER, J. M. Sources of nitrous oxide in soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 49, n. 1, p.7-16. 1997.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49-57, 2002.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 242-249, 2010.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 7, p.375-470.

CAO, W.; ZHU, H.; CHEN, S. Impacts of urbanization on topsoil nutrient balances - a case study at a provincial scale from Fujian, China. **Catena**, v. 69, n. 1, p.36-43, 2007.

CARMO, J. B. do, ANDRADE, C. A. de, CERRI, C. C., PICCOLO, M de C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N_2O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n. 5, p.735-746, 2005.

CASTRO, C. M.; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.8, p.779-785, 2004.

CERETTA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-milho, no sistema plantio direto. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, 1997. Cap.5, p.112-124.

CHAPUIS-LARDY, L.; WRAGE, N.; METAY, A.; CHOTTE, J. L.; BERNOUX, M. Soils, a sink for N_2O? A review. **Global Change Biology**, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2007.

CLOUGH, T. J.; SHERLOCK, R. R.; ROLSTON, D. E.A review of the movement and fate of N_2O in subsoils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, n. 1, p. 3-11, 2005.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: grãos: décimo segundo levantamento, setembro 2011. Brasília, DF: CONAB, 2011. 41 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: grãos: décimo segundo levantamento, setembro 2012. Brasília, DF: CONAB, 2012. 30 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: grãos: décimo segundo levantamento, setembro 2013. Brasília, DF: CONAB, 2013. 30 p.

CRUVINEL, E. B. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; ZEPP, R. G. Soil emissions of NO, N_2O and CO_2 from croplands in the savanna region of central Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, n. 1, p. 29-40, 2011.

CURRIE, W. S., ABER, J. D., MCDOWELL, W. H., BOONE, R. D., MAGILL, A. H. Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. **Biogeochemistry**, v. 35, n. 3, p. 471-505, 1996.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queesland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, v. 24, n. 2, p. 281-292, 1986.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRUGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, suplemento, p. 855-864, 2009.

DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 51, n. 1-2, p. 71-79, 1999.

DE WALLE, F. B.; SEVENSTER, J. **Agriculture and the Environment**: Minerals, Manure and Measures. Dordrecht: Kluwer Academic, 1998, 211 p.

DUKE, S. O.; HOAGLAND, R. E. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Coord.). **The herbicide glyphosate.** London: Butterworths, 1985. p. 75-91.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Eds.) **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18. ed. Washington, DC: APHA, AWWA, WEF. 1993. 4500. 4-75/4-96.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA-CNPS, 1999. 412p.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages: Graphel, 2003.

ERREBHI, M.; ROSEN, C. J.; GUPTA, S. C. BIRONG, D. E. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 1, p. 10-15, 1998.

FAO. **Global estimates of gaseous emissions of NH_3, NO and N_2O from agricultural land**, International Fertilizer Industry Association. Roma. 2001. 106p.

FARQUHAR, G. D.; FIRTH, P. M.; WETSELAAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, v. 66, n. 4, p. 710-714, 1980.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um Latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho, com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1163-1173, 2009.

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

GARCIA-RUIZ, R.; BAGGS, E. M. N_2O emission from soil following combined application of fertiliser-N and ground weed residues. **Plant and Soil**, v.299, n. 1-2, p.263-274, 2007.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p.325-334, 2003.

GOMES, J. A.; BAYER, C.; COSTA, F. S. C.; PICOLLO, M. C., ZANATA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 36-44, 2009.

GOMES, J. A.; BAYER, C.; COSTA, F. S. C.; PICOLLO, M. C., ZANATA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based

rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 36-44, 2009.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v.82, n. 2, p.121-145, 2005.

HAYASHI, K.; YAN, X. Y. Airbrne nitrogen load in Japonese and Chinese agroecosystems. **Soil Science and Plant Nutricion**, v. 56, n. 1, p. 2-18, 2010.

HEINCKE, M.; KAUPENJOHANN, M. Effects of soil solution on the dynamics of N_2O emissions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 55, n. 2, p. 133-157, 1999.

HOU, Y.; GAO, Z.; HEIMANN, L.; ROELCKE, M.; MA, W.; NIEDER, R. Nitrogen balances of smallholder farms in major cropping systems in a peri-urban area of Beijing, China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.92, n. 3, p.347-361, 2012.

HUANG, Y.; ZOU, J. W.; ZHENG, X. H.; WANG, Y. S.; XU, X. K. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, n. 6, p. 973-981, 2004.

HUANG, Y.; ZOUB, J.; ZHENG, X.; WANG, Y.; XU, X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, n. 6, p.973-981, 2004.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: Contributions of biological N_2 fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.

JANTALIA, C. P.; TÁRRE, R. M.; MACEDO, R. O.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Acumulação de carbono no solo em pastagens de *Brachiaria*. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Coord.). **Manejo de sistemas agrícolas**: impactos no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Gênesis, 2006. p. 157-170.

JANZEN, H. H.; MCGINN, S. M. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure.**Soil Biology and Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 3, p. 291-297, 1991.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v.25, n. 3, p.395-398, 1995.

LANE, D. R.; BASSIRIRAD, H. Differential responses of tallgrass prairie species to nitrogen loading and varying ratios of NO_3^- to NH_4^+. **Functional Plant Biology**, v.29, n.10, p. 1227- 1235, 2002.

LEIP, A.; BRITZ, W.; WEISS, F.; VRIES, W. Farm, land, and soil nitrogen budgets for agriculture in Europe calculated with CAPRI. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 11, p. 3243-3253, 2011.

LIU, X.; JU, X.; ZHANG, F.; PAN, J.; CHRISTIE, P. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat–maize cropping system in the North China Plain. **Field Crops Research**, v. 83, n. 2, p. 111-124, 2003.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; REULE, C. A.; ZHANG, F. S. Dinitrogen and N_2O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 9, p. 2362-2370, 2007.

LORD, E. I.; SHEPHERD, M. A. Developments in the use of porous ceramic cups for measuring nitrate leaching. **European Journal of Soil Science**, v. 44, n. 3, p. 435-449, 1993.

MALHI, S. S.; LEMKE, R.; WANG, Z. H.; CHHABRA, B. S. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. **Soil & Tillage Research**, v. 90, n. 1-2, p. 171-183, 2006.

MILLAR, N.; NDUFA, J. K.; CADISCH, G.; BAGGS, E. M. Nitrous oxide emissions following incorporation of improved-fallow residues in the humid tropics. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, n. 1, p. 1-9, 2004.

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

MOHR, R. M.; JANZEN, H. H.; ENTZ, M. H. Nitrogen dynamics under greenhouse conditions as influenced by method of alfalfa termination. 1. Volatile N losses. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 78, n. 2, p. 253-259, 1998.

MÖLLER, K.; REENTS, H. J. Effects of various cover crops after peas on nitrate leaching and nitrogen supply to succeeding winter wheat or potato crops. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 2, p. 277-287, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOREIRA, N. B.; LIBARDI, P. L.; SALVADOR, M. M. S.; SOUZA, H. H. F. Análise espaço-temporal de componentes do balanço hídrico em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 60-72, 2014.

MURPHY, D. V.; MACDONALD, A. J.; STOCKDALE, E. A.; GOULDING, K. W. T.; FORTUNE, S.; GAUNT, J. L.; POULTON, P. R.; WAKEFIELD, J. A.; WEBSTER, C. P.; WILMER, W. S. Soluble organic nitrogen in agricultural soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, n. 5-6, p. 374–387, 2000.

NELSON, D. W. (Coord.). **Nitrogen in Agricultural Soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 327-363.

OLIBONE, D.; CALONEGO, J. C.; PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Crescimento inicial da soja sob efeito de resíduos de sorgo. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 255-261, 2006.

OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; ALVES, A. C.; LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R. **Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. 41p. (Boletim, 16).

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Reduction and transport of nitrate. In: PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. New York: Academic Press, Inc., 1989, p.147-162.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Reduction and transport of nitrate.** In: Soil Microbiology and Biochemistry. New York: Academic Press, Inc., 1989, p.147-162.

PAULINO, G. M.; ALVES, B. J. R.; BARROSO, D. G.; URQUIAGA, S.; ESPINDOLA, J. A. A. Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomar orgânico de mangueira e gravioleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1598-1607, 2009.

PEREIRA, M. G. et al. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S. C.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 4, p. 757-766, 2009.

PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; SANTOS, G. P.; ROSOLEM, C. A. Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1547-1554, 2011a.

PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; SANTOS, G. P.; ROSOLEM, C. A. Resistência à penetração e fertilidade de um nitossolo em função do manejo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011b, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas**: anais... Uberlândia: SBCS, 2011b. 1 CD-ROM.

PIVETTA, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; FIOREZE, S. L.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. Avaliação de híbridos de girassol e relação entre parâmetros produtivos e qualitativos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 561-568, 2012.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio**. Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 683-690, 2006.

QUALLS, R. G.; HAINES, B. L.; SWANK, W. T. Fluxes of dissolved organic nutrients and humic substances in a deciduous forest. **Ecology**, v. 72, n. 1, p. 254-266, 1991.

RAMOS, M. G.; VILLATORO, M. A. A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ^{15}N-isotope techniques. **Journal of Biotechnology**, v. 91, n. 2-3, p. 105-115, 2001.

RANA, G.; MASTRORILLI, M. Ammonia emissions from fields treated with green manure in a Mediterranean climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 90, n. 4, p. 265-274, 1998.

RAPHAEL, J. P. A. **Matéria orgânica do solo em rotações de culturas sob sistema semeadura direta**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

REDIN, M. **Produção de biomassa, composição química, e decomposição de resíduos culturais da parte aérea e raízes no solo.** 2014. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; MEIRELLES, N. M. F.; FERREYRA, F. F. H.; ZAGATTO, E. A. G.; MATSUI, E. Extração e análise de nitratos em solução de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 130-132, 1977.

REIS, V. M.; OLVEIRA, A. L. M.; BALDINI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDINI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M. S. (Coord.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 153-174.

REKHA, P. N.; KANWAR, R. S.; NAYAK, A. K.; HOANG, C. K.; PEDERSON, C. H. Nitrate leaching to shallow groundwater systems from agricultural fields with different management practices. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, n. 9, p. 2550-2558, 2011.

RESENDE, A. S. ; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, n. 4, p. 215-220, 2003.

RIGON, J. P. G. **Emissão de gases de efeito estufa em áreas de sistema semeadura direta com aportes diferenciados de carbono e nitrogênio**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

RITCHIE, J. T. Soil water balance and plant water stress. In: TSUJI, G. Y., HOOGENBOOM, G., THORNTON, P. K. (Coord.). **Understanding Options for Agricultural Production**. Dordretcht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 41-54.

ROCHETTE, P.; MACDONALD, J.D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; GASSER, M.; BERTRAND, N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, v.38, n.4, p.1383-1390, 2009.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; BE´LANGER, G.; CHANTIGNY, M. H.; PRE´VOST, D.; LE´VESQUE, G. Emissions of N_2O from alfalfa and soybeans crops in Eastern Canada. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 2, p. 493-506, 2004.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

RUIJTER, F. J.; HUIJSMANS, J. F. M.; RUTGERS, B. Ammonia volatilization from crop residues and frozen green manure crops. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 28, p. 3362-3368, 2010.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SAINJU, U. M.; SINGH, B. P.; WHITEHEAD, W. F. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. **Soil & Tillage Research**, v. 63, n. 3-4, p. 167-179, 2002.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da ureia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003.

SCHJOERRING, J. K.; MATTSSON, M. Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: Measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea. **Plant and Soil**, v. 228, n. 1, p. 105-115, 2001.

SCHLESINGER, W. H.; HARTLEY, A. E. 1992. A global budget for atmospheric NH_3. **Biogeochemistry**, v. 15, n. 3, p. 191-211, 1992.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M. E. da C.; TRIVELIN, P. C. O. Absorção de nitrogênio nativo do solo pelo milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p.723-732, 2006.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n. 6, p.855-860, 2002.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional and zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Reseatch**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SIX, J.; OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; CONANT, R. T.; MOSIER, A. R.; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. **Global Change Biology**, v. 10, n. 2, p. 155-160, 2004.

SMART, D. R.; BLOOM, A. J. Wheat leaves emit nitrous oxide during nitrate assimilation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, n. 14, p. 7875-7878, 2001.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p.327-334, 2004.

SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. **Modeling physiology of crop development, growth and yield**. Wallingford: CAB International. 2012. 322 p.

SWIFT, R. S. Organic Matter Characterization. In: **Methods of Soil Analysis Part 3.** Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5. Madison: Soil Sciense Society of America and American Society of Agronomy, 1996. p.1011-1069.

TOLEDO, M. Z.; GARCIA, R. A.; PEREIRA, M. R. R.; BOARO, C. S. F.; LIMA, G. P. P. Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 858-864, 2010.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609-618, 2005.

USSIRI, D. A. N.; LAL, R.; JARECKI, M. K. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 2, p. 247-255, 2009.

VELDKAMP, E.; DAVIDSON, E.; ERICKSON, H.; KELLER, M.; WEITZ, A. Soil nitrogen cycling and nitrogen oxide emissions along a pasture chronosequence in the humid tropics of Costa Rica. **Soil Biology and Biochemistry** , v. 31, n. 3, p. 387-394, 1999.

VELTHOF, G. L.; KUIKMAN, P. J.; OENEMA, O. Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 62, n. 3, p. 249-261, 2002.

VERNETTI JÚNIOR, F. de J.; GOMES, A. da S. **Plantio direto: uma opção de manejo para a produção agrícola sustentável**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado-CNPSo, 1999. 69p. (Documentos, 58).

VIEIRA NETO, S. A.; PIRES, F. R.; MENEZES, C. C. E.; MENEZES, J. F. S.; SILVA, A. G.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 861-870, 2008.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 429-437, 2009.

WHITEHEAD, D. C.; LOCKYER, D. R. Decomposing Grass Herbage as a Source of Ammonia in the Atmosphere. **Atmospheric Environment**, v. 23, n. 8, p. 1867-1869, 1989.

ZHONG, Z.; NELSON, L. M.; LEMKE, R. L. Nitrous oxide emissions from grain legumes as affected by wetting/drying cycles and crop residues. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 47, n. 6, p. 687-699, 2011.

APÊNDICES

Apêndice 1. pH, P (resina), Ca, Mg, K, Al^{3+}, H+Al e carbono orgânico total (COT) do solo após a colheita da soja, safra 2010/11.

	pH	P	Ca	Mg	K	Al troc	H+Al	COT
	$CaCl_2$	mg dm^{-3}	----------	mmol$_c$dm^{-3}	----------			g dm^{-3}
Outono/Inverno				**0,0 – 0,1 m**				
Girassol	4,8	31	64	31	3,2	2,1	59	21
Triticale	5,1	35	77	37	3,2	1,2	49	21
Primavera								
Milheto	4,9	41	77	44	3,2	1,8	55	22
Sorgo	4,7	32	54	31	2,7	2,5	64	21
Crotalária	5,1	30	78	31	3,1	1,0	48	22
Escarificação	5,0	28	74	31	3,9	1,3	50	20
Outono/Inverno				**0,1 – 0,2 m**				
Girassol	4,1	23	27	13	2,2	10	99	18
Triticale	4,3	25	36	16	2,3	7	86	18
Primavera								
Milheto	4,1	29	28	14	2,1	12	105	17
Sorgo	4,1	22	25	11	1,9	13	111	18
Crotalária	4,3	22	33	15	2,3	6	81	18
Escarificação	4,4	24	38	16	2,6	4	74	18
Outono/Inverno				**0,2 – 0,4 m**				
Girassol	4,3	12	27	10	1,1	8	80	15
Triticale	4,5	12	37	14	1,4	6	69	15
Primavera								
Milheto	4,3	13	30	12	0,7	9	82	15
Sorgo	4,2	12	28	10	1,1	10	88	15
Crotalária	4,5	14	38	14	1,4	4	66	16
Escarificação	4,5	12	33	13	1,9	3	63	15
Outono/Inverno				**0,4 – 0,6 m**				
Girassol	4,2	10	31	10	0,9	14	106	14
Triticale	4,4	11	40	13	0,5	11	97	14
Primavera								
Milheto	4,2	10	34	10	0,5	15	113	15
Sorgo	4,1	10	29	10	0,6	18	133	16
Crotalária	4,5	11	38	13	0,5	8	79	14
Escarificação	4,4	11	40	12	1,3	8	82	15
Outono/Inverno				**0,6 – 0,8 m**				
Girassol	4,0	10	23	8	0,5	24	160	16
Triticale	4,2	10	36	9	0,3	19	138	16
Primavera								
Milheto	4,0	10	33	8	0,5	25	163	16
Sorgo	3,8	10	19	6	0,5	31	193	17
Crotalária	4,3	11	36	10	0,4	14	116	15
Escarificação	4,2	10	32	10	0,3	17	124	15